

УДК 338.5

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2025.1\(499\).21](https://doi.org/10.15589/znп2025.1(499).21)

## REMANUFACTURING PROJECTS IN INDUSTRY 5.0

## ПРОЄКТИ РЕМАНУФАКТУРІНГУ В ІНДУСТРІЇ 5.0

**Olga V. Tsesliv<sup>1</sup>**

ceslivolga@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8190-2502

**Sergey V. Kolomiets<sup>2</sup>**

kafedra\_ecology\_ntu@ukr.net

ORCID: 0000-0001-9825-8904

**Anna S. Kolomiets<sup>3</sup>**

anna.tsesliv@gmail.com

ORCID : 0000-0003-4252-5975

**О. В. Цеслів,**

канд. техн. наук, доцент

**С. В. Коломієць,**

канд. техн. наук, доцент

**А. С. Коломієць,**

канд. екон. наук, доцент

<sup>1</sup>*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv*<sup>2</sup>*National Transport University, Kyiv*<sup>3</sup>*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv*<sup>1</sup>*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ*<sup>2</sup>*Національний транспортний університет, м. Київ*<sup>3</sup>*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ*

**Abstract.** The purpose of the study is to prove that reverse logistics is important for business, as it allows to effectively manage returns, minimize losses, reduce waste and increase customer satisfaction. The market-based contractual reverse logistics system for remanufacturing was investigated. Remanufacturing is the process of restoring the functionality of end-of-life products, which is considered an important link in reverse logistics systems to restore value. Over the past two decades, designing reverse logistics networks has become a widely researched area for both academics and industrial practitioners. Since Ukraine does not have its own production of laptops, and the military needs them, it is advisable to consider remanufacturing projects in the Industry 5.0.

**Methods.** Stochastic methods of analysis and statistics were used. **Results.** A stochastic model was developed for making key tactical decisions, namely: setting up the system remanufacturing, purchasing and transportation of the main components.

**Novelty of the work.** The work demonstrates a new way of using old things.

**Practical significance.** An example of organizing a reverse logistics network for collecting old laptops is presented. The profitability of such an enterprise is proved. The expected minimum and maximum income of this enterprise is calculated. Since income is a multi-criteria indicator, several factors were analyzed, namely: the optimal number of laptops, the cost of repair, and the cost of transportation.

The paper considers carbon costs, which affect carbon taxes arising from the operation of the facility and transportation activities. Carbon costs are considered for carbon taxes arising from facility operations and transportation activities. Future research should focus on developing new models and methods to better account for technology adoption, for the design and operation of similar systems, in order to facilitate

**Key words:** remanufacturing; stochastic modeling; reverse logistics; costs; solvency; income.

**Анотація.** Метою дослідження – довести, що зворотна логістика важлива для бізнесу, оскільки дозволяє ефективно управляти поверненням, мінімізувати втрати, зменшити відходи та підвищити рівень задоволеності клієнтів. Досліджено ринкову контрактну систему зворотної логістики для ремануфактуризації. Ремануфактурінг – це процес відновлення функціональності продукції, що відслужила свій термін, який вважається важливою ланкою в системах реверсивної логістики для відновлення цінності. За останні два десятиліття проектування мереж зворотної логістики стало широко досліджуваною сферою як для науковців, так і для промисловців-практиків. Оскільки в Україні немає власного виробництва ноутбуків, а вони потрібні військовим, доцільно розглянути проекти ремануфактурінгу в Індустрії 5.0. **Методика.** Застосовано стохастичні методи аналізу та статистики. **Результати.** Розроблено стохастичну модель для прийняття ключових тактичних рішень, а саме: налагодження ремануфактуризації системи, закупівлі та транспортування основних компонентів.

*Новизна роботи.* Робота демонструє новий спосіб використання старих речей.

*Практична значимість.* Наведено приклад організації реверсної логістичної мережі, для збору старих ноутбуків. Доведена прибутковість такого підприємства. Розраховано очікуваний мінімальний та максимальний дохід цього підприємства. Оскільки дохід є багатокритеріальним показником, було проаналізовано декілька факторів, а саме: оптимальна кількість ноутбуків, вартість ремонту та вартість транспортування.

