

УДК 658.7

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.13

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ВАНТАЖУ НА СУЧАСНОМУ СКЛАДСЬКОМУ ТЕРМІНАЛІ

Плугіна Т. В., Єфименко О. В., Єфименко А. О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Розглянуто завдання підвищення ефективності оброблення вантажу на сучасному складському терміналі. Проаналізовано сучасні підходи щодо процесу оброблення вантажів завдяки впровадженню інтелектуальних технологій для збільшення швидкості, підвищення точності та зменшення похибки операторів. Розроблено технологію автоматизованого проектування складського терміналу. Наведено приклад ідентифікації вантажу з вибором обладнання для транспортування. Доведено, що інтелектуальні компоненти систем оброблення вантажу дають змогу підвищити продуктивність роботи складських терміналів.*

***Ключові слова:** ефективність, складський термінал, вантаж, ідентифікація, обладнання, оптимізація, вибір, розміщення, методика, інтелектуальні компоненти, система управління.*

Вступ

Розвиток вантажоперевезень визначається збільшенням обсягів вантажопотоків, що потребує сучасних підходів до проектування складських терміналів. Логістичні термінали України мають різні рівні автоматизації, здебільшого це залежить від стабільності ситуації на ринку. Більш модернізовані системи потребують значних інвестицій. Застосування інтелектуальних систем ідентифікації вантажу є рідкістю, що пов'язано зі специфікою комплексного оброблення. Технологія автоматизованого проектування складських терміналів передбачає з'ясування особливостей структури щодо конкретного терміналу, а також визначення індивідуальних особливостей і потреб щодо функціональних процесів кожного окремого терміналу.

Інтелектуальна система ідентифікації вантажу дає змогу оперативно обробляти параметри логістичного процесу, зменшити кількість обслуговувального персоналу та мінімізувати вплив людського фактора. З'являються передумови комплексного оброблення логістичних даних.

В умовах воєнного стану вплив на логістичну галузь позначається на багатьох формах зростання залежності від наземних вантажних перевезень. Надзвичайна ситуація вплинула на зростання попиту на перевезення різних товарів, ліків, медичних засобів. Через підвищений попит на безконтактні поставання та скорочення персоналу в сфері логістики зростає необхідність у запровадженні інтелектуальних систем оброблення вантажу.

Аналіз публікацій

Аналіз досліджень і публікацій дав змогу з'ясувати, що складські термінали та їх технічна база, що використовуються сьогодні в обслуговуванні транспортних потоків, потребують модернізації [1].

Системний аналіз функціонування складських терміналів вимагає розглядати явища й процеси, що вивчаються, комплексно, з урахуванням їх зовнішніх і внутрішніх зв'язків, суттєвих із погляду цілей, поставлених перед терміналом.

У розвитку термінальних систем зацікавлені закордонні фірми, отже, висуваються вимоги для розвитку транспортно-складських комплексів на території України [2].

Ефективне проектування термінальних систем потребує вирішення комплексу завдань. Необхідно визначити сучасний стан і перспективи розвитку термінальних систем для підвищення ефективності доправлення вантажів. Сучасний вантажний термінал – це комплекс, що має складну структуру, яку можна описати багатоконтурним управлінням. Завдяки багатоконтурному управлінню можна забезпечити високу якість регулювання, здатність оперативно реагувати на зовнішні зміни та проводити реінжиніринг автоматизованої системи. Реінжиніринг передбачає вибір і впровадження засобів інтелектуалізації в структуру логістичного процесу для утворення єдиного інформаційного середовища оброблення даних [2].

Прикладами термінальних мереж універсальних терміналів є транснаціональні транспортно-логістичні фірми *ASG AB*, *Schenker*, *BTL*, *TNT EW* тощо [2].

Існують такі типи терміналів: універсальні, спеціалізовані й комплексні. Універсальні термінали за своїми характеристиками найпоширеніші в Україні. Це група складів із дистрибутивним центром [3]. Саме тому постає питання проектування такого класу об'єктів. Можна виокремити такі підсистеми: підвезення-розвезення, термінали, міжтермінальне перевезення [3].

