

УДК 164.035
JEL Q57
DOI 10.31375/2226-1915-2020-4-31-

УДК 164.035
JEL Q57
DOI 10.31375/2226-1915-2020-4-31-

Т.А. Ковтун

к.т.н., доцент, доцент кафедри
«Управление логистическими системами
и проектами» teta.kovtun@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5410-4783>

Одесский национальный морской университет,
Одесса, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ В ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Аннотация. Исследование посвящено решению задачи формирования обратных материальных потоков с применением процессов циркулярной экономики, что позволит достичь максимальной эффективности функционирования логистической системы.

Концепция циркулярной экономики базируется на принципах и целях концепции устойчивого развития и подчеркивает необходимость замыкания логистических систем, то есть создания логистических систем с обратной связью. Инструментом реализации концепции выступают замкнутые логистические цепи, в состав которых входят прямые и обратные материальные потоки.

В рамках полной замкнутой логистической цепи прямая цепь начинается с природной среды и поставщика ресурсов, а заканчивается потребителем/пользователем продукции, обратная цепь начинается потребителем/пользователем продукции и заканчивается центром утилизации и природной средой.

Возникают замкнутые цепи благодаря использованию циркулярных процессов, которые создают логистические петли, обеспечивающие обратную связь между участниками цепи, что позволяет организовать обратный поток продуктов, их компонентов, сырья и материалов.

В статье с помощью циркулярных процессов представлена графическая модель логистической системы с обратной связью; создана экономико-математическая модель логистической системы с обратной связью.

Ключевые слова: циркулярный процесс; замкнутая логистическая цепь; логистическая петля; обратный материальный поток.

Т.А. Ковтун

к.т.н., доцент, доцент кафедры
«Управление логистическими системами
та проектами» teta.kovtun@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5410-4783>

Одеський національний морський університет,
Одеса, Україна

ФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ В ЛОГІСТИЧНІЙ СИСТЕМІ ЗІ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ

Анотація. Дослідження присвячено вирішенню завдання формування зворотних матеріальних потоків з застосуванням процесів циркулярної економіки, що дозволить досягти максимальної ефективності функціонування логістичної системи.

Концепція циркулярної економіки базується на принципах та цілях концепції сталого розвитку та наголошує на необхідності замикання логістичних систем, тобто створенні логістичних систем зі зворотним зв'язком. Інструментом реалізації концепції виступають замкнуті логістичні ланцюги, до складу яких входять прямі та зворотні матеріальні потоки.

В межах повного замкнутого логістичного ланцюга прямий ланцюг починається з природного середовища та постачальника ресурсів, а закінчується споживачем/користувачем продукції, зворотний ланцюг починається споживачем/користувачем продукції та закінчується центром утилізації та природним середовищем.

Виникають замкнуті ланцюги завдяки використанню циркулярних процесів, які створюють логістичні петлі, які забезпечують зворотний зв'язок між учасниками ланцюга та дозволяють організувати зворотний потік продуктів, їх компонентів, сировини та матеріалів.

В статті за допомогою циркулярних процесів представлено графічну модель логістичної системи зі зворотним зв'язком; створено економіко-математичну модель логістичної системи зі зворотним зв'язком.

Ключові слова: циркулярний процес; замкнутий логістичний ланцюг; логістична петля; зворотний матеріальний потік.

UDC 164.035

JEL Q57

DOI 10.31375/2226-1915-2020-4-31-

Tetiana Kovtun

*Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department
«Logistic Systems and Projects Management»*

teta.kovtun@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5410-4783>

Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine

FORMATION OF MATERIAL FLOWS IN A LOGISTIC SYSTEM WITH FEEDBACK

Abstract. *The study is devoted to solving the problem of forming reverse material flows with the use of circular economy processes, which will achieve maximum efficiency of the logistics system.*

The existing linear model of the economy is not environmentally oriented, as it constantly requires the involvement of additional primary resources, which, passing through the man-made system, produce a large amount of waste. The concept of circular economy is based on the principles and goals of the concept of sustainable development and emphasizes the need to close logistics systems, the creation of logistics systems with feedback. The tool for the implementation of the concept are closed logistics chains, which include direct and reverse material flows.

Participants and the processes used in the circular economy model proposed by the Ellen McArthur Foundation were used to create a model of a feedback logistics system that includes complete closed logistics chains. According to this model, the main participants in closed chains are: resource provider, parts manufacturer, product manufacturer, service provider, consumer/user, collection center), repair center, sort center, utilization center.

Within a complete closed supply chain, the direct chain starts with the natural environment and the supplier of resources and ends with the consumer/user of the product, the reverse chain begins with the consumer/user of the product and ends with the recycling center and the natural environment.