У роботі розглядаються вуглецеві витрати, які впливають на вуглецеві податки, що виникають в результаті експлуатації об'єкта та транспортної діяльності. Витрати на викиди вуглецю враховуються для вуглецевих податків, що виникають в результаті експлуатації об'єкта та транспортної діяльності.

*Майбутні дослідження* повинні зосередитися на розробці нових моделей і методів для кращого врахування впровадження технологій, для проектування та експлуатації аналогічних систем, з метою сприяння.

**Ключові слова:** ремануфактурінг; стохастичне моделювання; реверсивна логістика; витрати; платоспроможність; дохід.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

З початком повномасштабного вторгнення в Україну платоспроможність українців падає. На це також впливає зростання курсу валют, що в свою чергу спричиняє подорожчання більшості імпортованих товарів у середньому на 20–30%. За даними ООН, за перші три тижні війни майже 10 мільйонів українців були змушені покинути свої домівки через війну, з них 6,5 мільйона стали внутрішньо переміщеними особами, а 3,2 мільйона вже покинули країну.

Тому в даному випадку актуальним є ремануфактурінг – процес відновлення працездатності виробів, термін експлуатації яких закінчився.

У статті розглядається ринкова контрактна система реверсивної логістики відновлення ноутбуків. Розроблено змішану стохастичну економіко-математичну модель для прийняття критичних тактичних рішень.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Планування ефективної реверсивної логістичної системи є важливим і складним завданням, і кількісні методи та моделі в дослідженні операцій були широко розроблені з 1990-х років. Ранні дослідження розробили моделі для мінімізації загальних витрат або максимізації загального прибутку мережі переробки вживаних автомобілів. Інтеграція нових технологій, таких як великі дані, стала ще одним новим напрямком досліджень у цій галузі. Ці питання розглядали видатні вчені: Абід, С., Мхада, Ф. З. [1], Ю. Хуа та Сун Х. [2]. Серед українських учених заслуговують на увагу М. Григорак [3], А. Дзюбіна [4], Морозов В. В. [6]. Але в той же час ефективне впровадження інструментів реверсивної логістики на промислових підприємствах та їх організаційні питання мають багато характеристик, які потребують більшої уваги в контексті наукових досліджень.

## ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

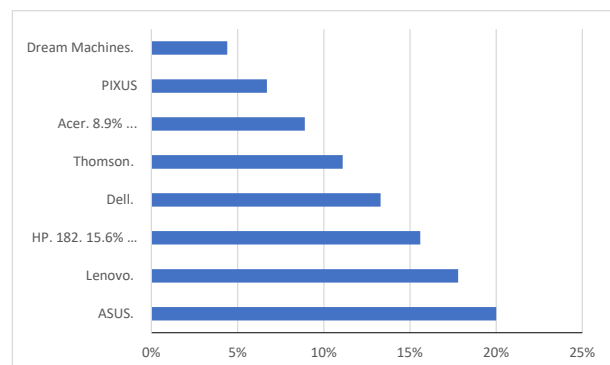
Наразі в Україні немає якісних ноутбуків власного виробництва, але багато фірм збирають ноутбуки з імпортованих комплектуючих.

Ноутбуки потрібні військовим на фронті. Бажають з параметрами: процесор i3 10XXXGen, SDD (256 Gb), операційна пам'яті 8 Gb, USB 2.0 (3.1).

Також ноутбуки потребують школярі та студенти, діти з окупованих територій. Для навчальних цілей, можна використовувати більш прості ноутбуки. Вартість ноутбуків в Україні представлена в таблиці 1.

**Таблиця 1.** Вартість ноутбуків в Україні

| Виробник        | Відсоток | Ціна(грн)          |
|-----------------|----------|--------------------|
| ASUS.           | 20%      | 9998 – 248757 грн  |
| Lenovo.         | 17,80%   | 2469 – 241390 грн  |
| HP. 182. 15.6%  | 15,60%   | 9639 – 179199 грн  |
| Dell.           | 13,30%   | 6063 – 137432 грн  |
| Thomson.        | 11,10%   | 7699 – 9699 грн    |
| Acer. 8.9% ...  | 8,90%    | 11538 – 109999 грн |
| PIXUS           | 6,70%    | 11022 – 14459 грн  |
| Dream Machines. | 4,40%    | 31999 – 94999 грн  |



**Рис. 1.** Найкращі фірми-виробники ноутбуків

## МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час проведення дослідження використані аналітичні та стохастичні методи. Запропоновані рекомендації щодо сучасних тенденцій розвитку підприємницької діяльності в Україні з використанням методів аналізу, синтезу, групування та порівняння.