Деякі популярні технології, інтегровані в сучасні складські термінали, містять Інтернет речей (IoT), робототехніку для збирання, сортування та оброблення вантажів (SKU), доповнену реальність (AR), радіочастотну ідентифікацію (RFID), дрони для моніторингу запасів і блокчейн для шифрування даних [4]. Для ефективного проектування термінальних систем необхідно проаналізувати логістичну мережу, місце розміщення та конструкцію, інтегровані технології.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є підвищення ефективності складських терміналів завдяки раціональному вибору комплексу сучасних технічних засобів оброблення вантажу. Постановка загального завдання дослідження полягає в тому, що відомі:

- множина технічних засобів ідентифікації вантажу, що належать до системи управління складським терміналом, їх параметри та характеристики;

- множина транспортних засобів переміщення вантажу (інверторів для регулювання швидкості конвеєрного терміналу та транспортувального обладнання), їх параметри та характеристики.

Необхідно обрати комплект технічних засобів ідентифікації та засобів транспортування вантажу, що підвищать ефективність і швидкість операцій оброблення вантажу на складському терміналі з урахуванням заданих критеріїв та обмежень.

Завдання вибору системи ідентифікації ускладнюються багатозначністю різних параметрів і характеристик системи. Їх суперечливість ускладнює проектування. Для вирішення цього завдання використовується принцип декомпозиції, за умови якого виконання завдань нижнього рівня, які мають свої критерії та обмеження, приводить до реаліза-

ції загального завдання проектування з урахуванням цих обмежень. Завдання вибору технічних засобів належить до класу багатокритеріальних і може бути вирішене методами багатокритеріальної оптимізації певного типу об'єктів.

Основний матеріал дослідження

Роботи на складських терміналах – це комплекс заходів, спрямованих на оброблення вантажопотоку. Інтелектуальна система управління забезпечує ідентифікацію вантажу, визначення зони розташування, вибір транспортного засобу для доправлення до місця зберігання.

Проектування складського терміналу має декілька етапів. Результати кожного з етапів є вихідними даними для наступних. На кожному з етапів є можливість переходу як до наступного етапу, так і до попереднього.

У процесі реалізації технології автоматизованого проектування (ТАП) досліджується об'єкт, визначаються основні особливості й характеристики. Далі проводиться синтез складського терміналу як системи, визначаються основні параметри й вимоги. На основі цих вимог формуються обмеження. Наступний етап – проектування технічних засобів ідентифікації вантажу та проектування засобів транспортування вантажу на місце зберігання.

Далі здійснюється розроблення моделей багатокритеріальної оцінки та оптимізація параметрів, а також проектування інформаційно-довідкового забезпечення. Завдання багатокритеріальної оптимізації вирішуються залежно від часткових рішень. За розробленими моделями здійснюється вибір компонентів системи управління процесом оброблення вантажу. Завершальним етапом ТАП є оцінювання результатів, що дає змогу проаналізувати розроблені моделі й за необхідності доопрацювати їх шляхом повернення до попередніх етапів. Результати порівнюються з поставленою метою, і якщо мета досягнута, то переходять до реалізації проектних рішень (рис. 1.1.) [5].

У здійсненні ТАП базовим є метод багатокритеріальної оцінки й оптимізації, що має свої особливості та принципи реалізації.

