

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ІНФОРМАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ ЛОГІСТИКИ ДОСТАВКИ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ ОПТИМАЛЬНИМ ФОРМУВАННЯМ ВАГОННИХ ВІДПРАВЛЕНЬ

Вступ

Організація процесу відправлення плоского металопрокату споживачам на підприємстві починається з організації роботи складу готової продукції. Характерною особливістю виготовлення такої продукції є випадковий характер коливання ваги вантажних місць, що обумовлено технологією виробництва. Завдяки цій особливості постає питання ефективного використання вантажопідйомності транспортних засобів, які використовуються для перевезень металопродукції.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Вирішення задачі оптимального використання вантажопідйомності залізничних вагонів дозволяє зменшити потрібну кількість рухомого складу для перевезень продукції. В свою чергу, це впливає на вартість провізних платежів та розмір плати за користування вагонами, оскільки при оптимізації один і той же обсяг вантажу може бути перевезений меншою кількістю вагонів.

Згідно з Меморандумом про порозуміння між Кабінетом Міністрів України та підприємствами гірничо-металургійного комплексу, який схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 5 червня 2013 р. №413-р, підприємства гірничо-металургійного комплексу України, зокрема, повинні забезпечити нарощення обсягів виробництва продукції та сприяти прискоренню обробки вантажів у рухомому складі залізничного транспорту. Тому підвищення ефективності використання вантажопідйомності вагонів при організації перевезень продукції металургійних підприємств є важливим науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Характерними особливостями перевезень продукції металургійних підприємств є значні обсяги та інтенсивність. Тому зазвичай перевезення здійснюються залізничним транспортом [1]. Критеріями оптимізації функціонування внутрішньовиробничих логістичних систем, як правило, є мінімальна собівартість виробництва і мінімальний час циклу при забезпеченні заданого рівня якості готової продукції [2]. Проблема недостатнього використання вантажопідйомності транспортного засобу безпосередньо пов'язана з частим небажанням або невмінням комплектувати відправку від різних вантажовідправників [3].

Найголовнішою проблемою функціонування мікрологістичної системи металургійного комбінату є забезпечення відвантаження готової продукції споживачам у встановлені терміни, в повному обсязі та при мінімальних логістичних витратах.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття

Необхідність виконання запропонованих досліджень обумовлена наступними факторами:

- технічна застарілість схем розміщення та кріплення металопродукції у вагонах. Більшість створених у минулому схем навантаження були розраховані на рухомий склад вантажопідйомністю до 65 тонн, вони вимагають удосконалення з причини збільшення частки вагонів вантажопідйомністю 69–71 тонн у загальному вагонообороті металургійних підприємств (їх частка становить понад 90 %);

- для рухомого складу більшої вантажопідйомності за вимогами нормативних документів зменшується припустима нерівномірність навантаження вагону відносно осьових ліній. При вирішенні задачі оптимального розміщення у рухомому складі вантажних місць різної маси більшість методів досліджень виявляються не пристосованими;

- типорозміри виливниць, які використовуються металургійними підприємствами, також історично були пристосовані до формування вантажних місць такої маси, при якій забезпечувалось раціональне використання вагонів вантажопідйомністю до 65 тонн;

- поширене в останні роки застосування багатооборотних засобів кріплення – металевих піддонів масою до 5 тонн – суттєво зменшує можливу масу вантажу у вагоні. Це також потребує удосконалення існуючих методик;

- використання вагонів операторських компаній сприяє зменшенню коливань вантажопідйомності вагонів у рухомому складі. Це обумовлює потребу у спрощенні методів підбору вантажних місць для раціонального завантаження вагонів в конкретних умовах певних металургійних підприємств.

Мета статті

Метою роботи є удосконалення логістики доставки металопродукції за рахунок використання оптимізаційних методів та розробки методів планування і формування вантажних відправлень плоского металопрокату при використанні залізничного транспорту.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконувались на прикладі одного з виробничих підрозділів металургійного комбінату ВАТ «Запоріжсталь». Виконаний аналіз надходження до складу готової продукції піввагонів за їх вантажопідйомністю, представлений на рисунку 1, показав, що найбільшу частку займає рухомий склад вантажопідйомністю 69 тонн (44 %) і 70 тонн (36 %).

