

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ПІД ЧАС КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Г.О. Черепашук¹, О.П. Потильчак², Т.В. Бикова³

¹к.т.н., професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,
Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-2983-4055

²к.т.н., доцент кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,
Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-2983-4055

³к.т.н., доцент кафедри теоретичної та прикладної системотехніки,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-0184-5388

Анотація

Вступ. Контейнерні перевезення є одним із найважливіших резервів підвищення продуктивності та зниження собівартості перевезення вантажів для України. Важливим складником реалізації контейнерних перевезень є процес визначення характеристик завантаження контейнера, таких як вага порожнього контейнера, вага бруто, вага нетто і рівномірність розподілу навантаження у контейнері. Більшість контейнерних ваг, які випускаються в Україні та світі, мають такий спільний недолік, як конструктивне виконання у вигляді суцільного силового каркасу. Це ускладнює як експлуатацію, так і метрологічне забезпечення контейнерних ваг. Також до істотних недоліків існуючих контейнерних ваг можна віднести відсутність вбудованої функції контролю рівномірності завантаження контейнера. **Мета.** Створення контейнерних ваг, котрі переважають існуючі за точністю, мобільністю, універсальністю, зручністю експлуатації, мають кращі масогабаритні та вартісні показники, а також розширені функціональні можливості, зокрема функцію оперативного контролю рівномірності завантаження контейнера. **Результати.** Авторами запропоновано тензометричні контейнерні ваги з радіоканалом KB-40P, призначені для статичного зважування вантажних контейнерів, контролю рівномірності завантаження контейнера, поетапного зважування та визначення відхилення центру ваги під час завантаження контейнера, контролю ваги під час приймання контейнера. Ваги KB-40P складаються з чотирьох окремих вагових модулів і вагового терміналу. Визначення відхилення центру ваги контейнера реалізовано відповідно до вимог документів, що регламентують безпеку морського перевезення контейнерів. Метрологічне забезпечення контейнерних ваг KB-40P значно спрощується порівняно з аналогами завдяки їхній модульній структурі. **Висновки.** Використання запропонованих авторами контейнерних ваг дає змогу вдосконалити процес визначення параметрів завантаження контейнера. Головними їхніми перевагами є модульна структура,

передавання даних по радіоканалу, а також наявність функції контролю рівномірності завантаження контейнера.

Ключові слова: контейнерні перевезення, контейнерні ваги, тензодатчик, центр ваги, метрологічне забезпечення.

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF LOADING CONTAINERS DURING CONTAINER TRANSPORTATION

G.O. Cherepashchuk¹, O.P. Potylchak², T.V. Bykova³

¹Candidate of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Intelligent Measuring Systems and Quality Engineering,
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-2983-4055

²Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Intelligent Measuring Systems and Quality Engineering,
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-2983-4055

³Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Systems Engineering,
V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-0184-5388

Summary

Introduction. Container transportation is one of the most important reserves for increasing productivity and reducing the cost of transportation of goods for Ukraine. An important component of the implementation of container transportation is the process of determining the characteristics of loading a container, such as the weight of an empty container, gross weight, net weight and the equability of the load distribution in the container. Most of the container scales produced in Ukraine and the world have such a common drawback as a structural design in the form of a continuous power frame. This complicates both operation and metrological assurance of container scales. Also, the lack of a built-in function to control the uniformity of container loading can be attributed to the significant disadvantages of existing container scales. **Purpose.** The development of container scale, which are superior to the existing ones in terms of accuracy, mobility, versatility, ease of use, have better weight, size and cost characteristics, as well as expanded functionality, in particular, the function of operational control of the equability of container loading. **Results.** The authors proposed KV-40R tensometric container scale with a radio channel, designed for static weighing of cargo containers, control of equability of container loading, step-by-step weighing and determination of the deviation of the center of gravity during container loading, weight control during container acceptance. KV-40R scales consist of four separate weighing modules and a weighing terminal. Determination of the deviation of the center of gravity of the container is implemented in accordance with the requirements of the documents regulating the safety of sea transportation of containers. Metrological assurance of KV-40R container scale is significantly simplified compared to analogues, thanks to their modular structure. **Conclusions.** The use of container scale proposed by the authors allows to improve the process of determining the parameters of container loading. Their

main advantages are a modular structure, data transmission over a radio channel, as well as the presence of a function to control the equability of container loading.

