

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2020-22-8>

УДК 005.5:330.1

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ РОБОТАМИ НА БАЗІ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF LOAD MANAGEMENT ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC ALGORITHMS

**Пістунов Ігор Миколайович**

доктор технічних наук, професор,  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9041-368>

**Луцан Артем Михайлович**

аспірант,  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0591-6010>

**Pistunov Igor, Lushchan Artem**

National Technical University "Dnieper Polytechnic"

Використання технології крос-докінгу дозволяє зменшити час на обробку вантажів в умовах перевалки товарів через склади, що накопичують товари перед відправкою до споживача. Для великої перевалочної бази така технологія прискорює обробку вантажів, але при цьому збільшується навантаження на оператора цих операцій, що неминує викликає помилки в адресації до споживача, виду транспортного засобу або номеру стелажу, де товар має тимчасово зберігатися. Для вирішення цієї проблеми було застосовано методіку, що базується на алгоритмах нечіткої логіки. Було створено 125 нечітких правих адресації, на базі яких автоматично, з використанням програми MatLab розраховано можливі значення адресації вантажу. Цей масив даних було апроксимовано лінійною залежністю, яка виявила можливість економії часу не менше двох хвилин на одну вантажну автомашину.

**Ключові слова:** крос-докінг, нечітка логіка, лінійна апроксимація.

Использование технологии кросс-докинга позволяет уменьшить время на обработку грузов в условиях перевалки товаров через склады, накапливающих товары перед отправкой к потребителю. Для большой перевалочной базы такая технология ускоряет обработку грузов, но при этом увеличивается нагрузка на оператора этих операций, неизбежно вызывает ошибки в адресации к потребителю, вида транспортного средства или номера стеллажа, где товар должен временно храниться. Для решения этой проблемы была применена методика, базирующаяся на алгоритмах нечеткой логики. Было создано 125 нечетких правых адресации, на базе которых автоматически, с использованием программы MatLab рассчитаны возможные значения адресации груза. Этот массив данных было аппроксимирована линейной зависимостью, которая обнаружила возможность экономии времени не менее двух минут на одну грузовую автомашину.

**Ключевые слова:** кросс-докинг, нечеткая логика, линейная аппроксимация.

In this study, a model of decision-making in a fuzzy environment was proposed according to several criteria. Estimating the unloading time of a truck that is part of a cross-docking terminal is seen as one of the most important decision-making processes for effectively planning a supply chain distribution center. Any delay or unsuitability in the input phase of maintenance will slow down further processes, namely internal processes and outbound operations. The last processes will not be able to be completed if all incoming loads are not yet completed. This description takes into account the importance of effective management of incoming operations. This article presents a model for calculating the expected time of unloading the truck, which allows in real time to assign and plan incoming operations at the docking station in real time. The purpose of the model was to minimize the total service time of trucks at the front door, thereby reducing the waiting time of the truck in the warehouse. The calculations performed in Excel for some cases served as a means of preliminary verification of the logic of the developed model. Compared to previous studies, for example, in which the unloading time was considered as a constant unit of time based on the number of

products (one unit of time for one unit of product). Unloading time in this study is presented as an estimated value based on several input parameters using a fuzzy logic approach. The results of this method, relating to the range and values of unloading, were approved by experts from LLC "Microbor Ukraine". The estimated time of unloading the truck is valuable information, as it allows the decision maker to estimate the time of service of the truck (waiting time plus unloading time), in which the waiting time is calculated based on the estimated time of service of earlier trucks. Assignment of the truck to the door can be done systematically after registration, as the fastest of the available dock doors can be determined in advance.

**Keywords:** cross-docking, fuzzy logic, linear approximation.

**Постановка проблеми.** Призначення і планування руху вантажівок від дверей до дверей стали важливими рішеннями в терміналі крос-докінгу, так як це диктує дві третини основних щоденних операцій в крос-докінгу, які є вхідними та вихідними. Пріоритетна координація в'їжджаючих і виїжджаючих вантажівок забезпечить безперебійну роботу стикувального комплексу.