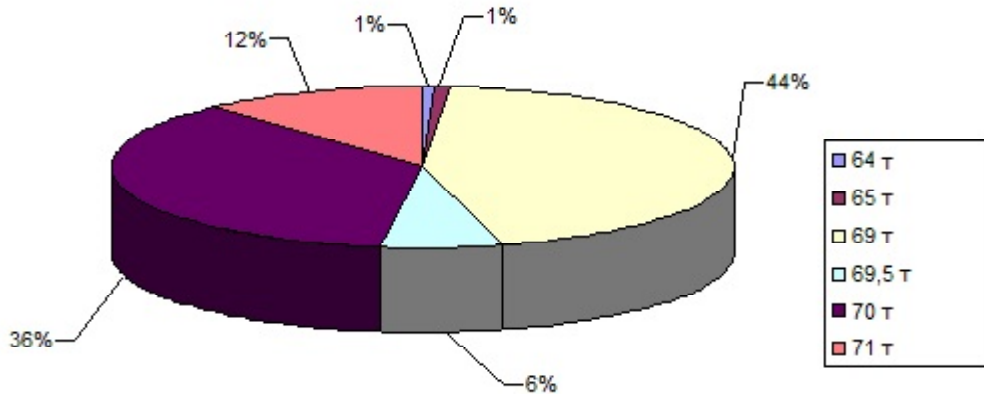


Рис. 1. Аналіз надходження вагонів за їх вантажопідйомністю

Результати дослідження основних схем розміщення та кріплення прокату [4], які застосовуються на підприємстві, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розподіл обсягів відправлення прокату за схемами перевезень

Гарячекатаний прокат			Холоднокатаний прокат		
Вид вантажного місця	Схема	Доля відвантажених вагонів, %	Вид вантажного місця	Схема	Доля відвантажених вагонів, %
Пачки листів	4.2.12	0,02	Стрічка у рулонах	15.31	0,75
	4.2.13	0,02		15.32, 15.33	0,13
	4.2.14	0,28	Всього		0,87
	4.2.14	0,06	Пачки листів	4.2.12, 4.2.13	0,04
	4.2.4	0,11		4.2.14	18,82
Всього		0,49		4.2.4	1,32
Рулони	15.10	3,70		4.2.5	0,15
	15.11	10,80		4.2.6	0,06
	15.15	0,34	4.2.7	2,9	
	15.18	9,20	Всього		23,32
	15.18	0,02	Рулони	15.15	24,24
	15.5	0,02		15.31	16,6
	15.6	0,50		15.32	8,98
	15.11	0,02		15.33	0,9
Всього		24,56	Всього		50,73
Разом		25,10	Разом		74,90

За даними таблиці 1 при відвантаженні гарячекатаних рулонів найбільшу частоту мають схеми 15.10, 15.11, 15.18, холоднокатаних – 15.15, 15.31, 15.32.

Аналіз використання вантажопідйомності вагонів при даних схемах навантаження рулонів металопрокату приведений у таблицях 2–6.

Таблиця 2 – Основні статистичні характеристики схем 15.10, 5.11

Параметр	Схема 15.10		Схема 15.11		
	Місяць	Значення	Місяць	Значення	
				4 місяця	5 місяць
Середня величина недовантаження, т	1	10,07	1	13,13	1,83
	2	10,85	2	12,45	2,25
	3	10,40	3	13,93	2,33
Стандартне відхилення	1	1,07	1	1,94	1,27
	2	1,37	2	2,35	1,61
	3	0,61	3	0,78	1,84
Коефіцієнт варіації	1	0,1065	1	0,147	0,691
	2	0,1265	2	0,189	0,714
	3	0,0583	3	0,056	0,790

Таблиця 3 – Основні статистичні характеристики схеми 15.18

Параметр	Місяць	Кількість вантажних місць				
		4	5	9	10	11
Середня величина недовантаження, т	1	13,13	1,83	5,78	6,78	1,99
	2	12,45	2,25	5,80	–	–
	3	13,93	2,33	–	–	–
Стандартне відхилення	1	1,94	1,27	3,13	6,10	0,68
	2	2,35	1,61	1,46	–	–
	3	0,78	1,84	–	–	–
Коефіцієнт варіації	1	0,1475	0,6917	0,5414	0,8999	0,3430
	2	0,1890	0,7141	0,2526	–	–
	3	0,0562	0,7907	–	–	–

Розрахунок характеристик розподілу для схеми 15.15 наведений у таблиці 4.