Key words: *container transportation, container scale, strain gauge, center of gravity, metrological assurance.*

Вступ. Протягом останніх десятиліть зростає обсяг контейнерних перевезень по всьому світу. У зв'язку із цим багато країн приділяють підвищену увагу розвитку системи контейнерної доставки вантажів. Для України контейнерні перевезення є одним із найважливіших резервів підвищення продуктивності та зниження собівартості перевезення вантажів [1]. Основними перевагами контейнерних перевезень є:

- збереження вантажів під час транспортування від відправника до одержувача різними видами транспорту. За змішаних сполучень контейнер відіграє роль ланки, що поєднує діяльність різних видів транспорту;
- висока продуктивність вантажно-розвантажувальних робіт;
- зменшення потреби у складських площах та ризик дорожньо-транспортних пригод;
- забезпечення найбільшої екологічної чистоти транспортної продукції, що гарантується контейнерами [2].

Для забезпечення універсальності використовуються контейнери стандартних довжин: 20 футів (6,10 м), 40 футів (12,19 м), 45 футів (13,72 м), 48 футів (14,63 м) та 53 футів (16,15 м). За призначенням контейнери поділяють на універсальні – для перевезення тарно-штучних вантажів і спеціалізовані – для перевезення насипних матеріалів, рідких, рефрижераторних, газоподібних та інших вантажів. За конструкцією контейнери бувають відкриті та закриті, водонепроникні та негерметичні, металеві і з полімерних матеріалів із металевим каркасом [3].

Для кожного типу контейнерів регламентують такі важливі характеристики завантаження, як вага порожнього контейнера (TARE), максимальна вага брутто (MAX WT або MAX GROSS), максимальна допустима вага нетто (NET або PAYLOAD). Окрім того, існують вимоги до дозволеного навантаження на підлогу, стінки та дах контейнера. Також дуже важливою є рівномірність розподілу навантаження: вага вантажу в межах половини довжини контейнера не має перевищувати 60% від ваги нетто [4].

Постановка проблеми. З огляду на вищесказане, актуальним є завдання розроблення контейнерних ваг, які б дали змогу вдосконалити процес визначення характеристик завантаження контейнера.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні та світі виготовляються контейнерні ваги, за допомогою яких можна визначити необхідні характеристики завантаження контейнера [5–8]. Спільним недоліком більшості з відомих контейнерних ваг є конструктивне виконання у вигляді суцільного силового каркасу. Таке виконання ускладнює як експлуатацію, так і метрологічне забезпечення контейнерних ваг.

Ще одним суттєвим недоліком деяких існуючих контейнерних ваг можна назвати відсутність вбудованої функції контролю рівномірності завантаження контейнера.

Формулювання цілей статті. Метою, яку ставили перед собою автори, було створення контейнерних ваг, котрі переважають існуючі за точністю, мобільністю, універсальністю, зручністю експлуатації, мають кращі масогабаритні та вартісні показники, а також розширені функціональні можливості, зокрема функцію оперативного контролю рівномірності завантаження контейнера.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення сформульованих цілей авторами запропоновано тензометричні контейнерні ваги з радіоканалом KB-40P [9; 10], структурну схему яких зображено на рис. 1.

Ваги KB-40P призначені для:

- статичного зважування вантажних контейнерів;
- контролю рівномірності завантаження контейнера, який реалізовано шляхом визначення відхилення центру ваги вантажного контейнера відносно його осей симетрії;
- поетапного зважування та визначення відхилення центру ваги під час завантаження контейнера;
- контролю ваги під час приймання контейнера.