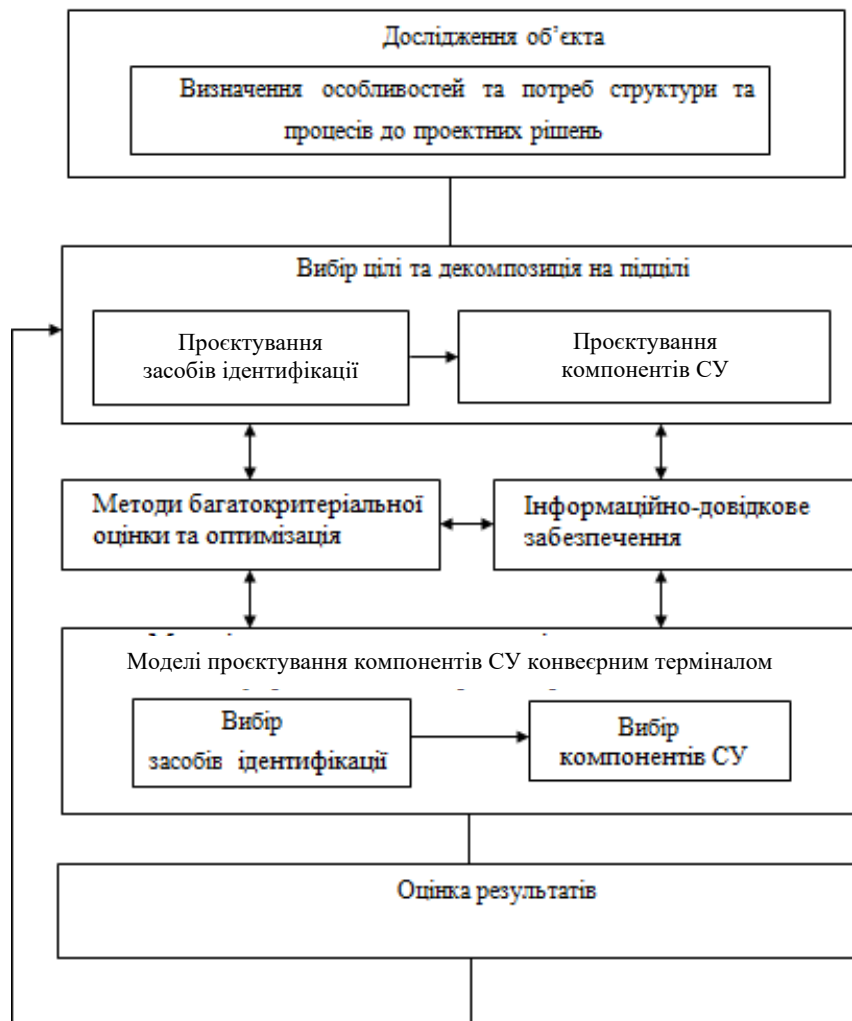


Рис. 1. ТАП – технологія автоматизованого проектування складського терміналу

Основними компонентами системи ідентифікації (RFID-системи) є зчитувачі та транспондери, що пов'язуються між собою за допомогою радіочастотного каналу. Безліч компаній перейшли на використання системи радіочастотної ідентифікації в умовах автоматизації складу [6]. У цьому разі процес радіочастотної ідентифікації виконується в такий спосіб:

- передавач зчитувача через антену безупинно (або в заданий час) випромінює посилення радіосигналу із прийнятої в певній системі частотою;

- транспондер приймає радіосигнал, зчитує код, модулює відповідний радіосигнал;

- зчитувач приймає відповідний сигнал, виділяє поміщений у нього код і передає інформацію про прийнятий вантаж за призначенням: у застосунок, систему оброблення даних або операторові.

Інформація про параметри вантажу надходить в облікову систему складу. Після цього

обирається навантажувач із відповідним робочим обладнанням та перевозить вантаж і розміщує його в спеціально призначеному для зберігання місці.

Зчитувальний пристрій пов'язаний із мобільним комп'ютером на борту навантажувача. Як тільки навантажувач піднімає вантаж, зчитувальний пристрій автоматично зчитує інформацію з чипа на передній стороні піддона та передає її бортовому комп'ютеру. Комп'ютер надсилає інформацію системі керування запасами компанії.

Розміщення вантажу здійснюється відповідно до зон зберігання з урахуванням певних ознак: оборотності, однотипності, виробника, габаритності тощо.

Місця зберігання позначають RFID-мітками, це формує віртуальну карту складу завдяки відповідному програмному модулю.

Транспортні роботи з примусовим переміщенням, автоматизовані крани-штабелери та система супутникових стелажних складів є прикладом використання інтелектуальних

компонентів системи оброблення вантажів на сучасному складському терміналі. Схема складського процесу зображена на рис. 2.

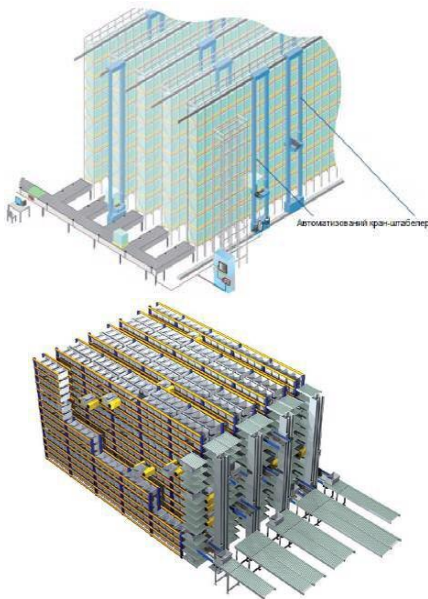


Рис. 2. Внутрішньоскладські вантажно-розвантажувальні операції

Стелажні склади є системою, де переміщення вантажів у середині стелажа здійснюється за допомогою спеціальних телескопічних (супутникових) візків з автоматичним керуванням.