Погане планування руху вантажівок може привести до перевантажень, неякісної продукції і тривалого часу обробки, що може збільшити вартість.

Крім того, при наявності великої кількості вантажівок постачальників, які повинні обслуговуватися на вхідній стадії, неправильне рішення про планування може привести до того, що у керівництва операції з'являться додаткові робочі години для завершення всіх вихідних вантажів.

Стосовно цієї проблеми було запропоновано рішення, а саме розробити систему на базі нечіткої логіки для розрахунку очікуваного часу розвантаження вантажівки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Знайдення алгоритму оптимізації часу при використанні крос-докінгу описано в роботі [1], в якій автори намагалися мінімізувати час виконання операцій, застосовуючи бінарні алгоритми прийняття рішень, а отже, фактично ігнорували досвід операторів, що керують операції перевалки товарів.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Врахування особистого досвіду операторів що керують операції перевалки товарів можливе при застосуванні алгоритмів нечіткої логіки [2], які дозволяють формалізувати особистий досвід спеціалістів, які почати не можуть дати чітких рекомендацій, обмежуючись нечіткими типу «більше-менше», «повільніше-швидше», «лівіше-правіше», тощо.

**Формулювання цілей статті:**

1. Обрати підприємство, що використовує технологія крос-докінгу.

2. Опитати операторів щодо найкращих прийомів виконання операцій.

3. Створити систему рівнянь, що містять нечіткі висновки та визначити діапазон існування для кожної лінгвістичної змінної.

4. Реалізувати ці рівняння в систему нечіткої логіки програми Matlab.

5. За допомогою цієї програми створити набір чітких висновків на базі реальних розвантажень-завантажень.

6. Апроксимувати набір чітких висновків математичним рівнянням, яке можна було б реалізувати на базі Microsoft Excel.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В даному дослідженні дані були зібрані логістичної компанії – ТОВ «Мікробор Україна», яка займається наданням крос-докінг послуг.

Зібрані дані включали в себе всю необхідну інформацію, яка стосується вхідної операції. Ці дані включали в себе детальну інформацію про час прибуття вантажного автомобіля, час початку обслуговування вантажного автомобіля біля дверей дока, час, що витрачається на розвантаження вантажу і час виїзди вантажівки з доку. Час розвантаження в даному дослідженні відноситься до загального часу, витраченому на перевантаження вантажу з вантажного автомобіля на вантажний відсік, а також часу, витраченому на перевірку правильності продукції. Крім того, з інформації, написаної в примірниках замовлень на поставку, була отримана інформація про різновиди товарів і кількості коробок. Вхідні дані для п'яти вантажівок наведено в таблиці 1.

В даному дослідженні використовувався підхід нечіткої логіки для оцінки часу розвантаження вантажівок при в'їзді в стикувальний вузол роздрібною торгівлі. Оцінка часу розвантаження була визначена шляхом вимірювання трьох основних критеріїв, а саме: кількість замовлень на поставку, перевезених вантажівкою, варіативність позицій, перелічених у кожному замовленні на поставку, і кількість ящиків, завантажених у вантажівку. Ці критерії розглядалися в даному дослідженні, так як це була доступна інформація, яку можна було отримати на підставі замовлень на поставку, представлених вантажівкою в пункті реєстра-

Таблиця 1

## Вхідні дані для п'яти вантажівок

Truck	PO	I	B	AT	ST	DT	AUT(min)
1	1	3	11	11:44	11:45	11:55	10
2	21	54	59	8:51	9:11	10:46	94
3	42	211	314	9:56	11:12	14:27	185
4	77	345	694	8:09	9:06	14:17	310
5	120	382	728	13:25	15:02	20:16	296

Джерело: таблицю створено особисто авторами за даними звітів ТОВ «Мікробор Україна»

де PO – Purchase order (кількість замовлень); I – Item (кількість товару); B – Boxes (кількість коробок); AT – Actual time (дійсний час); ST – Start time (час старту операції); DT – Departure time (час відправлення); AUT – Actual unloading time (дійсний час на перевантаження); Min – Minutes (хвилини).