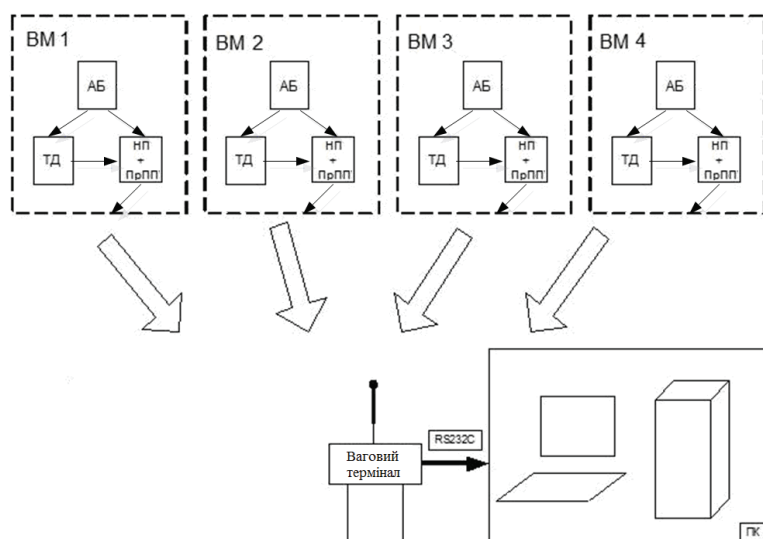


Рис. 1. Структурна схема контейнерних ваг KB-40P

Ваги KB-40P складаються з чотирьох окремих вагових модулів (BM) вантажопідйомністю 10 т та приведеною похибкою не більше $\pm 0,1\%$ кожен і вагового терміналу (BT). Кожен BM містить тензодатчик (ТД) фірми FLINTEC, нормуючий перетворювач (НП) із приймально-передавальним пристроєм (ПрПП) та аккумуляторний блок (АБ). Зовнішній вигляд вагових модулів і вагового терміналу зображено на рис. 2.

Вагові модулі можуть бути встановлені на будь-якій рівній поверхні, після чого на них розміщують зважуваний контейнер (рис. 3а). Також можливе встановлення вагових модулів на напівпричепі автомобіля (рис. 3б). Завдяки цій можливості

ваги КВ-40Р можуть використовуватися для зважування контейнерів у процесі їх внутрішньоскладських або внутрішньотермінальних переміщень.

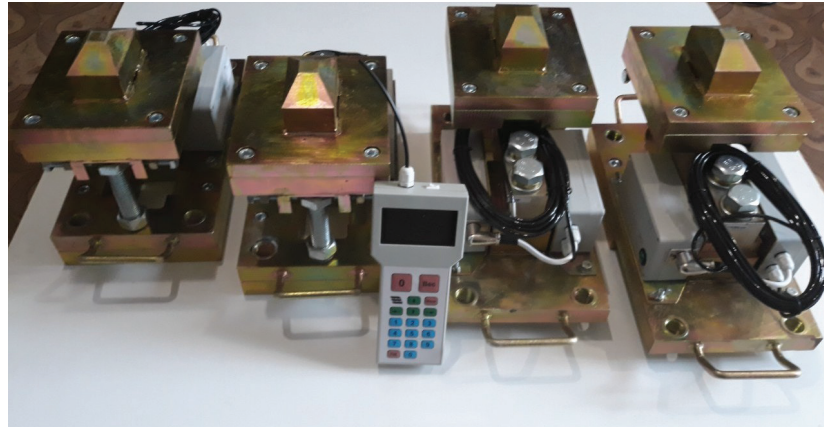


Рис. 2. Зовнішній вигляд вагових модулів і вагового терміналу

Принцип роботи кожного вагового модуля оснований на вимірюванні деформації пружного елемента (тензодатчика) під дією ваги вантажу, що зважується, з подальшою обробкою сигналу нормуючим перетворювачем і передачею радіоканалом результатів вимірювань за допомогою приймально-передавального пристрою для опрацювання і знаходження потрібних параметрів у ВТ. Плату НП та ПрПП розміщено в електронному блоці ВМ. На лицьовій панелі електронного блоку розміщено антену та індикатор радіообміну вагового модуля з ваговим терміналом.



а)

б)

Рис. 3. Варіанти встановлення вагових модулів

- У контейнерних вагах КВ-40Р реалізовано такі функції:
- режим статичного зважування вантажного контейнера (робочий режим);
 - режим поканальних вимірювань, тобто визначення складників сили ваги, що діють на кожен ваговий модуль;
 - визначення відхилення центру ваги контейнера відносно осей симетрії;
 - вибірка маси тари;
 - візуальна та звукова сигналізація виходу ваги та положення центру ваги контейнера за встановлені допустимі межі;
 - фіксація перевантажень та запис даних про зважені контейнери в архів;
 - передавання архіву ВТ через стандартний інтерфейс RS-232C у ПК.
- Основні метрологічні та технічні характеристики ваг КВ-40Р наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики ваг КВ-40Р