Візки рухаються по рейках за сигналами багатоканального керування. Підійомник переміщає вантаж між рівнями. Захоплювальні пристрої на візку здійснюють переміщення вантажу з комірок стелажа й навпаки. Операції з переміщення вантажу виконує телескопічний візок, маршрут якого програмується відповідно до поставленого завдання. Передача даних здійснюється бездротовою технологією або по рейках [5].

За допомогою інтелектуальних засобів оброблення інформації складається маршрут самостійно, реалізується автономність модулів, гнучкість щодо змінних зовнішніх параметрів.

Спрощення комунікації між модулями підвищує перешкодозахищеність системи та здатність до швидкої реконфігурації.

На рис. 3 наведено транспортну систему *Dematic Multishuttle*, що забезпечує переміщення візків не тільки по рейках, а й територією складу.

На рис. 4 подано приклади пристроїв, що захоплюють вантаж, для використання на стрічкових транспортерах складських конвеєрів.

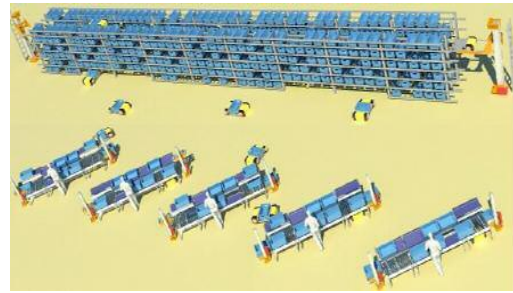


Рис. 3. Супутникова транспортна система *Dematic Multishuttle*



Рис. 4. Пристрої зі стрічковим транспортером і з телескопічним захоплювальним пристроєм

Рейки здатні обмінюватися даними між супутниковими модулями та верхнім рівнем керування [6].

До комплексу технічних засобів системи ідентифікації вантажу належить зчитувач і радіочастотна мітка, тому вибір комплексу технічних засобів здійснюється шляхом декомпозиції загального завдання проектування на часткові. Окремо обираються мітки та зчитувач. Функціональні та витратні критерії вибору міток: максимальна робоча частота, максимальний радіус зчитування, максимальний обсяг пам'яті, мінімальна антиколізія (одночасне спрацювання), мінімальна вартість. Функціональні й витратні критерії вибору зчитувача: максимальна робоча частота, максимальний радіус зчитування, мінімальне живлення, мінімальна маса, мінімальна вартість.

Засіб транспортування вантажу (штабелер) обирається за такими функціональними й витратними показниками: вантажопідйомність, висота підйому, живлення, середня швидкість, вартість.

Критеріями вибору інвертора для регулювання швидкості конвеєрних ліній, якими пересувається вантаж після ідентифікації є максимальний кутовий момент, максимальний діапазон робочих температур, максимальна вихідна потужність, мінімальна інтенсивність відмов, мінімальна вартість.

За визначеними критеріями та обмеженнями розробляються математичні моделі вибору комплексу технічних засобів (рис. 5).

Для кожного критерію визначається деяка узагальнена оцінка цінності або корисності. Вводимо значення вагових коефіцієнтів та за максимальною адитивною корисністю знаходимо значення цільової функції $P(X)$ для кожної моделі. Розроблені моделі є універсальними, можуть бути адаптовані для вибору як засобів ідентифікації, так і засобів переміщення вантажу та належать до класу завдань багатокритеріальної оптимізації дискретного програмування з булевими змінними.

Розраховуємо узагальнений адитивний критерій, максимальне значення якого вказує

на раціональний вибір з низки альтернатив [2]. Як приклад, результати обчислень узагальненого адитивного критерію вибору засобу переміщення вантажу (вузкопрохідного штабелера) зображено на рис. 6.

Аналогічно розраховуються узагальнені адитивні критерії для кожного типу технічних засобів. У такий спосіб формуємо комплект елементної бази системи управління для складського терміналу. Обраний комплект технічних засобів дасть змогу максимально підвищити ефективність робочих операцій на складі.