Among the processes of the circular economy to highlight the processes related to reverse logistics and involved in the organization of reverse flows to create feedback in a closed logistics chain: recover, recycle, refurbish, remanufacture, repurpose, repair, reuse. These processes, which can be called circular, create logistics loops between the participants in the logistics chain, providing feedback in closed logistics chains.

The article presents a graphical model of the logistics system with feedback using circular processes; created an economic-mathematical model of the logistics system with feedback.

Keywords: *circular process; closed logistics chain; logistics loop; reverse material flow.*

Постановка проблеми. На початку XXI століття проблема нестійкого розвитку сучасної цивілізації набула нового якісного стану та досягла своєї межі. Економіка, побудована на принципах технократії і нееквівалентного соціоприродного обміну, не здатна забезпечити довготривалий сталий розвиток людству. Сьогодні біосфера не в змозі боротися з людською діяльністю, в ній почалися незворотні зміни. Людство виробляє відходів органічного походження в 2000 разів більше, ніж вся природа [1]. Вже стало очевидним, що суперечності між постійно зростаючими потребами суспільства і обмеженими можливостями природи ставлять під загрозу подальше існування людини як біологічного виду.

Гармонійного узгодження компонентів сталого розвитку, що забезпечує економічне зростання, соціальну стабільність та екологічну рівновагу в довгостроковій перспективі можливо досягти завдяки впровадженню принципів циркулярної економіки, якій останнім часом приділяється підвищена увага фахівців в усьому світі. Перехід до циркулярної економіки набуває глобального характеру, і переваги впровадження даної концепції стають все більш очевидними. За оцінками експертів в 2025 році циркулярна економіка може щорічно забезпечувати приріст доходу світової економіки понад 1 трлн. доларів США. Крім цього, перехід до циркулярної економіки створить величезні можливості для модернізації виробництва і впровадження промислових інновацій, забезпечуючи щорічний приріст ВВП на 7% [2].

Існуюча лінійна модель економіки не є досконалою, оскільки пос-

тійно потребує залучення додаткових первинних ресурсів, які проходячи через техногенну систему, продукують велику кількість відходів. Циркулярна економіка враховує біологічний та технічний цикли обігу ресурсів та потенційні вигоди, які можуть бути отримані на різних рівнях цих циклів, вона передбачає перехід від лінійної моделі економіки до економіки замкнутого циклу [3,4]. В ідеалі формування замкнутої моделі циркулярної економіки повинно призводити до дотримання принципу нульових відходів, що можливо завдяки впровадженню механізмів реверсивної (звотної) логістики та створенню еколого-орієнтованих замкнутих логістичних ланцюгів.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження сутності циркулярної економіки, її процесів та бізнес-моделей на даний час приділена певна увага науковців, але її не можна вважати достатньою, оскільки дана концепція є не просто новим напрямком розвитку наукової думки в межах економічної науки, а являє собою міждисциплінарний підхід, основним завданням якого є створення теоретичного підґрунтя для зміни світогляду людства на більш гуманний по відношенню до довкілля.

Вперше концепцію циркулярної економіки як напрямку еколого-орієнтованого розвитку економіки було представлено в Доповіді Римського клубу («Club of Rome») «Межі зростання» («The Limits to growth») [5]. В 2015 році Європейська комісія виступила з доповіддю «Замикання циклу – План дій ЄС щодо циркулярної економіки» («Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy»)

[6], в якій обґрунтувала концепцію циркулярної економіки як такої, що базується на застосуванні замкнутих потоків матеріалів, енергії та відходів. Дослідженню матеріальних потоків в циркулярній моделі економіки присвячені роботи [7-10].

Сучасною концепцією логістики, яка активно розвивається та останнім часом зазнала впливу екологізації, враховуючи принципи циркулярної економіки, є управління ланцюгами постачань (логістичними ланцюгами) – Supply Chain Management.

Розкривають питання застосування екологічного підходу до управління логістичними ланцюгами в своїх роботах такі вчені, як: Ю.В. Варенко, М.Ю. Григорак, Л.М. Зарецька, Є.В. Крикавський, І.І. Мухина, А.В. Смирнова, С. Comtois, Robert D. Klassen, Su-Yol Lee, J.-P. Rodrigue, B. Slack тощо. Моделі логістичного ланцюга зі зворотними матеріальними потоками представлені в роботах таких дослідників, як: С.С. Алі, В.В. Безкоровайний, Е.М. Букринська, Д.О. Гобов, М.Н. Григор'єв, К.О. Дзюбіна, А.В. Дзюбіна, О.П. Долгов, Д.А. Карх, О.В. Мясникова, С. В. Потапова, А. Тамбовцев, Т. Тамбовцева, С.О. Уваров, В.А. Фалович С.А. Шахназарян тощо.