ції. При оцінці часу розвантаження з використанням нечіткої логіки необхідно було виконати шість етапів:

**Етап 1:** Визначення вхідних і вихідних змінних: В даному дослідженні були визначені три вхідних і одна вихідна змінні. Вхідними змінними були – кількість замовлень на поставку (*Purchase order – PO*), різновиди товарів (*Item – I*) і кількість коробок (*Boxes – B*), в той

час як вихідною змінною було очікуваний час розвантаження (*Unloading time – UT*), числове значення цього показника означає – кількість хвилин. Для кожної лінгвістичної змінної відповідне лінгвістичне значення і діапазон приналежності представлені в табл. 2.

Діапазон був класифікований на основі проаналізованих даних, в той час як функція приналежності до відповідних вхідних і вихідних

Таблиця 2

## Лінгвістичні змінні, лінгвістичні значення та діапазон приналежності до нечітких множин

Лінгвістична змінна	Лінгвістичне значення	Діапазон
<b>Вхідні змінні</b>		
Кількість замовлень (PO)	Very few (VF)	[0,17]
	Few (F)	[14,52]
	Moderate (M)	[49,102]
	High (H)	[99,152]
	Very High (VH)	[149,252]
Кількість товару (I)	Very few (VF)	[0,50]
	Few (F)	[30,150]
	Moderate (M)	[120,250]
	High (H)	[200,400]
	Very High (VH)	[300,900]
Кількість коробок (B)	Very few (VF)	[0,100]
	Few (F)	[60,400]
	Moderate (M)	[200,800]
	High (H)	[500,1500]
	Very High (VH)	[900,4500]
<b>Вихідні змінні</b>		
Час перевантаження – Unloading time (UT)	Extremely short (ES)	[0,30]
	Very short (VS)	[20,45]
	Short (S)	[35,90]
	Moderate (M)	[60,120]
	Long (L)	[100,360]
	Very long (VL)	[240, 480]
	Extremely long (EL)	[400,600]

Джерело: таблицю створено особисто авторами на основі опитування експертів ТОВ «Мікробор Україна»

змінних була запропонована на основі цього аналізу даних і схвалена експертами компанії.

Для цього було проведено опитування «експертів» – менеджерів та операторів підприємства: Була створена група із 10 чоловік (4 оператора, 6 менеджерів), які були призначені керівництвом підприємства, для надання відповідей на запитання, що стосуються визначення діапазонів нечітких функцій приналежності та створення правил з лінгвістичним змінними. Кожен експерт отримав анкету, в якій було: певний набір чисел для кожної зміни, та необхідно було для кожного числа вибрати нечітку множину (Very Few, F,...); та написати правила для цих нечітких множин на свій розсуд.

**Етап 2:** Правила, які генеруються на базі нечіткої логіки з лінгвістичних значень вхідних і вихідних змінних.

Посилаючись на крок 1, були запропоновані три вхідні змінні з п'ятьма лінгвістичними значеннями для кожного входу. Таким чином, є можливість розрахувати загальна кількість можливих правил, які можуть бути отримані:

$$I = K^n \quad (2.1)$$

де  $I$  – максимально можлива кількість правил,  $K$  – кількість лінгвістичних значень,  $n$  – кількість вхідних змінних. Отже:  $I = 5^3 = 125$  правил.

Проте, 33 можливих правил були виключені трав цьому дослідженні експертами компанії через нелогічний стан:

– Оскільки кількість варіантів різноманітності товару, не може бути більше ніж кількість коробок у вантажівці.

– Кількість замовлень не може бути більша ніж кількості коробок

– Кількість замовлень не може бути більше ніж різноманітності товару, за умови що в одній коробці не може бути два різних товару.