Таблиця 4 – Основні статистичні характеристики схеми 15.15

Параметр	Місяць	Кількість вантажних місць			
		4	6	8	10
Середня величина недовантаження, т	1	10,67	4,88	8,85	7,77
	2	12,59	5,35	4,84	8,95
	3	11,75	4,00	7,53	8,02
Стандартне відхилення	1	0,91	3,08	5,60	2,80
	2	2,00	3,74	4,71	3,28
	3	3,30	3,07	1,97	0,00
Коефіцієнт варіації	1	0,085	0,630	0,632	0,359
	2	0,158	0,698	0,972	0,366
	3	0,280	0,765	0,261	0,216

Встановлення емпіричного закону розподілу досліджуваної величини, – ваги рулонів, проводимо на основі статистичної інформації. Результати статистичної обробки представлені у вигляді таблиць і гістограм, зображених у таблицях 7, 8 і на рисунках 2, 3.

У таблиці 7 приведений емпіричний розподіл маси гарячекатаних рулонів.

Таблиця 5 – Основні статистичні характеристики схеми 15.31

Параметр	Місяць	Кількість вантажних місць							
		5	6	8	9	10	11	12	13
Середня величина недовантаження, т	1	6,09	27,32	16,44	4,08	3,79	3,20	1,94	2,71
	2	7,34	–	3,51	4,43	3,10	3,12	2,72	–
	3	6,09	4,48	21,17	7,26	5,87	3,76	1,35	–
Стандартне відхилення	1	3,07	0,04	–	0,51	2,97	1,87	2,09	1,53
	2	3,27	–	2,86	2,52	2,90	1,78	1,79	–
	3	3,34	2,58	0,05	3,75	3,98	2,22	1,13	–
Коефіцієнт варіації	1	0,5	0,001	–	0,12	0,78	0,58	1,07	0,56
	2	0,44	–	0,81	0,56	0,93	0,57	0,66	–
	3	0,54	0,57	0,002	0,51	0,67	0,59	0,84	–

Таблиця 6 – Основні статистичні характеристики схеми 15.32

Параметр	Місяць	Кількість вантажних місць				
		6	7	8	10	12
Середня величина недовантаження, т	1	10,10	32,46	26,92	7,59	2,91
	2	17,33	28,37	–	4,88	3,70
	3	1,38	–	4,01	7,46	–
Стандартне відхилення	1	6,58	–	–	6,91	2,46
	2	6,38	–	–	2,72	3,08
	3	1,14	–	–	3,72	–
Коефіцієнт варіації	1	0,65	–	–	0,90	0,84
	2	0,36	–	–	0,55	0,83
	3	0,82	–	–	0,49	–

Таблиця 7 – Емпіричний розподіл маси гарячекатаних рулонів

№ інтервалу	Границі інтервалу $x_i - x_{i+1}$, т		Частота попадання результатів спостережень в інтервал m_i	Відносна частота (частість) f_i	Інтегральна функція $F(x)$
1	3,22	4,14	4	0,0007	0,0007
2	4,14	5,06	16	0,0028	0,0035
3	5,06	5,98	192	0,0336	0,0371
4	5,98	6,91	256	0,0448	0,0819
5	6,91	7,83	148	0,0259	0,1078
6	7,83	8,75	0	0,0000	0,1078
7	8,75	9,67	15	0,0026	0,1105
8	9,67	10,59	40	0,0070	0,1175
9	10,59	11,51	502	0,0879	0,2054
10	11,51	12,43	993	0,1739	0,3793
11	12,43	13,36	916	0,1604	0,5397
12	13,36	14,28	2422	0,4242	0,9639
13	14,28	15,20	170	0,0298	0,9936
14	15,20	16,12	36	0,0063	1,0000
Сума			5710	1,0000	1,0000

За результатами таблиці 7 найбільша частота попадання результатів спостережень присутня в інтервалі (13,36 т... 14,28 т).