Важливість врахування екологічних вимог при оптимізації логістичних структур шляхом вирішення сумісно з традиційними задачами логістики питань оптимізації зворотних матеріальних потоків від споживачів до місць виробництва або утилізації в межах реверсивної логістики відмічається в роботі [11]. В роботі [12] в межах логістики визначено сферу діяльності, яку ідентифіковано як логістику переробки та утилізації, і

окреслено її цілі та основні логістичні функції. В роботі [13] відмічається необхідність переходу до економіки замкнутого циклу та розглядаються питання трансформації логістичних систем, розкриваються умови реалізації логістики взаємодії учасників системи в умовах побудови циркулярної економіки, розроблено структуру замкнутого ланцюга поставок. В роботі [14] розглянуто особливості функціонування прямих та зворотних матеріальних потоків, обґрунтовано доцільність впровадження в логістичну діяльність підприємства інструментів зворотної логістики, сформовано основні моделі функціонування зворотних матеріальних потоків у сучасних умовах господарювання, виявлено особливості руху поворотних та утилізаційно-рециклінгових зворотних матеріальних потоків. В роботі [15] досліджено ключові параметри замкнутої петлі ланцюга поставок, встановлено необхідність узгодження стратегії зворотної логістики з життєвим циклом товару, сезонністю попиту на нього, зі стратегією ціноутворення на відновлені товари та з рівнем післяпродажного сервісу; окреслено умови виділення частини замкнутої петлі ланцюга поставок на аутсорсинг. В роботі [16] представлена інтегрована та узагальнена схема логістичної мережі зі зворотним зв'язком, завдяки застосуванню якої можливо досягти компромісу між витратами в даній мережі та екодеструктивним впливом на довкілля, представлено математичну модель для вирішення інтегрованої багатокритеріальної багатоланкової задачі прямої та зворотної логістики. В роботі [17] представлено математичні моделі та методи вирішення задач оптимізації

транспортних маршрутів в замкнутах логістичних системах з урахуванням багатьох топологічних та логістичних обмежень, в тому числі запропоновано сумісне вирішення задач оптимізації мережі для транспортування прямих та зворотних потоків продукції, що дозволить підвищити ефективність замкнутих логістичних систем.

Не дивлячись на існуючі дослідження з організації прямих та зворотних потоків в межах реверсивної логістики, традиційно ці завдання розглядаються окремо, що не дозволяє провести загальну оптимізацію матеріальних потоків та досягти синергетичного ефекту для учасників логістичної системи.

Мета та завдання дослідження. Метою даної статті є розробка моделі формування зворотних матеріальних потоків з застосуванням процесів циркулярної економіки, що дозволить досягти максимальної ефективності функціонування логістичної системи. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розробити графічну модель логістичної системи зі зворотним зв'язком, яка базуються на впровадженні циркулярних процесів.

2. Розробити економіко-математичну модель логістичної системи зі зворотним зв'язком з використанням інструментарію дослідження операцій.

3. Провести експериментальні розрахунки, що підтверджують її адекватність економіко-математичної моделі логістичної системи зі зворотним зв'язком.

Основний матеріал дослідження. Для створення моделі замкнутої

логістичної системи (логістичної системи зі зворотним зв'язком), до складу якої входять замкнуті (повні) логістичні ланцюги, використовуємо учасників та процеси, що застосовуються в моделі циркулярної економіки, яка запропонована Фондом Еллен Мак-Артур [2]. Відповідно даної моделі, до основних учасників замкнутих ланцюгів відносяться: постачальник ресурсів (*resource provider, RP*), виробник деталей (*detail manufacturer, DM*), виробник продукції (*product manufacturer, PM*), постачальник послуг (*service provider, SP*), споживач/користувач (*consumer/user, CU*), центр збору (*collection center, CC*), центр ремонту (*repair center, RC*), центр розбору (*sort center, SC*), центр утилізації (*utilization center, UC*).

Еколого-орієнтований замкнутий логістичний ланцюг складається з двох ланцюгів: прямого та зворотного, в залежності від напрямку руху матеріального потоку. Учасники, що входять до прямого ланцюга, можуть не входити до зворотного, та навпаки. Є такі учасники, що входять до обох ланцюгів, і прямого, і зворотного. Умовною ланкою, що поділяє повний ланцюг на прямий та зворотний є споживач/користувач продукції. В межах повного логістичного ланцюга прямий ланцюг починається з природного середовища та постачальника ресурсів, а закінчується споживачем/користувачем продукції, зворотний ланцюг починається споживачем/користувачем продукції та закінчується центром утилізації та природним середовищем.