Правила, що були виключені із списку, наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

**Фрагмент Правил, які були виключені через нелогічний стан**

№	PO	I	B
1	F	M	VF
2	F	H	VF
3	F	VH	VF
4	F	VH	F
5	H	M	VF
6	H	F	VF
30	VH	F	VF
31	VH	M	VF
32	VH	VH	F
33	VH	VH	VF

Тому на основі отриманих 92 можливих правил (рис. 1) була створена таблиця Fuzzy Associative Memory (FAM) [4], що представляє всі можливі виходи з усіх можливих входів. Всі можливі вхідні змінні були об'єднані за допомогою оператора 'AND'. Таблиці Fuzzy Associative Memory (FAM) були передані на затвердження експертам компанії.

Наприклад, правило 1 може бути представлено у вигляді правила IF–THEN як:

**Правило 1:** Якщо кількість замовлень на поставку дуже мало, а різновидів товару дуже мало, а коробок дуже мало, то час розвантаження дуже мало.

Таким чином – **Правило 1:**  $PO_{VF} \wedge I_{VF} \wedge B_{VF} \rightarrow UT_{ES}$ .

Із обраними вхідними параметрами  $X$  (Кількість замовлень) –  $Y$  (Кількість товару) – 15, та вихідним параметром та віссю  $Z$  (Очікуваний час розвантаження).

**Етап 3:** Вхідна фазифікація. Була використана трапецієвидна функція для процесу перетворення чітких значень, тому що вона краще підходить для таких властивостей множин, які характеризують невизначеність типу: "приблизно дорівнює", "середнє значення", "розташований в інтервалі", "подібний до об'єкту", "схожий на предмет" і ін. Також служить, для подання нечітких чисел і інтервалів.

Використовуючи функцію приналежності, фазифікатор брав вхідні значення і визначав ступінь, в якій значення належать кожному з нечітких множин. Наприклад, функції приналежності лінгвістичних значень до числа замовлень на поставку наведені на рис. 3. Тоді як його трапецієподібний нечіткий набір можна проілюструвати на рис. 2.

Проведені розрахунки показують, що вхідний значення  $w$  належало більше до нечіткій множині – very few за ступенем приналежності, яка ближче до 1 в порівнянні з функціями належності для нечіткого множини – few.

**Етап 4:** Об'єднання нечітких значень отриманих на етапі 3 з правилами на базі нечітких правил (FRB), отриманими на етапі 2, для отримання нечіткого виведення. На рисунку 2.12 приведено вікно візуалізації нечіткого виведення. Вікно активізується командою Rules меню View. В полі Input вказуються значення вхідних змінних, для яких виконується нечіткий логічний висновок.

**Етап 5:** Об'єднання вихідних даних: Агрегація являє собою процес об'єднання всіх окремих нечітких виходів в одну нечітку множину.

**Етап 6:** дефазифікація об'єданого виходу: Метою дефазифікації було перетворення агрегованого нечіткого виходу в чітку величину.