**Об'єктом дослідження** є ремануфактурінг в Україні.

Предметом дослідження є перспективи зворотної логістики в Україні.

### ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Споживча інфляція сягнула 9,7% на кінець 2024 року, а на початку 2025 року перетне позначку 10%. Побудуємо мережеву структуру зворотної логістики для збирання ноутбуків на основі старих комп'ютерів.



Рис. 2. Структура мережі на карті України

Нехай збирання ноутбуків відбувається на вказаних на карті (рис. 2). містах України, потім все відправляється в Київ та розповсюджується по призначенню.

Визначити оптимальну стратегію виготовлення продукції, припускаючи, що початковий запас дорівнює нулю. Попит є випадковою величиною, рівномірно розподіленою. Стратегія управління – являє собою загальну направленість та спосіб використання засобів для досягнення поставленої мети. Стратегія управління може мінятися, в залежності від потреб.

Використовуючи Google Trend, визначимо попит на дану продукцію в різних областях України (рис. 3).

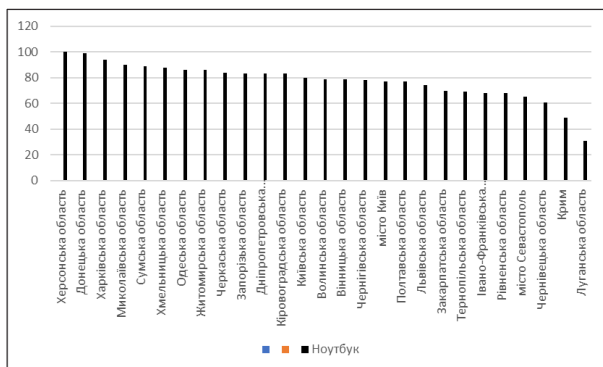


Рис. 3. Запит на ноутбуки по областях України

Створюємо математичну модель отримання максимального прибутку. Нехай  $F_i(x_i)$  – максимальний очікуваний прибуток, а  $x_i$  – рівень запасу.

Використаємо наступні позначення  $r$  – дохід від реалізації одиниці продукції;  $c$  – вартість виробництва одиниці продукції;  $h$  – питомі витрати на зберігання одиниці продукції;  $p$  – питомі втрати від незадоволеного попиту;  $D$  – величина випадкового попиту на даному періоді;  $f(D)$  – щільність імовірності попиту на даному періоді;  $y$  – об'єм замовлення;  $x$  – запас продукції,  $s$  – ціна старого ноутбука. Заробітну плату включаємо у вартість виробництва.

Запишемо цільову функцію. Основними постійними витратами будуть:  $C$  – постійні витрати на організацію регіонального центру збору старих ноутбуків, транспортні витрати  $t$  (таблиця 3), витрати на ремонт ноутбуків  $re$  (таблиця 2), плата за викиди шкідливих речовин  $v$  (таблиця 8).

$$F_i(x_i) = \max_{y_i \geq x_i} \left\{ -(c-s)(y_i - x_i) - C - t - re - v + \right. \quad (1)$$

$$\left. + \int_0^{y_i} [rD - h(y_i - D)]f(D)dD + \int_{y_i}^{\infty} [ry_i + ar(D - y_i) - p(D - y_i)]f(D)dD \right\}$$

Українці шукають ноутбуки за ціною від 10000 грн. до 25000 грн. Припустимо, що продажі ноутбуків підпорядковуються рівномірному закону розподілу попиту:

$$f(D) = \begin{cases} \frac{1}{(b-a)}, & D \in (a; b) \\ 0, & D \notin (a; b) \end{cases} \quad (2)$$

де  $a, b$  – нижня та верхня межі діапазону. Нижня межа дорівнює нулю, а верхня – 2160 ноутбуків на місяць.