Реалізація концепції циркулярної економіки, яка базується на створенні замкнутих логістичних систем, що потребує замикання логістичних

ланцюгів шляхом створення систем зі зворотним зв'язком, призвело до застосування процесів, які не є характерними для лінійних логістичних ланцюгів. Серед процесів циркулярної економіки слід виділити процеси, що мають відношення до реверсивної логістики та приймають участь в організації реверсивних потоків для створення зворотного зв'язку в замкну-

тому логістичному ланцюгу: *recover*, *recycle*, *refurbish*, *remanufacture*, *repurpose*, *repair*, *reuse*. Завдяки цим процесам, які можна назвати циркулярними, виникають логістичні петлі між учасниками логістичного ланцюга, що забезпечують зворотний зв'язок в замкнутих логістичних ланцюгах (рис. 1).

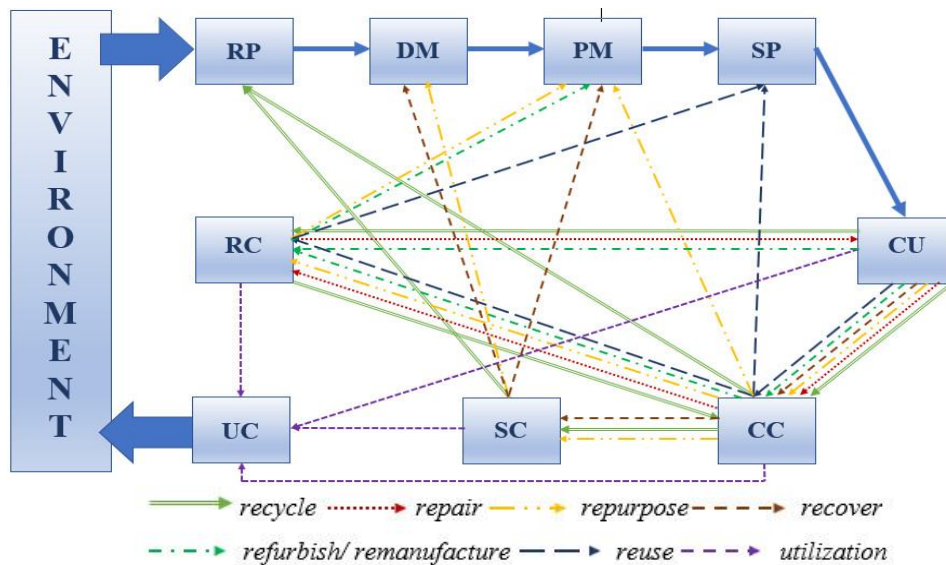


Рис. 1. Логістична система зі зворотним зв'язком

Джерело: розроблено автором

Найбільшу кількість логістичних петель створює процес *recycle* (рециклінг, переробка) – десять петель. Процес повернення відходів, скидів та викидів в виробничий цикл може здійснюватися майже всіма елементами екологічного ланцюга.

Процес *repair* (ремонт, технічне обслуговування) створює одну логістичну петлю, оскільки ремонт та обслуговування несправного продукту для використання відповідно оригінального призначення потребує участі центру ремонту.

Процес *repurpose* (переорієнтація) створює три логістичні петлі, оскільки шлях продукту, що вийшов зі строю, до виробника продукції йде через центр збору або центр збору та центр ремонту, а частини продукту рухаються через центр розбору.

Процес *recover* (відновлення) створює дві петлі на логістичному ланцюгу, оскільки після розбору продуктів, продукти та їх компоненти можуть поступати до виробників деталей та виробників продукції.

Процеси *refurbish* (оновлення, ремонт) та *remanufacture* (оновлення,

модифікація) створюють дві петлі, оскільки продукція від споживачів може поступати, як в центр ремонту через центр збору, так і безпосередньо.

Процес *reuse* (повторне використання) створює дві петлі, оскільки передбачає повторне використання продукту для первісних або нових цілей в первісному вигляді або з деякими змінами і незначними поліпшеннями.

Крім зворотних процесів в моделі циркулярної економіки є процес *utilization* (утилізація), який направлений на безпечну переробку відходів, які не можуть бути використані в інший, більш ефективний спосіб.

Сутність економіко-математичної моделі полягає в формуванні зворотних матеріальних потоків, що дозволяють замкнути логістичні ланцюги завдяки організації циркулярних процесів та досягти максимального значення загального грошового потоку від їх реалізації. Для вирішення поставленого завдання використовується метод лінійного програмування економіко-математичного моделювання. Прийmemo, що рух матеріального потоку здійснюється з ланки i до ланки j логістичного ланцюга.

$$CF = \sum_{i=I_{CU}}^{I_{UC}} \left(\sum_{j=J_{RP}}^{J_{RC}} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L cf_{ij}^{pl} \cdot x_{ij}^{pl} + cf_i^u \cdot u_i \right) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де x_{ij}^{pl} – кількість продукції (матеріальний потік), що виходить з ланки i ($i = \overline{I_{CU}; I_{RC}}$) та входить до ланки j логістичного ланцюга ($j = \overline{J_{RP}; J_{RC}}$) через петлю l ($l = \overline{1; L}$) циркулярного процесу p ($p = \overline{1; P}$);