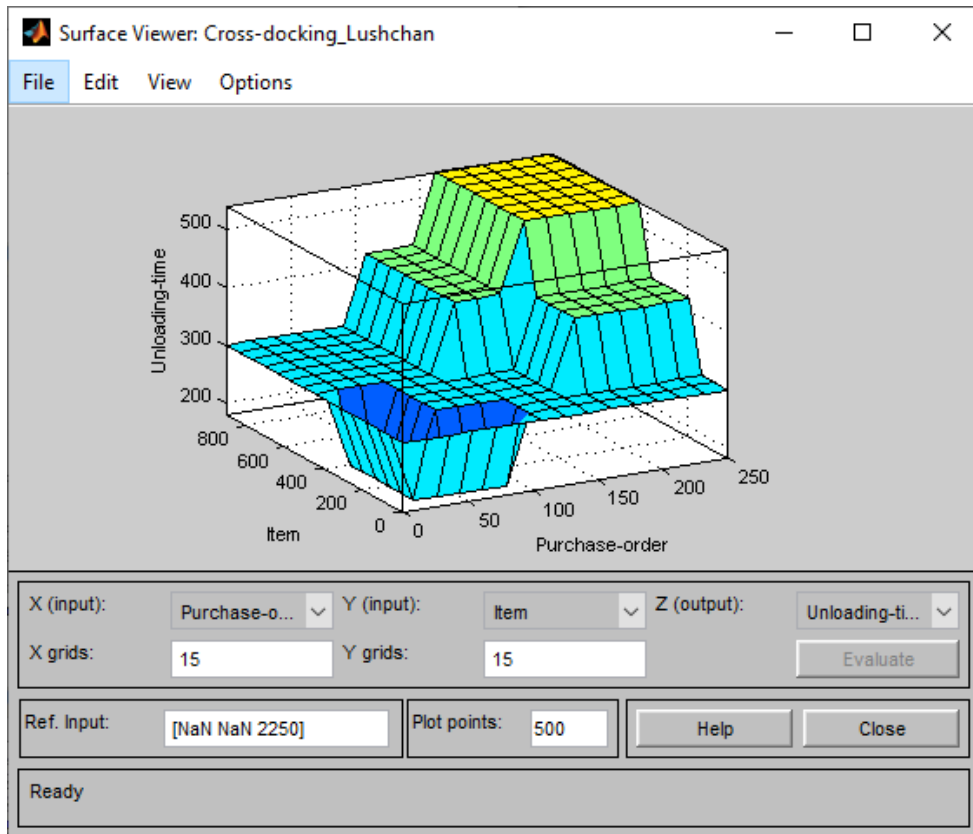


Рис. 1. Графічний аналог створеної системи розрахунку

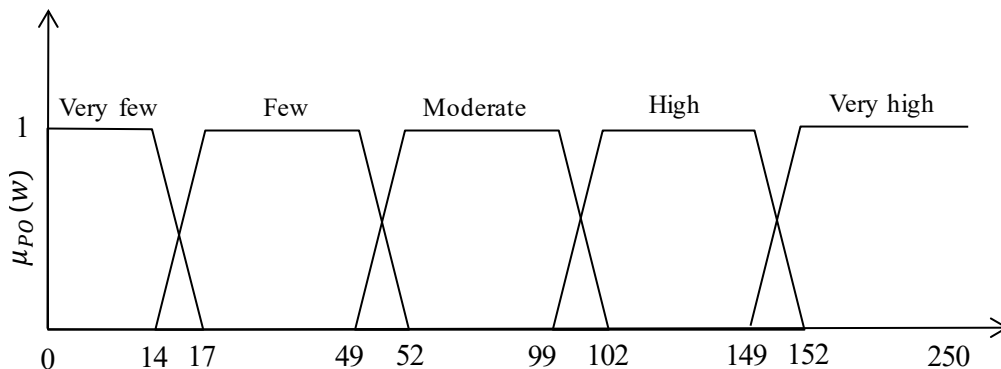


Рис. 2. Трапецієвидна функція приналежності для PO

В даному дослідженні було використано інструментарій Matlab для роботи з нечіткою логікою для визначення розрахункового часу вантажівки постачальника.

Для підтвердження застосовності запропонованого в даній роботі методу нечіткої логіки було проведено порівняння фактичного часу розвантаження з реальними даними, які зібрані в даній роботі, з розрахунковим часом розвантаження, отриманим в результаті застосування підходу нечіткої логіки. У табл. 4 наведено порівняння фактичного часу розвантаження з розрахунковим часом розвантаження для п'яти обраних вантажівок постачальника.

У першому стовпчику таблиці 2.4 представлена кількість вантажівок (Truck) для проходження, а саме – п'ять, далі слідує кількість замовлень на поставку (Purchase order), перевезених в одній вантажівці у другому стовпчику. У третій колонці представлено різноманіття позицій (Item), вказаних в замовленнях на поставку, а в четвертій колонці вказано кількість ящиків (Boxes), що перевозяться на одну вантажівку. У п'ятому і шостому стовпчиках представлено фактичний час розвантаження (Actual unloading time), отримане в результаті збору даних, і значення розрахункового часу розвантаження (Estimated unloading