Таблиця 2. Витрати на транспорт

| Назва  | Назва            | Дистанція | Ціна 1 км, грн | Ціна транспортування, грн |
|--------|------------------|-----------|----------------|---------------------------|
| Київ   | Чернігів         | 147       | 45             | 6615                      |
| Київ   | Полтава          | 350       | 43             | 15050                     |
| Київ   | Дніпро           | 496       | 50             | 24800                     |
| Київ   | Черкаси          | 192       | 42             | 8064                      |
| Київ   | Кіровоград       | 303       | 35             | 10605                     |
| Київ   | Миколаїв         | 492       | 50             | 24600                     |
| Київ   | Одеса            | 477       | 50             | 23850                     |
| Київ   | Вінниця          | 265       | 45             | 11925                     |
| Київ   | Івано-Франківськ | 608       | 50             | 30400                     |
| Київ   | Хмельницький     | 367       | 45             | 16515                     |
| Київ   | Львів            | 559       | 50             | 27950                     |
| Київ   | Житомир          | 142       | 30             | 4260                      |
| Всього |                  | 4398      | 535            | 204634                    |

Наступний крок – транспортування ноутбуків до пунктів прийому.

Таблиця 3. Вартість заміни комплектуючих

| Комплектуючі          | Ціна (грн) |
|-----------------------|------------|
| Процесор i3 10XXXGen  | 3 139–4500 |
| SDD не менше 256 Gb   | 500–1200   |
| Кабелі та перехідники | 150–700    |

Розглянемо наступний приклад: нехай для кожного пункту існують наступні умови:  $c = 1500$  (грн);  $C = 10000$  (грн);  $h = 100$  (грн);  $p = 20$  (грн);  $D$  – величина випадкового попиту на даному періоді;  $f(D) = -1/2$ ;  $y = 100$ ;  $x = 0$ . Заробітну плату включаємо у вартість виробництва.

Використовуючи цільову функцію (1), отримуємо дані таблиці 4. Основними постійними витратами будуть:  $C = 24000$ , транспортні витрати  $t = 204637$  (грн),  $re = 3800$ , плата за викиди шкідливих речовин  $v$  (таблиця 8).

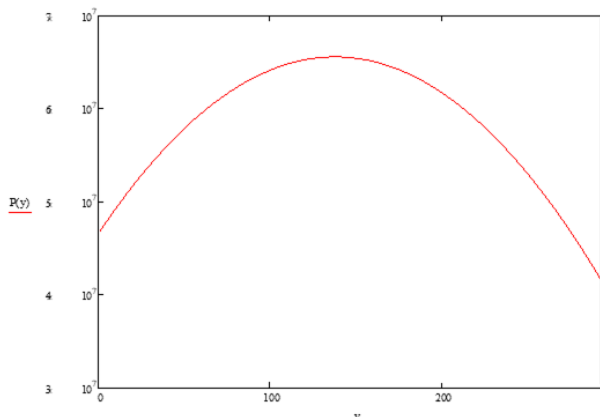


Рис. 4. Оптимальна кількість ноутбуків для кожного пункту

Оптимальна кількість ноутбуків, для кожного пункту збору дорівнює 109 штук в місяць.

Розрахуємо масові викиди окремих забруднюючих речовин та соціально-економічного збитку, що наносить автомобільний парк. Транспортні засоби є потужними джерелами забруднення довкілля. Щороку з відпрацьованих газів (ВГ) двигунів в атмосферне повітря населених пунктів викидається велика кількість токсичних і агресивних речовин.

Для складання звітності у галузі охорони атмосферного повітря, для оцінювання рівня забрудненості речовин пересувними джерелами, а також для стимулювання впровадження природоохоронних заходів необхідно розрахувати масові викиди шкідливих речовин, що надходять у атмосферне повітря з ВГ транспортних засобів (ТЗ).

В процесі експлуатації автомобільного транспорту викиди шкідливих речовин (ШР) істотно змінюються. Щоб оцінка токсичності автомобілів в процесі експлуатації була об'єктивною, необхідно зважати на велику кількість факторів, які

зумовлюють кількість ЗР, що надходить у довкілля. Численними дослідженнями встановлено, що усі ці фактори досить точно характеризують витрату палива автомобіля. Тому розрахунок масових викидів ШР здійснюють на підставі інформації про масу палива, спожитого автомобілем за певний період часу. Ця величина залежить від експлуатаційних факторів, а отже враховує їхній вплив.