Позначення ланок ланцюгу наступні:

$$i = \{I_E; I_{RP}; I_{DM}; I_{PM}; I_{SP}; I_{CU}; I_{CC}; I_{SC}; I_{RC}; I_{UC}\};$$

$$j = \{J_E; J_{RP}; J_{DM}; J_{PM}; J_{SP}; J_{CU}; J_{CC}; J_{SC}; J_{RC}; J_{UC}\},$$

$$\text{де } \{I_E; I_{RP}; I_{DM}; I_{PM}; I_{SP}; I_{CU}\},$$

$\{J_E; J_{RP}; J_{DM}; J_{PM}; J_{SP}; J_{CU}\}$ – множини учасників прямого логістичного ланцюга, $\{I_{CU}; I_{CC}; I_{SC}; I_{RC}; I_{UC}\},$

$\{J_{CU}; J_{CC}; J_{SC}; J_{RC}; J_{UC}\}$ – множини учасників зворотного логістичного ланцюга. Ланцюги починаються та закінчуються наступними елементами:

- $I_{RP}(J_{RP})$ – перший учасник прямого логістичного ланцюга (постачальник ресурсів),

- $I_{CU}(J_{CU})$ – останній учасник прямого ланцюга та перший учасник зворотного ланцюга (споживач/користувач),

- I_{UC} – останній учасник зворотного логістичного ланцюга (утилізаційний центр),

- I_E – природне середовище.

Цільова функція моделі – загальні потоки грошових коштів від організації зворотного (рециклінго-утилізаційного) потоку матеріальних ресурсів в логістичному ланцюгу

cf_{ij}^{pl} – потоки грошових коштів, що утворюються при переміщенні одиниці матеріального потоку з ланки i ($i = \overline{I_{CU}; I_{UC-1}}$) до ланки j логістичного ланцюга ($j = \overline{J_{RP}; J_{RC}}$) через пет-

лю l ($l = \overline{1; L}$) циркулярного процесу p ($p = \overline{1; P}$);

u_i – кількість продукції, що потрапляє на утилізацію з ланки i ($i = \overline{I_{CU}; I_{RC}}$) логістичного ланцюга;

cf_i^u – потоки грошових коштів, що утворюються при утилізації одиниці матеріального потоку в ланці i ($i = \overline{I_{CU}; I_{RC}}$) логістичного ланцюга.

Обмеження:

- на повернення або утилізацію всієї продукції, що поступає в ланки зворотного логістичного ланцюга враховуючи, що

$$\sum_{i=I_{CU}}^{I_{RC}} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L x_{ij}^{pl} = a_j, \quad (2)$$

де a_j – кількість продукції, яка поступає в ланку j ($j = \overline{J_{CU}; J_{RC}}$) зворотного логістичного ланцюга, прийmemo $a_j = b_j$; $\forall i = j$, тоді

$$\sum_{j=J_{RP}}^{J_{RC}} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L x_{ij}^{pl} + u_i = b_i, \quad (3)$$

де b_i – кількість продукції, яка виходить з ланки i ($i = \overline{I_{CU}; I_{RC}}$) зворотного логістичного ланцюга;

- на неперевикнення пропускної спроможності ланок зворотного логістичного ланцюга

$$\sum_{i=I_{CC}}^{I_{RC}} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L x_{ij}^{pl} \leq g_j, \quad (4)$$

де g_j – кількість зворотної продукції, в якій є потреба в ланці j ($j = \overline{J_{CC}; J_{RC}}$) логістичного ланцюга;

- на потреби ланок прямого логістичного ланцюга у зворотному матеріальному потоці

$$\sum_{i=I_{RP}}^{I_{CU}} \sum_{p=1}^P \sum_{l=1}^L x_{ij}^{pl} \leq h_j, \quad (5)$$

де h_j – кількість зворотної продукції, в якій є потреба в ланці j ($j = \overline{J_{RP}; J_{CU}}$) логістичного ланцюга;

- на максимальний обсяг утилізації продукції в ланках прямого логістичного ланцюга

$$u_j \leq k_{dj} \cdot x_{ij}, \quad (6)$$

де k_{dj} – коефіцієнт утилізації в ланці j ($j = \overline{J_{RP}; J_{CU}}$) матеріального потоку, що поступив з ланки i ($i = \overline{I_E; I_{SP}}$) прямого логістичного ланцюга.