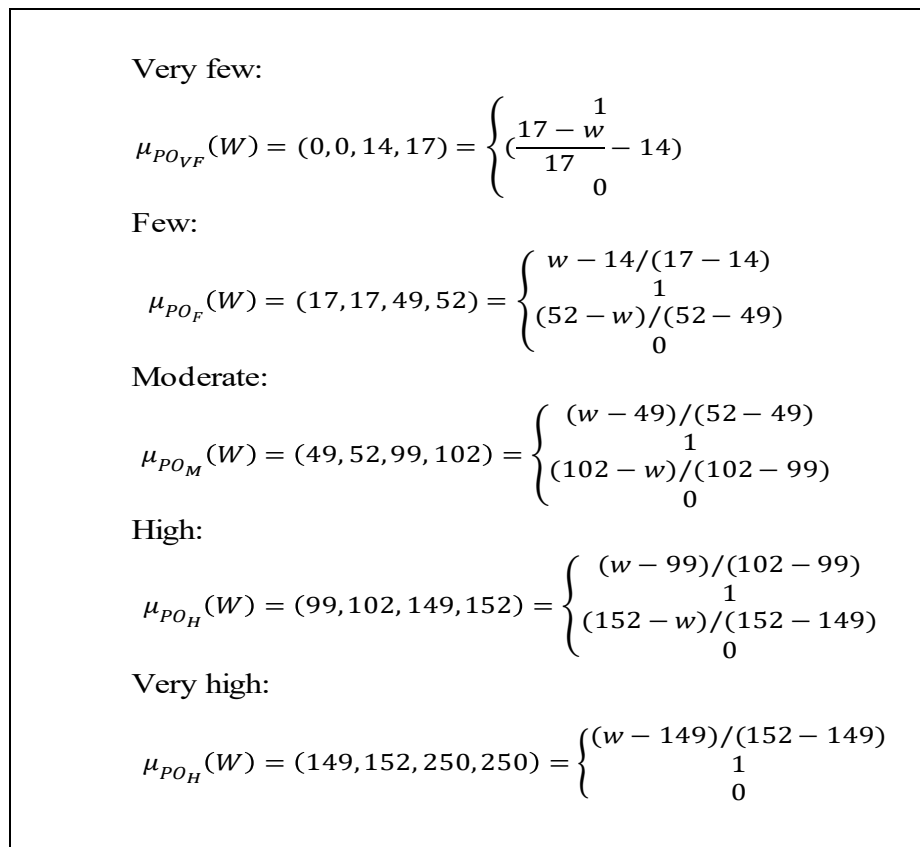


Рис. 3. Функція приналежності для кількості замовлень (W)

time), отримане в результаті застосування підходу нечіткої логіки, відповідно. В останньому стовпці табл. 2.4 наведена різниця (Difference) між фактичним часом розвантаження і розрахунковим часом розвантаження з попередніх стовпців в хвилинали.

За відомі значення у було взято діапазон вихідних значень – Unloading time (UT), за відомі значення x діапазон вхідних значень – Purchase order (PO), Item (I), Boxes (B).

Отримані результати розрахунків було описано лінійною моделлю виду.

$$Y = 15,774 + 1.306x_1 + 0.0853x_2 + 0.0571x_3$$

Ця модель має високе значення коефіцієнту детермінації – 0,9171 та критерій

Фішера більше ніж табличне значення –  $F_{табл} = 3,238 < F_{розрах} = 58,967$ .

Для розрахунків економічного ефекту була складена табл. 5 на основі даних, взятих зі звітів компанії про минулі виконанні операції по обслуговуванню автомашин в терміналі крос-докінгу. Була взята вибірка з 10 вантажівок, порядковий номер кожної у першому стовпці табл. 5. Час, який потрібно для розвантаження вантажівки, на думку оператора терміналу записаний у хвилинали у другому стовпчику (UT<sub>м</sub>), у третьому – час, який було розраховано за допомогою розробленої моделі (UT<sub>р</sub>) та фактичний час розвантаження (UT<sub>ф</sub>). Розрахунок часу відбувався на підставі вхідних даних ван-