Розрахунки масових викидів здійснюють за питомими викидами ШР з одиниці маси палива, спожитого автомобілем з двигуном даного типу. Встановлені питомі викиди, для справних і правильно відрегульованих двигунів.

Розрахунок маси викиду  $i$ -ї ШР рухомими складом автомобільного транспорту, який має  $n$  груп автомобілів  $k$ -го типу, за певний період часу  $t$  здійснюють залежно від того, які є відомості про витрату палива та кількість автотransпортних засобів певного типу та групи.

Типи шкідливих речовин які розраховуються:

- $CO$  – оксид вуглецю;
- $CH$  – вуглеводні;
- $NO_x$  – оксиди азоту;
- $PM$  – тверді частинки (доцільно поділити на два види).

Розраховуються наступним чином:

Масові викиди окремих шкідливих речовин, розраховують за залежністю (3), т/рік:

$$M_i = \sum_{m=1}^m g_{icj} G_j K_{dikj} k_j \quad (3)$$

де  $g_{icj}$  – середній питомий викид  $i$ -ї шкідливої речовини з одиниці маси  $j$ -го виду палива, кг/т;

$G_j$  – витрата  $j$ -го палива ТЗ за певний період, т/рік;

$K_{dikj}$  – коефіцієнт, який враховує вплив технічного стану автомобіля  $k$ -го типу, що споживає  $j$ -й вид палива на величину питомих викидів;

$k_j$  – коефіцієнт приведення до екологічного класу ТЗ.

В процесі експлуатації можливі зміни технічного стану ТЗ та порушення його регулювань, які спричиняють збільшення або зменшення викидів окремих компонентів ВГ. В розрахунках ці зміни враховують введенням коригуючого коефіцієнта  $K_{tjki}$ , який вибирають залежно від ШР ( $j$ ), масу якої розраховують, типу транспортного засобу ( $k$ ) та виду споживаного палива ( $i$ ). Значення коефіцієнтів  $K_{tjki}$ , наведено в табл. 5.

Таблиця 4. Математичне очікування доходу

| Ціна старих комп'ютерів (грн) |     | Транспортні витрати (грн) |        | Вартість ремонту (грн) |      | Попит |     | Прибуток (грн) |           | Ціна реалізації (грн) |       |
|-------------------------------|-----|---------------------------|--------|------------------------|------|-------|-----|----------------|-----------|-----------------------|-------|
| min                           | max | min                       | max    | min                    | max  | min   | max | min            | max       | min                   | max   |
| 300                           | 500 | 8064                      | 204634 | 700                    | 6400 | 100   | 300 | 104100         | 3.907*107 | 10000                 | 12000 |



Таблиця 5. Значення коефіцієнта  $K_{Tjk}$ 

| Групи автомобілів                                                                | Значення к-та $K_{Tjk}$ для різних ШР |     |                 |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----|-----------------|-----|
|                                                                                  | CO                                    | CH  | NO <sub>x</sub> | PM  |
| Вантажні автомобілі з двигунами, для живлення яких використовують бензин або ЗНГ | 1,7                                   | 1,8 | 0,9             | -   |
| Вантажні автомобілі з дизелями                                                   | 1,5                                   | 1,4 | 0,95            | 1,8 |
| Вантажні автомобілі і автобуси з двигунами, для живлення яких використовують СПГ | 1,7                                   | 1,8 | 0,9             | -   |

Витрата палива розраховується за формулою (4), т/рік :

$$G_j = m_k \cdot S_k \cdot G_i \cdot \rho_i \cdot 10^{-5} \quad (4)$$

де :  $m_k$  – кількість транспортних засобів  $k$ -го типу,

$S_k$  – пробіг одного транспортного засобу  $k$ -го типу за рік, тис. км/рік;

$G_i$  – витрата палива ТЗ  $k$ -го типу, л/100 км;

$\rho_i$  – густина  $i$ -го виду палива, кг/л.

Значення питомих викидів ШР  $g_{iej}$ , сучасними ТЗ наведені в табл. 6.