Гістограма емпіричного розподілу маси гарячекатаних рулонів наведена на рисунку 2.

У таблиці 8 приведений емпіричний розподіл маси холоднокатаних рулонів.

Гістограма емпіричного розподілу маси холоднокатаних рулонів наведена на рисунку 3.

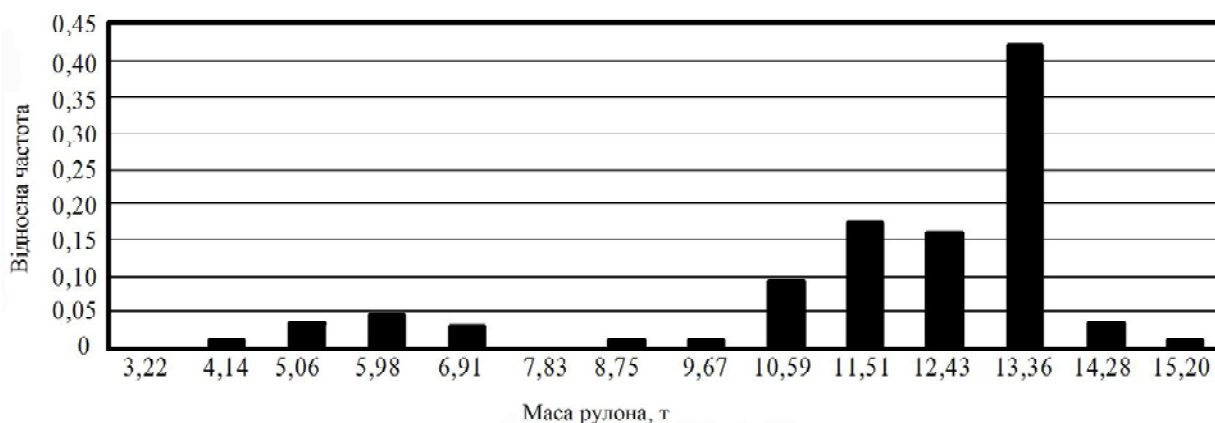


Рис. 2. Гістограма емпіричного розподілу маси г/к рулонів

Таблиця 8 – Емпіричний розподіл маси холоднокатаних рулонів

№ інтервалу	Границі інтервалу $x_i - x_{i+1}$, Т		Частота попадання результатів спостережень в інтервал m_i	Відносна частота (частість) f_i	Інтегральна функція $F(x)$
1	1,28	2,25	2	0,0003	0,0003
2	2,25	3,22	11	0,0016	0,0019
3	3,22	4,18	64	0,0096	0,0116
4	4,18	5,15	787	0,1188	0,1304
5	5,15	6,12	2527	0,3816	0,5121
6	6,12	7,09	1188	0,1794	0,6915
7	7,09	8,06	58	0,0087	0,7003
8	8,06	9,02	29	0,0043	0,7047
9	9,02	9,99	82	0,0123	0,7171
10	9,99	10,96	569	0,0859	0,8030
11	10,96	11,93	626	0,0945	0,8975
12	11,93	12,89	334	0,0504	0,9480
13	12,89	13,86	333	0,0502	0,9983
14	13,86	14,83	11	0,0016	1,0000
Сума			6621	1,0000	1,0000