- на максимальний обсяг утилізації продукції ланками зворотного логістичного ланцюга

$$\sum_{j=J_{CU}}^{J_{RC}} u_j \leq k_r \left(x_{jE} - \sum_{j=J_{RP}}^{J_{SP}} u_j \right), \quad (7)$$

де k_r – коефіцієнт утилізації в зворотному логістичному ланцюгу.

Завдяки використанню запропонованої економіко-математичної моделі можливо вирішити завдання оптимізації зворотних рециклінгово-утилізаційних матеріальних потоків в логістичній системі, що дозволить досягти максимального значення сумарних грошових потоків від впровадження циркулярних процесів.

Експериментальні розрахунки, які проводились симплекс-методом, підтвердили адекватність моделі та дозволили розподілити матеріальні потоки таким чином, як представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Логістичні петлі зворотних логістичних ланцюгів

Циркулярний процес	Логістична петля	Зворотний матеріальний потік (тон)				
		<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>SC</i>	<i>PM</i>	
1 <i>recover</i>	11	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>SC</i>	<i>PM</i>	
		600	600	600	600	
	12	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>SC</i>	<i>DM</i>	
		0	0	0	0	
2 <i>refurbish/remanufacture</i>	21	<i>CU</i>	<i>RC</i>	<i>PM</i>		
		0	0	0		
	22	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>RC</i>	<i>PM</i>	
		0	0	0	0	
3 <i>reuse</i>	31	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>SP</i>		
		0	0	0		
	32	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>RC</i>	<i>SP</i>	
		1000	1000	1000	1000	
4 <i>repurpose</i>	41	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>PM</i>		
		0	0	0		
	42	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>RC</i>	<i>PM</i>	
		0	0	0	0	
	43	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>SC</i>	<i>DM</i>	
		600	600	600	600	
5 <i>repair</i>	51	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>RC</i>	<i>CU</i>	
		2000	2000	2000	2000	
6 <i>recycle</i>	61	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>SC</i>	<i>RP</i>	
		500	500	500	500	
	62	<i>CU</i>	<i>CC</i>	<i>RP</i>		
		0	0	0		
	63	<i>CU</i>	<i>RC</i>	<i>CC</i>	<i>SC</i>	<i>RP</i>
		0	0	0	0	0
	64	<i>CU</i>	<i>RC</i>	<i>CC</i>	<i>RP</i>	
		0	0	0	0	

Джерело: розроблено автором

При вирішенні завдання витримані всі обмеження та досягнуто мак-

симальне значення цільової функції (загальних грошових потоків) –

43602,5 у.о. При цьому були створені логістичні петлі, що забезпечують зворотний зв'язок в межах замкнутих логістичних ланцюгів, в межах п'яти

циркулярних процесів: *recover*, *reuse*, *repurpose*, *repair*, *recycle*. Враховано також процес *utilization* (рис. 2).

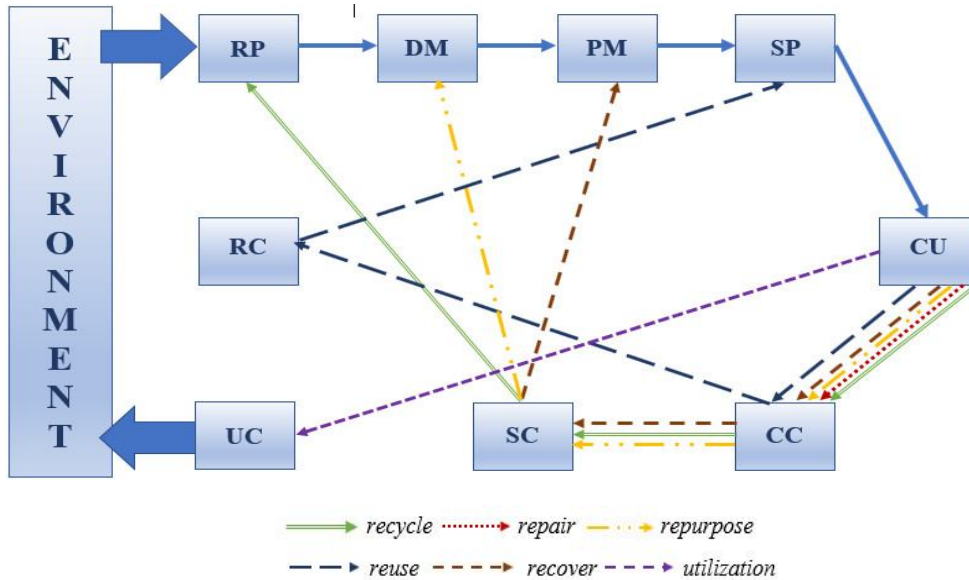


Рис. 2. Експериментально отримана замкнута логістична система
Джерело: розроблено автором

Висновки. Концепція циркулярної економіки базується на принципах та цілях концепції сталого розвитку та наголошує на необхідності замикання логістичних систем, тобто створенні логістичних систем зі зворотним зв'язком. Інструментом реалізації концепції циркулярної економіки виступають замкнуті ланцюги поставок, до складу яких входять прямі та зворотні матеріальні потоки. Виникають замкнуті ланцюги завдяки використанню циркулярних процесів: *recover*, *recycle*, *refurbish*, *remanufacture*, *repurpose*, *repair*, *reuse*, які створюють логістичні петлі, між учасниками логістичного ланцюга. Логістичні петлі забезпечують зворотний зв'язок між учасниками ланцюга та

дозволяють організувати зворотний потік продуктів, їх компонентів, сировини та матеріалів.