Таблиця 6. Значення середніх питомих викидів шкідливих речовин ТЗ

| Вид палива                                                                       | Питомі викиди ШР, кг/т палива |          |           |          |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|-----------|----------|
|                                                                                  | $g_{CO}$                      | $g_{CH}$ | $g_{NOx}$ | $g_{PM}$ |
| Вантажні автомобілі з двигунами, для живлення яких використовують бензин або ЗНГ | 196,5                         | 37,0     | 21,8      | –        |
| Вантажні автомобілі з дизелями                                                   | 36,0                          | 6,2      | 31,5      | 3,85     |
| Вантажні автомобілі і автобуси з двигунами, для живлення яких використовують СПГ | 87,5                          | 22,4     | 27,6      | –        |

За масовими викидами окремих компонентів ВГ розраховують сумарні масові викиди ШР автомобільним парком.

Для розрахунку ТЗ класу Євро-0  $k_j$  дорівнює 1. Для розрахунку ТЗ класів Євро-1 – Євро-5 використовуються коефіцієнти приведення, які множаться на значення масових викидів забруднюючих речовин (табл. 7).

Таблиця 7. Коефіцієнти приведення  $k_j$  до норм Євро

| Забруднюючі речовини          | Екологічні класи транспортних засобів |        |        |        |        |        |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                               | Євро-0                                | Євро-1 | Євро-2 | Євро-3 | Євро-4 | Євро-5 |
| CO                            | 1                                     | 0,4    | 0,32   | 0,17   | 0,12   | 0,12   |
| NO <sub>x</sub>               | 1                                     | 0,55   | 0,49   | 0,34   | 0,24   | 0,13   |
| C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> | 1                                     | 0,46   | 0,46   | 0,28   | 0,2    | 0,2    |
| PM                            | 1                                     | 0,51   | 0,21   | 0,14   | 0,03   | 0,03   |

Середня витрата транспортним засобом палива в літрах на 100 км для вантажних автомобілів з двигунами, для живлення яких використовують бензин – 25 л бензину на 100 км. Середня густина бензину А92 – 0,715–0,760 кг/л Середня вартість 1 літру бензину 53 грн.

Визначення загального показника економічного збитку проводиться відповідно до методології ЄС. У відповідності до Директиви Європейського парламенту і Ради ЄС 2009/33/ЄС сума збитку повинна бути розрахована за формулою (5) у грошових одиницях EUR з врахуванням коефіцієнтів наведених у табл. 4.

$$K = \sum_{j=1}^m \varphi_j \cdot M_j \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

де,  $\varphi_j$  – величина, що визначає плату за викид з одиниці  $j$ -ї шкідливої речовини, EUR/з ( табл. 8).

$M_j$  – маса  $j$ -ї ЗР, що викидається автомобілями за певний період, т/рік;

Таблиця 8. Плата за викид з одиниці  $j$ -ї ШР, EUR/з

| Забруднюючі речовини               | CO      | CH    | NO <sub>x</sub> | PM    |
|------------------------------------|---------|-------|-----------------|-------|
| Плата за викид з одиниці $j$ -ї ШР | 0,00011 | 0,001 | 0,0044          | 0,087 |

## ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТИВ

Результати дослідження показують, що успіх проекту значною мірою залежить від правильного управління вимогами та ефективного планування проєктів. Проєкти ремануфактурінгу, що до збирання ноутбуків з імпортованих комплектуючих, використовуючи старі комп'ютери, є ефективними. Крім того, використання сучасних інструментів управління проєктами значно полегшує контроль за виконанням завдань та управління ресурсами.

## ВИСНОВКИ

У цій статті розглядається повторне виробництво, процес відновлення функціональності продуктів, термін служби яких закінчився. Протягом останніх двох десятиліть розробка реверсивної логістичної мережі стала областю інтенсивних досліджень серед науковців і практиків промисловості. Розрахунки виконуються з використанням стохастичної моделі.

Як приклад, розглянута компанія з ремонту старих ноутбуків. Визначено мінімальний і максимальний дохід для бізнесу. Оскільки дохід є багатокритеріальним показником, аналізується декілька факторів, а саме: кількість ноутбуків, вартість ремонту та вартість доставки. Оптимізовано маршрути, для зменшення транспортних витрат. У роботі також розглядаються витрати на викиди вуглецю, які впливають на податки, що виникають в результаті експлуатації об'єкту та транспортної діяльності.