Показники	Критерії	Обмеження
вантажопідйомність	$BP = \max \sum_{j=1}^{j'} BP_j \cdot y_j;$	$\max \sum_{j=1}^{j'} BP_j \cdot y_j \geq BP_{зад};$
висота підйому	$H = \max \sum_{j=1}^{j'} H_j \cdot y_j;$	$\max \sum_{j=1}^{j'} H_j \cdot y_j \geq H_{зад};$
живлення	$Ж = \min \sum_{j=1}^{j'} Ж_j \cdot y_j;$	$\min \sum_{j=1}^{j'} Ж_j \cdot y_j \leq Ж_{зад};$
середня швидкість	$M = \max \sum_{j=1}^{j'} M_j \cdot y_j;$	$\max \sum_{j=1}^{j'} M_j \cdot y_j \geq M_{зад};$
вартість	$B = \min \sum_{j=1}^{j'} B_j \cdot y_j.$	$\min \sum_{j=1}^{j'} B_j \cdot y_j \leq B_{зад}.$

Рис. 5. Моделі вибору

Тип штабелеру/ Показник	К- MATIC	Heli CDD	Vulkan	CDD16AE C1	Найг. показ	Найкр. показ	Коеф. вагомості
Вантажопідйомність, т	1	1	1,5	1,6	1	1,6	0,28
Висота підйому, см	72	30	35	45	30	72	0,15
Живлення, В/а	775	550	580	630	775	550	0,12
Середня швидкість, км/год	9	4,5	5	12	4,5	12	0,25
Вартість, тис. грн	117	85	71	311	311	71	0,2

Тип штабелеру/ Показник	К- MATIC	Heli CDD	Vulkan	CDD16AE C1	Коеф. вагомості
Вантажопідйомність, т	0	0	0,833	1	0,28
Висота підйому, см	1	0	0,12	0,357	0,15
Живлення, В/а	0	1	0,867	0,644	0,12
Середня швидкість, км/год	0,6	0	0,066	1	0,25
Вартість, тис. грн	0,808	0,94	1	0	0,2
Цільова функція	0,462	0,308	0,572	0,661	

Рис. 6. Розрахунок узагальненого адитивного критерію

Висновки

На сьогодні в сучасному складському технологічному процесі необхідні контроль і прозорі схеми керування, що дадуть змогу в режимі реального часу бачити, знати та координувати технологічні операції, пов'язані із обслуговуванням вантажу. Унаслідок упровадження інтелектуальних засобів у контур керування вдається досягти гармонічного функціонування складу як єдиного організму. Радіочастотна ідентифікація наділяє вантаж інтелектом і дає змогу «спілкуватися» із комп'ютером без контакту та прямої видимості.

Запропонована технологія автоматизованого проектування складських терміналів допомагає формалізувати основні елементи й розробити моделі кожного проектного рішення.

Створені моделі вибору дають змогу підібрати комплект технічних засобів системи управління, що підвищить ефективність і якість проведення технологічних операцій.

У процесі роботи було обрано такі складники системи управління складським терміналом: мітка *Reflamac UPM FROG*, зчитувач моделі *Impinj Speedway Revolution 420*; частотний перетворювач інвертор *SX*; вузькопрохідний штабелер типу *CDD16AEC1*.

Порівняння характеристик технічних засобів до та після проектування наведено на рис. 7.

Показники	ТЗ	ТЗ новий	Покращення характеристик, %
	штабелер Heli CDD	штабелер CDD16AEC1	
Вантажопідйомн., т	1	1,6	60
Висота підйому, см	30	45	50
Живлення, В/а	550	630	-
Середня швидкість, км/год	4,5	12	155,5
Вартість, тис.грн	85	311	-

Рис. 7. Ефективність вибору транспортного засобу

Економічний ефект від упровадження інтелектуальних систем управління складським терміналом розраховується на основі поточного стану підсистем складу, передбачуваного зниження витрат, контролю простоїв, швидкості проведення операцій руху вантажів і под. Запропонована технологія дає змогу модернізувати систему управління в найкоро-

тший термін, розширювати функції складських терміналів та адаптувати їх під мінливі умови експлуатації.

Література

- Borenstein J., Everett H. R., Feng L., Wehe D. Mobile Robot Positioning. Sensors and Techniques Invited paper for the *Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots*. 1997. Vol. 14. No. 4. P. 231–249.
- Петров Е. Г., Новожилова М. Ф., Гребеннік І. В. Методи й засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах. Київ: Техніка, 2004. 256 с.
- Kletti J. *Manufacturing Execution System-MES*. Springer Science & Business Media, 2007. 272 p. ISBN 978-3-540-49744-8. DOI: 10.1007/978-3-540-49744-8 (дата звернення: 15.11.2022).
- Zhong R. Y., Xu X., Klotz E., Newman S. T. Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*. 2017. Vol. 3. No. 5. P. 616–630. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015> (дата звернення: 14.11.2022).
- Siegiwart R., Nourbakhsh I. *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. A Bradford Book. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 2004. 336 p.
- The algorithm for the assessment of heavyweight and oversize cargo transport routes / A. Petraska et al. *Journal of Business Economics and Management*. 2017. No. 18 (6). P. 1098–1114. ISSN 1611-16-99/e ISSN 2029-4433.
- Gajewska T., Zimon D. Study of the logistics factors that Influence the development of e-commerce services an the customer's opinion. *Archives of Transport*. 2018. No. 45 (1). P. 25–34. ISSN 0866-9546/e- ISSN 2300-8830.