Таблиця 4

**Порівняння розрахункового і фактичного часу розвантаження для вантажівок п'яти постачальників**

Truck	PO	I	B	AUT(min)	EUT(min)	DIFF(min)
1	1	3	11	10	12	-2
2	21	54	59	32	30	2
3	42	211	314	185	183	2
4	50	300	750	227	223	4
5	77	345	694	310	303	7

Джерело: таблицю створено особисто авторами на основі отриманих даних

Таблиця 5

## Порівняння розрахованого часу, та часу на думку оператора

№ Вантажівки	УТО, хв.	УТР, хв.	УТФ, хв.	УТФ-УТО	УТФ-УТР
1	90,0	89	94	4	5
2	150,0	146	145	5	1
3	130,0	138	133	3	5
4	240,0	222	227	13	5
5	210,0	214	208	2	6
6	300,0	297	296	4	1
7	30,0	25	23	7	2
8	45,0	59	59	14	0
9	120,0	97	105	15	8
10	90,0	89	92	2	3
$\Sigma$	<b>1405</b>	<b>1376</b>	<b>1382</b>	<b>69</b>	<b>36</b>

Джерело: таблицю створено особисто авторами на основі звітів ТОВ «Мікробор Україна»

тажівки – кількість замовлень, різноманітність товару, кількість коробок, вся ця інформація була отримана з товарною накладною.

У таблиці було розглянуто лише 10 вантажівок, а в середньому, за добу термінал з трьома док-дверями обслуговує 30 вантажівок.

**Висновки.** Результати, отримані у процесі дослідження показують, що економія часу за одну добу становить:  $3 \cdot 33 \approx 99$  хвилин, або більше ніж 1,5 години. Якщо прийняти середню кількість робочих днів терміналу у місяць – 28, тоді в місяць економія вийде у –

$99 \cdot 28 \approx 2772$  хвилин, або більш ніж 46 годин. Відповідно у рік виходить – 33 264 хвилини, або 554,4 години. Це 23 робочих доби, отже додаткова кількість автомашин, які можуть бути обслуговувані у терміналі компанії:  $23 \cdot 30 \approx 690$  автомашин на рік.

Якщо врахувати в грошовому еквіваленті: середня вартість обслуговування однієї вантажівки складає 8-9 тис. грн., то при використанні запропонованого алгоритму, з'являється можливість отримати додатковий прибуток близько 6 млн. грн. на рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- Goliasa, M.M., S. Iveya, K. Jia and M. Lipinski (2010) A bi-objective model to minimize service and storage time at a cross dock facility. Proceedings of the 51st Annual Transportation Research Forum, March 11-13, 2010, Arlington, VA., USA, pp. 1–13.
- Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений // Математика сегодня. Москва : Знание, 1974.
- Матвійчук А.В. Моделювання економічних процесів із застосуванням методів нечіткої логіки. Київ : КНЕУ, 2007. 264 с.
- Boysen, N. and M. Fliedner (2010) Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. Omega, 38: 413–422.
- MATLAB® Creating Graphical User Interfaces. The MathWorks, Inc. 3 Apple Hill Drive Natick, MA 01760-2098, 502 с.

## REFERENCES:

- Goliasa, M.M., S. Iveya, K. Jia and M. Lipinski (2010) A bi-objective model to minimize service and storage time at a cross dock facility. Proceedings of the 51st Annual Transportation Research Forum, March 11-13, 2010, Arlington, VA., USA, pp. 1–13.
- Zade L.A. (1974) The concept of a linguistic variable and its application to approximate decisions // Mathematics today. Moskva: Znanie, pp. 5–49. (in Russian)
- Matviychuk A.V. (2007) Modeling of economic processes using fuzzy logic methods. Kyiv: KNEU, 264 s. (in Ukrainian)
- Boysen, N. and M. Fliedner (2010) Cross dock scheduling: Classification, literature review and research agenda. Omega, 38: 413–422.
- MATLAB (2008) Creating Graphical User Interfaces. The MathWorks, Inc. 3 Apple Hill Drive Natick, MA 01760-2098.