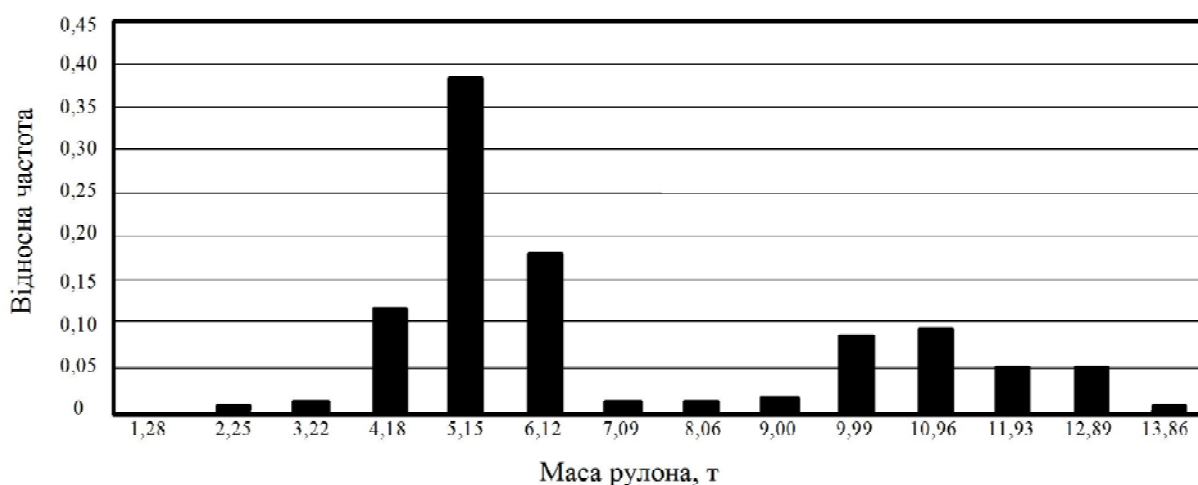


Рис. 3. Гістограма емпіричного розподілу маси х/к рулонів

Поставлену задачу будемо вирішувати методом лінійного програмування.

Загальну постановку задачі лінійного програмування можна записати в такому вигляді:

$$\sum_{k=1}^n (c_k x_k) \Rightarrow \max(\min) \sum_{k=1}^n a_{ik} k_k \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m, \quad x_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де a_i, b_i, c_i – задані числа.

Позначимо через x_1, x_2, \dots, x_n масу рулонів. При цьому цільова функція – мінімум логістичних витрат на 1 т готової продукції (упаковка рулонів, здійснення навантажувально-розвантажувальних операцій, використання лісоматеріалів для закріплення вантажу у вагоні) буде мати вигляд:

$$z = \frac{\sum \mathcal{Z}_i^{\text{лог}}}{\sum a_i \cdot x_i} = \frac{\sum \mathcal{Z}^{\text{пак}} + \sum \mathcal{Z}^{\text{навант}} + \sum \mathcal{Z}^{\text{ліс}}}{\sum a_i \cdot x_i} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $\sum \mathcal{Z}_i^{\text{лог}}$ – сумарні логістичні витрати, пов'язані з відвантаженням рулонів x_i маси, грн.;

a_i – кількість рулонів x_i маси, од.;

$\sum \mathcal{Z}^{\text{пак}}$ – витрати на пакування, грн.;

$\sum \mathcal{Z}^{\text{навант}}$ – витрати, пов'язані з використанням навантажувально-розвантажувальних механізмів, грн.; визначаються за формулою:

$$\sum \mathcal{Z}^{\text{навант}} = B^{1\text{кр}\cdot\text{год}} \cdot t_u^{1p} \cdot n_p, \quad (3)$$

де $B^{1\text{кр}\cdot\text{год}}$ – вартість 1 крано-години, грн.;

t_u^{1p} – середня тривалість циклу завантаження одного рулону;

n_p – загальна кількість рулонів згідно зі схемою відвантаження, од.;

$\sum \mathcal{Z}^{\text{ліс}}$ – витрати на лісоматеріали для закріплення рулонів у вагоні, грн.; визначаються за формулою:

$$\sum \mathcal{Z}^{\text{ліс}} = H_{\text{ліс}}^{\text{ліс}} \cdot B^{1\text{м}^3}, \quad (4)$$

де $H_{\text{ліс}}^{\text{ліс}}$ – норма використання лісоматеріалів на 1 вагон згідно з конкретною схемою відвантаження, мі;

$B^{1\text{м}^3}$ – вартість 1 м³ лісоматеріалів, грн.

Складаємо обмеження на вагу нетто вантажу у вагоні, що дорівнює вантажопідйомності вагона за винятком ваги використаних піддонів і необхідних лісоматеріалів для кріплення вантажу (відповідно до схем розміщення та кріплення вантажів):

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = q_e - z \cdot m_n - m_{\text{ліс}}, \quad (5)$$

де a_1, a_2, a_n – кількість рулонів, які є симетричними відносно повздовжньої вісі вагону;

q_e – вантажопідйомність вагона, т;

m_n – маса піддона, що використовується у схемі відвантаження, т;

z – кількість використаних піддонів, од.;

$m_{\text{ліс}}$ – маса лісоматеріалів для закріплення рулонів, т.