| Технічні характеристики | Канали | | | | Ваги |
|--|---|----------------|----------------|----------------|------------------|
| | К1 | К2 | К3 | К4 | |
| Верхня межа зважування (<i>Max</i>), кг | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 40000 |
| Нижня межа зважування (<i>Min</i>), кг | 400 | 400 | 400 | 400 | 1000 |
| Ціна повірювальної поділки <i>e</i> , кг | 20 | 20 | 20 | 20 | 100 |
| Ціна поділки дійсна <i>d</i> , кг | 20 | 20 | 20 | 20 | 100 |
| Клас точності згідно з ДСТУ EN 45501: 2017 | Середній (III) | | | | |
| Поріг чутливості, кг | 28 | 28 | 28 | 28 | 140 |
| Межа допустимої абсолютної похибки під час первинної повірки, кг від <i>Min</i> до 500 <i>e</i> від 500 <i>e</i> до <i>Max</i> | ±10,0 ±20,0 | ±10,0 ±20,0 | ±10,0 ±20,0 | ±10,0 ±20,0 | ±50,0 ±100,0 |
| Межа допустимої абсолютної похибки під час експлуатації, кг від <i>Min</i> до 500 <i>e</i> від 500 <i>e</i> до <i>Max</i> | ±20,0 ±40,0 | ±20,0 ±40,0 | ±20,0 ±40,0 | ±20,0 ±40,0 | ±100,0 ±200,0 |
| Похибка встановлення на нуль, не більше | ±0,25 <i>e</i> | | | | |
| Максимальне допустиме навантаження (<i>Lim</i>), не більше, кг | 12500 | 12500 | 12500 | 12500 | 50000 |
| Вибірка маси тари | У всьому діапазоні зважування сумарна маса вантажу та тари не повинна перевищувати <i>Max</i> | | | | |
| Час встановлення показів, не більше, с | 2...5 | | | | |
| Час безперервної роботи без підзарядки акумуляторів: - вагових модулів, не менше, год. - вагового терміналу, не менше, год. | 50 25 | | | | |
| Дальність дії радіоканалу, не менше, м | 100 | | | | |
| Розміри індикатора вагового терміналу, мм | 72 × 40 | | | | |
| Тип і роздільна здатність індикатора | Графічний РК-дисплей (128 × 64 пікселів) | | | | |

Продовження таблиці 1

| | |
|---|--------------|
| Ступінь захисту згідно з ГОСТ 14254-96: - для вагових модулів; - для вагового термінала | IP68 IP54 |
| Габаритні розміри вагового модуля, не більше, мм | 530x210x290 |
| Маса вагового модуля, не більше, кг | 53 |

Від того, як розміщено вантаж усередині контейнера, залежить положення його центру ваги (ЦВ), що, своєю чергою, впливає на безпеку контейнерних перевезень. Основними документами, що регламентують безпеку морського перевезення контейнерів, є:

- Міжнародна конвенція щодо безпечних контейнерів (КБК) 1972 р.;
- MSC.1/Circ.1497 IMO / ILO / UNECE Code of practice for packing of cargo transport units (кодекс СТУ);
- MSC.1/Circ.1498 Informative material related to the Code of practice for packing of cargo transport units (кодекс СТУ);
- Правила перевезення вантажів у контейнерах морським транспортом (РД 31.11.2118-96).

У цих документах, а також у правилах класифікаційних товариств установлюються нормативи стосовно положення ЦВ контейнера.

Фактично ЦВ контейнера може не збігатися з його геометричним центром як уздовж, так і поперек контейнера. Поздовжнє відхилення ЦВ значною мірою впливає на збалансованість контейнера, що є критично важливим під час вантажно-розвантажувальних робіт, а також під час перевезення контейнерів автомобільним транспортом.

Щоб запобігти небезпеці перекосу контейнера, ваговий термінал у процесі зважування виконує програму, за допомогою якої обчислюється положення ЦВ контейнера, а також зміщення його в поздовжньому та поперечному напрямках від заданого положення, що знаходиться в геометричному центрі контейнера. У разі перевищення одного з граничних значень відхилень умикається аварійний сигнал.