References

- Borenstein, J., Everett, H. R., Feng, L., Wehe, D. (1997) Mobile Robot Positioning. Sensors and Techniques Invited paper for the *Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots*, vol. 14, no. 4, pp. 231–249.
- Petrov, E. G., Grebennik, I. V. (2004) Methods and means of decision-making in socio-economic systems. Kyiv, 256 p.
- Kletti, J. (2007) *Manufacturing Execution System-MES*. Springer Science & Business Media, 272 p. ISBN 978-3-540-49744-8. DOI: 10.1007/978-3-540-49744-8 (last accessed: 15.02.2023).
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., Newman, S. T. (2017) Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review. *Engineering*, vol. 3, no. 5, pp. 616–630. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>. (last accessed: 15.02.2023).
- Siegiwart, R., Nourbakhsh, I. (2004) *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. A Bradford Book.

The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 336 p.

6. Petraska, A. et al. (2017) The algorithm for the assessment of heavyweight and oversize cargo transport routes. *Journal of Business Economics and Management*, no. 18 (6), pp. 1098–1114. ISSN 1611-16-99/e ISSN2029-4433.
7. Gajewska, T., Zimon, D. (2018) Study of the logistics factors that Influence the development of e-commerce services an the customer's opinion. *Archives of Transport*, no. 45 (1), pp. 25–34. ISSN 0866-9546/e- ISSN 2300-8830.

Плугіна Тетяна Вікторівна, канд. техн. наук, доцент, каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, +380(99)903-38-82, plutan2016@ukr.net.

Єфименко Олександр Володимирович, канд. техн. наук, проф. каф. будівельних і дорожніх машин, +380(95) 012-42-62, khadi.alef@gmail.com.

Єфименко Андрій Олександрович, аспірант, каф. будівельних і дорожніх машин, +380(68) 383-05-04, yefym@gmail.com.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків.

Increasing the efficiency of cargo handling at a modern warehouse terminal

Abstract. Problem. The task of increasing the efficiency of cargo handling at a modern warehouse terminal is considered. The need to introduce intelligent cargo handling systems has increased due to the increased demand for supplies and the reduction of personnel in the field of logistics. When analyzing the current state of terminal transportation, it was found that the volume of transportation exceeds the capacity of the terminals. **Goal.** The goal is to choose a set of technical means of identification and means of cargo transportation for the management of the terminal, which will increase the efficiency and speed of cargo handling operations in the warehouse taking into account the specified criteria and restrictions.

Methodology. The task of choosing a identification system is complicated by the ambiguity of various system parameters and characteristics. Their inconsistency complicates the design process. To solve this problem, the principle of system decomposition is used, in which the solution of lower-level tasks, which have their own criteria and restrictions, leads to the solution of the general design problem taking into account these limitations. The task of choosing technical means belongs to the class of multi-criteria and can be solved by methods of multi-criteria optimization of this type of objects. **Results.** The technology of automated design of the warehouse terminal has been developed. Models for selecting components of the logistic terminal control system have been developed. An example of the selection of the element base of the identification and transportation system according to the specified criteria and restrictions is given. **Originality.** The originality lies in the fact that the using intelligent components of information processing systems allow to increase warehouse terminal productivity. **Practical value.** Using the technology of automated design of modern warehouse terminals, a number of issues related to the accuracy, quality and speed of decision-making during cargo handling are solved.

Keywords: efficiency, warehouse terminal, cargo, identification, equipment, optimization, selection, placement, methodology, intelligent components, management system.

Pluhina Tetiana, PhD, Associate Professor, of the Department of Automation and computer-integration technologies, tel. +380(99) 903-38-82, plutan2016@ukr.net.

Yefymenko Oleksandr, PhD, Associate Professor, of the Department of Construction and Road Machinery, tel. +380(95) 012-42-62, khadi.alef@gmail.com.

Yefymenko Andriy, Graduate student, of the Department of Construction and Road Machinery, tel. +380(68) 383-05-04, yefym@gmail.com.
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo ave., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.