Застосування методів економіко-математичного моделювання дозволяє створити економіко-математичну модель завдання оптимізації зворотних матеріальних потоків та розподілити матеріальні ресурси за петлями, які створюються в межах циркулярних процесів логістичного ланцюга, таким чином, щоб загальні потоки грошових коштів логістичної системи досягли максимального значення, а екодеструктивний вплив на навколишнє середовище завдяки створенню зворотних потоків вторинних матеріальних ресурсів був мінімальним.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Руденко С.В., Ковтун Т.А. Екологізація логістики як напрямок реалізації концепції сталого розвитку. Проектний та логістичний менеджмент: нові знання на базі двох методологій. Том 3: монографія / авт. кол. С.В. Руденко, І.О. Лапкіна та ін. Одеса: КУПРИСНКО СВ. 2020. С. 7-24.
2. Ellen MacArthur Foundation: *Towards a Circular Economy: Business Rationale For An Accelerated Transition*, 2015. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf
3. Ковтун Т.А. Визначення ролі екологізації в досягненні цілей сталого розвитку // *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2020. № 2 (71). С. 63-81. DOI <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-2-63-81>
4. Ковтун Т.А. Впровадження принципів циркулярної економіки для досягнення цілей сталого розвитку // *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2020. № 3 (72). С. 22-42. DOI [10.31375/2226-1915-2020-3-22-42](https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-3-22-42).
5. Медоуз Д., Рандерс Й., Медоуз Д. *Межі зростання. 30 років потому*. Київ: Пабулум, 2018. 464 с.
6. *Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions, 2.12.2015, Brussels, COM (2015) 614 final. Retrieved from: <http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1453384154337&uri=CELEX:52015DC0614>*
7. Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B., Fujita, T. *Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China // Waste Management*. 2009. No. 29. С. 996-1002.
8. Yuan, Z., Bi, J., Moriguchi, Y. (2006), *The circular economy: A new development strategy in China // Journal of Industrial Ecology*. 2006. № 10. С. 4-8.
9. Zink, T. & Geyer, R. *Circular economy rebound // Journal of Industrial Ecology*. 2017. No. 21. С. 593-602.
10. Geissdoerfer, M. *The Circular Economy – a new sustainability paradigm? // Journal of Cleaner Production (accepted version)*. 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.0488>
11. Kosenko, V., Gopejenko, V., Persyanova, E. *Models and applied information technology for supply logistics in the context of demand swings // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2019. № 1 (7). P. 60-68. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.059>
12. Крикавський С. *Логістичне управління: Підручник*. Львів, 2005. 684 с.

13. Букринская Э.М., Мясникова Л.А. Логистика взаимодействия участников системы обращения с отходами // Проблемы современной экономики. 2018. №3(67). С.152-157.
14. Дзюбіна К.О. Місце зворотного матеріального потоку у виробничо-господарській діяльності підприємства // Вісник Дніпропетровського університету (ім. О. Гончара). Серія: Економіка. Дніпропетровськ. 2011. Вип. 5(4). С. 163-171.
15. Фалович В.А. Концептуальний підхід до формування замкнутої петлі ланцюга поставок // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Львів. 2010. № 669. С. 153-157.
16. Али С.С. Оптимизационный подход в управлении «зелеными» цепочками поставок с обратной связью // Проблемы нелинейного анализа в инженерных системах. 2015. №2 (44). Том 21. С.121-146. eLIBRARY ID: 25669118
17. Безкоровайний В.В., Куропатенко О.В., Гобов Д.А. Оптимізація маршрутів перевезень у системі замкненої логістики // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2019. № 4 (10). С. 24-32. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.024>