Поздовжнє положення ЦВ контейнера відносно центру отвору фітинга першого вагового модуля (ВМ1) (рис. 4), прийнятого за початок системи координат, розраховується за формулою:

$$L_1 = \frac{(P_3 + P_4) \cdot L}{G},$$

де L – відстань між центрами отворів фітингів по довжині контейнера,

$G = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$ – вага контейнера,

P_1, P_2, P_3, P_4 – вага, що припадає на кожен ваговий модуль.

Поперечне положення ЦВ контейнера відносно тієї ж точки:

$$B_1 = \frac{(P_2 + P_3) \cdot B}{G},$$

де B – відстань між центрами отворів фітингів по ширині контейнера.

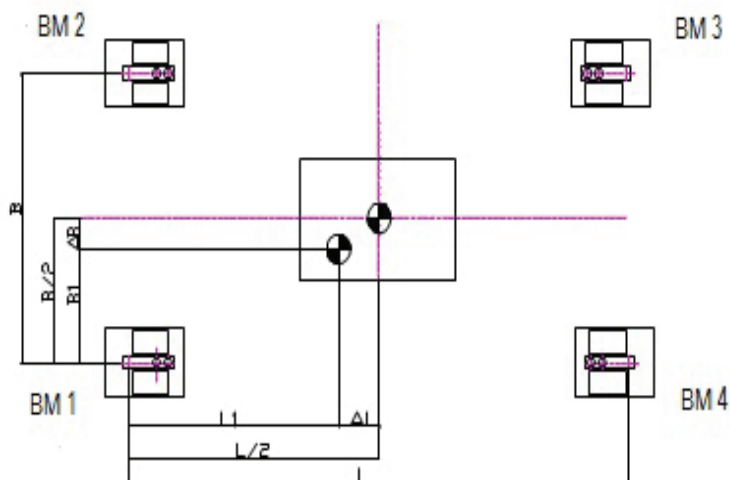


Рис. 4. Схема визначення центру ваги контейнера

Поздовжнє зміщення положення ЦВ контейнера відносно геометричного центру контейнера:

$$\Delta L = \frac{L}{2} - L_1.$$

Максимальне значення поздовжнього зміщення не повинне перевищувати 600 мм для 20-футових контейнерів і 1 200 мм для 40-футових контейнерів згідно з п. 3.1.3.9 РД 31.11.21.18-96.

Поздовжнє центрування (відносне зміщення ЦВ у відсотках від довжини контейнера):

$$\overline{X}_T = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100 \%.$$

Поперечне зміщення положення ЦВ контейнера відносно геометричного центру контейнера:

$$\Delta B = \frac{B}{2} - B_1.$$

Поперечне центрування (відносне зміщення ЦВ у відсотках від ширини контейнера):

$$\overline{Y}_T = \frac{\Delta B}{B} \cdot 100 \%.$$

Максимальні значення поздовжнього і поперечного центрувань не повинні перевищувати 5...10% згідно з розд. 3.1.4 кодексу СТU.

У програмі вагового термінала ваг KB-40P встановлено порогові значення поздовжнього і поперечного центрувань – 10%, за перевищення яких умикається аварійна сигналізація.

Метрологічне забезпечення контейнерних ваг KB-40P значно спрощується порівняно з аналогами завдяки тому, що вагові модулі не зв'язані між собою суцільним силовим каркасом, функції якого виконує сам зважуваний контейнер. Таким чином, калібрування і повірка ваг можуть здійснюватися з використанням зразкової силовимірювальної машини 2-го розряду з верхньою межею вимірювань 10 т.

Контейнерні ваги KB-40P були впроваджені у компанії «ТІС-Контейнерний термінал» (морський порт Південний, Україна).

Висновки. Використання контейнерних ваг KB-40P дає змогу вдосконалити процес визначення параметрів завантаження контейнера завдяки таким перевагам, як модульна структура, передавання даних по радіоканалу, а також наявність функції контролю рівномірності завантаження контейнера.

Подальшим розвитком даного напрямку має стати інтеграція контейнерних ваг в інформаційну систему обліку вантажопотоків [11].