У статті міститься багато невизначеності, тому майбутня робота повинна бути спрямована на розробку нових стохастичних моделей і методів для кращого реалізації описаних технологій.

## REFERENCES

- [1] Abid, S., & Mhada, F.Z. (2021). Simulation optimisation methods applied in reverse logistics: a systematic review. *Int. J. Sustain. Eng.* 14. pp. 1463–1483. Retrieved from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19397038.2021.2003470>
- [2] Hao, Yu. (2022). Modeling a remanufacturing reverse logistics planning problem: some insights into disruptive technology adoption. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (123). pp. 4231–424. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-022-10387-w>
- [3] Grigorak, M.Y., & Savchenko, L.V. (2018). Kontseptualni osnovy rozvytku reversyvnoi lohistyky v tsyrkuliarnii ekonomitsi. [Conceptual bases of reverse logistics development in the circular economy]. *Ekonomichnyi zhurnal Odeskoho politekhnichnoho universytetu*. №3(9). S.33–38. Retrieved from: [http://pev.kpu.zp.ua/journals/2018/5\\_10\\_uk/15.pdf](http://pev.kpu.zp.ua/journals/2018/5_10_uk/15.pdf)
- [4] Dzyubina, A.V. (2019). Implementatsiia kontseptsii reversyvnoi lohistyky v umovakh rozvytku elektronnoi komertsii. [The implementation of the concept of reverse logistics in the conditions of e-commerce development]. *Ekonomichnyi zhurnal Odeskoho politekhnichnoho universytetu*. № 3 (9). S. 33–38 DOI: 10.5281/zenodo.3804046
- [5] Zakon Ukrainy "Pro okhoronu atmosferного povitria", zi zminamy vid 21.06.2001r. za № 2556-III S. 23. [The Law of Ukraine 'On Protection of Atmospheric Air', as amended on 21.06.2001, No. 2556-III]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2556-14#Text>
- [6] Morozov, V.V., Mezentseva, O.O., & Kolomiets, A.S., Proskurin, M.A. (2022). Prohnozuvannya vidtoku kliientiv za dopomohoiu mashynnoho navchannia v IT-startapa. Konspekt lektsii z inzhenerii danykh i komunikatsiinykh tekhnolohii [Predicting customer churn using machine learning in an IT startup. *Lecture notes on data engineering and communication technologies*]. 77, pp. 645–664. Retrieved from: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_45)

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Abid, S., & Mhada, F.Z. (2021). Simulation optimisation methods applied in reverse logistics: a systematic review. *Int. J. Sustain. Eng.* 14. P. 1463–1483. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19397038.2021.2003470>
- [2] Hao, Yu. (2022). Modeling a remanufacturing reverse logistics planning problem: some insights into disruptive technology adoption. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. (123). P. 4231–424. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-022-10387-w>
- [3] Григорак, М.Ю., & Савченко, Л.В. (2018). Концептуальні основи розвитку реверсивної логістики в циркулярній економіці. *Приазовський економічний вісник*. Вип. 5(10). С. 78–84. URL: [http://pev.kpu.zp.ua/journals/2018/5\\_10\\_uk/15.pdf](http://pev.kpu.zp.ua/journals/2018/5_10_uk/15.pdf)
- [4] Дзюбіна, А.В. (2019). Імплементація концепції реверсивної логістики в умовах розвитку електронної комерції. *Економічний журнал Одеського політехнічного університету*. № 3 (9). С. 33–38. DOI: 10.5281/zenodo.3804046
- [5] Закон України "Про охорону атмосферного повітря", зі змінами від 21.06.2001р. за № 2556-III., С. 23. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2556-14#Text>
- [6] Морозов, В.В., Мезенцева, О.О., Коломієць, А.С., & Проскурін, М. А. (2022). Прогнозування відтоку клієнтів за допомогою машинного навчання в ІТ-стартапа. *Конспект лекцій з інженерії даних і комунікаційних технологій*, 77, с. 645–664. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_45)

© Цеслів О. В., Коломієць С. В., Коломієць А. С.  
 Дата надходження статті до редакції: 19.01.2025  
 Дата затвердження статті до друку: 30.01.2025