При цьому є обмеження на вагу рулонів:

$$b_{\text{max}} \leq x_1, x_2, \dots, x_n \leq b_{\text{min}}, \quad (6)$$

де $b_{\text{max}}, b_{\text{min}}$ – відповідно мінімальна і максимальна межа маси рулонів у замовленні, які є в наявності на складі і допускаються до використання в схемах навантаження, т.

ЦХП-1 потрібно провести відвантаження холоднокатаних рулонів у вагон, вантажопідйомністю 70 т, відповідно до схеми 15.31. При цьому перед бригадами відвантаження постають такі умови: максимальне використання ванта-

жопідійомності вагона, згідно з замовленням відвантаження проводиться великими рулонами (8–14 т). Згідно зі схемою навантаження, для доставки використовується 2 багатооборотних металевих піддона, масою 1,9 т кожен. Необхідна кількість лісоматеріалів для кріплення рулонів – 0,07 т.

Складаємо математичну модель задачі. Позначимо x_1 , x_2 – вага симетричних рулонів і x_3 – вага рулону, розташованого на перетині поздовжньої і поперечної осі вагона. Тоді згідно зі схемою буде використано 2 рулони масою x_1 , розташованих біля торців вагона (необхідно дотримуватися умов рівності мас щодо поперечної осі для рівномірності завантаження транспортного засобу). Знадобиться 2 рулони, масою x_2 , і 1 рулон, масою x_3 . Цільова функція буде мати вигляд:

$$z = \frac{1800 \cdot 5 + 200 \cdot 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 1200}{2x_1 + 2x_2 + x_3} = \frac{9320}{2x_1 + 2x_2 + x_3} \rightarrow \min.$$

За умови таких обмежень отримуємо:

$$2x_1 + 2x_2 + 2x_3 = 70,0 - 2 \cdot 1,9 - 0,07 = 66,13 \text{ т};$$

$$8 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 14; \quad x_1, x_2, x_3 \geq 0.$$

Вибір рулонів від 8 до 14 тонн проводиться на підставі наявності на складі готової продукції рулонів з наближеною до цих значень вагою. Вирішення завдання проводиться в MS Excel методом цілеспрямованого перебору опорних розв'язок задачі лінійного програмування. Він дозволяє за кінцеве число кроків знайти оптимальне розв'язання, або встановити, що оптимальне розв'язання відсутнє.

Висновки і перспективи подальшого використання результатів

Запропоновано метод розв'язання задачі удосконалення логістики доставки металопродукції оптимальним формуванням вагонних відправлень шляхом перебору значень параметрів вантажних місць (маси рулонів). Згідно з алгоритмом виконується пошук екстремуму цільової функції (мінімум логістичних витрат) при лінійних обмеженнях. Використання на практиці розроблених заходів дозволяє зменшити потрібну кількість рухомого складу, вартість провізних платежів та розмір плати за користування вагонами, оскільки при оптимізації один і той же обсяг вантажу потребує для перевезення меншої кількості вагонів.

Список літератури

1. Бабушкін Г. Ф. Імітаційне моделювання масових перевезень готової продукції металургійних підприємств автомобільним транспортом / Г. Ф. Бабушкін, С. М. Турпак, С. В. Грицай, Л. О. Васильєва // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – № 3, 2014. – С. 123–125.
2. Цимбалюк О. В. Логистическое управление предприятием в условиях неопределенности как инструмент минимизации технических рисков / О. В. Цимбалюк // *Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов*, № 8. – Курск : 2013. – С. 12–14.
3. Устенко М. О. Основні проблеми транспортної логістики / М.О. Устенко // *Вісник економіки транспорту і промисловості*, № 29. – Харків : УкрДАЗТ, – 2010. – С. 274–277.
4. Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС, действует с 1 ноября 1951 г. с изменениями и дополнениями на 1.07.2011 г.)

Одержано 11.09.2014

© Канд. техн. наук С. М. Турпак, С. В. Грицай, Л. О. Васильєва
Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

Turpak S., Gritsay S., Vasilyeva L. Improving the logistics of optimal metal forming carload shipments