ЛІТЕРАТУРА

1. Стрелко О.Г., Бердниченко Ю.А., Вознюк В.С., Ковальський І.Л. Аналіз розвитку контейнерних перевезень залізничним транспортом в Україні. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2020. № 2. doi: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2020-2-39-44>.
2. Андрієнко М.М. Оцінка ефективності контейнерних перевезень на транспорті. *Ефективна економіка*. 2011. № 10. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2011_10_9
3. Ламанова М.П., Гармаш О.М., Кагоєра Р. Розвиток контейнерних перевезень та їх ефективність. *Проблеми підготовки професійних кадрів із логістики в умовах глобального конкурентного середовища* : збірник доповідей XIX Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2022. С. 82–84.
4. Правила завантаження контейнера та кріплення вантажу. URL: <https://containers.ua/uk/articles/pravila-zagruzki-kontejnera/>
5. Контейнерні ваги. URL: <https://atagos.com.ua/product/kontejnerye-vesy/>
6. Ваги контейнерні 15 тонн. URL: <https://abc-dnepr.com/ua/p1364274989-vesy-kontejnerye-tonn.html>
7. Container weighing SOLAS. URL: <https://www.vetek.com/en/container-weighing-solas>
8. Container Scale. URL: https://www.mt.com/nz/en/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/container-scales-au/container-scales.html
9. Контейнерні ваги KB-40P. URL: <https://inburo.com.ua/product/kontejnerye-vagi-kv-40r/>

10. Черепашук Г.О., Потильчак О.П., Бикова Т.В. Застосування багатомодульних тензометричних ваг із радіоканалом під час завантаження контейнерів. *Innovations in Scientific Research: World Experience and Realities: Collection of abstracts XVIII International scientific and practical conference* (Riga, Latvia, April 10–12, 2024). International Scientific Unity, 2024. P. 218–220.
11. Копитчук М.Б. Теоретичні основи побудови і засоби практичної реалізації інтегрованих інформаційних систем обліку вантажопотоків : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.13.06. Одеса, 2003. 37 с.

REFERENCES

1. Strelko, O.G., Berdnychenko, Yu.A., Vozniuk, V.S., & Koval's'kyi I.L. (2020). Analysis of the development of container transportation by rail in Ukraine [Analiz rozvytku konteynernykh perevezen zaliznychnym transportom v Ukraini]. *Scientific works of Vinnytsia National Technical University*, 2. doi: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2020-2-39-44>.
2. Andriienko, M.M. (2011). Evaluation of the efficiency of container transportation in transport [Otsinka efektyvnosti konteynernykh perevezen na transporti]. *Efficient economy*, 10. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2011_10_9
3. Pamanova, M.P., Garmash, O.M., & Kagoiera, P. (2022). Development of container transportation and its efficiency [Rozvytok konteynernykh perevezen ta yikh efektyvnist]. *Problems of training professional personnel in logistics in the conditions of a global competitive environment: Collection of reports of the 19th International Scientific and Practical Conference*. Kyiv, 82–84.
4. Rules for loading the container and securing the cargo [Pravyla zavantazhennia konteynera ta kriplennia vantazhu]. Retrieved from <https://containers.ua/uk/articles/pravila-zagruzki-kontejnera/>
5. Container scales [Konteynerni vahy]. Retrieved from https://atagos.com.ua/product/kontejnerye_vesy/
6. Container scale on 15 tons [Vahy konteynerni 15 tonn]. Retrieved from <https://abc-dnepr.com/ua/p1364274989-vesy-kontejnerye-tonn.html>
7. Container weighing SOLAS. Retrieved from <https://www.vetek.com/en/container-weighing-solas>
8. Container Scale. Retrieved from https://www.mt.com/nz/en/home/products/Transport_and_Logistics_Solutions/container-scales-au/container-scales.html
9. Container Scale KV-40R [Konteynerni vahy KV-40R]. Retrieved from <https://inburo.com.ua/product/kontejnerni-vagi-kv-40r/>
10. Cherepashchuk, G.O., Potylchak, O.P., & Bykova, T.V. (2024). Application of multi-module tensometric scale with a radio channel during loading of containers [Zastosuvannia bahatomodulnykh tenzometrychnykh vah z radiokanalom pid chas zavantazhennia konteyneriv]. *Innovations in Scientific Research: World Experience and Realities: Collection*

of abstracts XVIII International scientific and practical conference. Riga, 218–220.

11. Kopytchuk, M.B. (2003). Theoretical foundations of construction and means of practical implementation of integrated information systems for accounting of cargo flows [Teoretychni osnovy pobudovy i zasoby praktychnoi realizatsii intehrovanykh informatsiinykh system obliku vantazhopotokiv]. *Extended abstract of doctoral dissertation*. Odesa.