REFERENCES

1. Rudenko, S.V. & Kovtun, T.A. (2020). *Ekolohizatsiia lohistyky yak napriamok realizatsii kontseptsii staloho rozvytku. [Greening of logistics as a direction of realization of the concept of sustainable development]. Project and logistics management: new knowledge based on two methodologies. Volume 3: monograph, Odessa, P. 7-24 [in Ukraine].*
2. Ellen MacArthur Foundation (2015). *Towards a Circular Economy: Business Rationale For An Accelerated Transition*. Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf.
3. Kovtun, T. (2020). *Vyznachennia roli ekolohizatsii v dosiahnenni tsilei staloho rozvytku [Determining the role of greening in achieving sustainable development goals]. Rozvitok metodiv upravlinnya ta gospodaryuvannya na transporti – Development of management and entrepreneurship methods in transport. № 2 (71), 63-81. DOI: <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-2-63-81> [in Ukraine].*
4. Kovtun, T. (2020). *Vprovadzhennia pryntsypiv tsyrkuliarnoi ekonomiky dlia dosiahnennia tsilei staloho rozvytku [Implementation of the circular economy principles to achieve sustainable development goals]. Rozvitok metodiv upravlinnya ta gospodaryuvannya na transporti – Development of management and entrepreneurship methods in transport. 3 (72), 22-42. DOI <https://doi.org/10.31375/2226-1915-2020-3-22-42> [in Ukraine].*

5. Meadows, D., Randers, J. & Meadows, D. (2018). *Growth limits. 30 years later*. Kyiv: Pabulum, 464.
6. *Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy*. (2015). Communication from the commission to the European parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions, 2.12.2015, Brussels, COM 614 final. Retrieved from <http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1453384154337&uri=CELEX:52015DC0614>.
7. Geng, Y., Zhu, Q., Doberstein, B. & Fujita, T. (2009). *Implementing China's circular economy concept at the regional level: A review of progress in Dalian, China*. *Waste Management*. № 29. P. 996-1002.
8. Yuan, Z., Bi, J. & Moriguchi, Y. (2006). *The circular economy: A new development strategy in China*. *Journal of Industrial Ecology*. № 10. P. 4-8.
9. Zink, T. & Geyer, R. (2017). *Circular economy rebound*. *Journal of Industrial Ecology*, № 21. P. 593-602.
10. Geissdoerfer, M. (2016). *The Circular Economy – a new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production (accepted version)*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.0488>.
11. Kosenko, V., Gopejenko, V. & Persiyanova, E. (2019). *Models and applied information technology for supply logistics in the context of demand swings, Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, № 1 (7). P. 60-68. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.7.059>.
12. Krykavsky, E. (2005). *Logistics Management [Lohistychne upravlinnia], Textbook*. Lviv, 684 [in Ukraine].
13. Bukrinskaya, E. M. & Myasnikova, L. A. (2018). *Logistics of interaction of participants of the waste management system [Lohystyka vzaymodeistviya uchastnykov systemy obrashcheniya s otkhodamy]*. *Problems of modern economy*, № 3 (67). P.152-157 [in Russian].
14. Dzyubina, K.O. (2011). *Mistse zvorotnoho materialnoho potoku u vyrobnycho-hospodarskii diialnosti pidpriemstva. [The place of the reverse material flow in the production and economic activities of the enterprise]*. *Bulletin of Dnipropetrovsk University (named after O. Honchar). Series: Economics. Issue 5 (4)*. Dnipropetrovsk. P. 163-171 [in Ukraine].
15. Falovich, V.A. (2010). *Kontseptualnyi pidkhid do formuvannia zamknutoi petli lantsiuha postavok [Conceptual approach to the formation of a closed loop supply chain]*. *Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic»*. Lviv, № 669. P. 153-157 [in Ukraine].
16. Ali, S.S. (2015). *Optymyzatsyonnyi podkhod v upravlenyy «zelenyту» tsepochkamy postavok s obratnoi svyaziu. [Optimization approach in the management of «green» supply chains with feedback]*. *Problemy nelyneinoho analiza v ynzhenernykh systemakh – Problems of nonlinear analysis in engineering systems*. № 2 (44), 21. P.121-146. eLIBRARY ID: 25669118 [in Russian].

17. *Bezkorovainy, V.V., Kuropatenko, O.V. & Gobov, D.A. (2019). Optimizatsiia marshrutiv perevezen u systemi zamknoei lohistyky [Optimization of transportation routes in the system of closed logistics]. Suchasnyi stan naukovykh doslidzhen ta tekhnologii v promyslovosti – The current state of research and technology in industry. № 4 (10). P. 24-32. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.024> [in Ukraine].*

Стаття надійшла до редакції 18.11.2020

Посилання на статтю: Ковтун Т.А. Формирование материальных потоков в логистической системе с обратной связью // Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць, 2020. № 4 (73). С. 31-44. DOI 10.31375/2226-1915-2020-4-31-44.

Article received 18.11.2020

Reference a JournalArtic: Kovtun Tetiana. (2020). Formation of material flows in a logistic system with feedback. Development of management and entrepreneurship methods on transport. 4 (73), 31-44. DOI 10.31375/2226-1915-2020-4-31-44.