

УДК 69: 658

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.270421.15.737

## ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

АРУТЮНЯН І. А.<sup>1\*</sup>, *докт. техн. наук, проф.*,  
ШУВАЄВ А. А.<sup>2</sup>, *здоб.*

<sup>1\*</sup> Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (066) 900-78-28, e-mail: [iranaarutunan@gmail.com](mailto:iranaarutunan@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5049-3742

<sup>2</sup> Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, 69006, Запоріжжя, Україна, тел. +38 (066) 900-78-28, e-mail: [shywazp@gmail.com](mailto:shywazp@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-4919-485X

**Анотація. Постановка проблеми.** Вирішення проблеми комплексного використання вторинних будівельних ресурсів слід розглядати в контексті поширення світової практики використання, переробки та залучення у повторний господарський обіг усіх цінних відходів як вторинних ресурсів, що зумовлено глибокими змінами у світовій економіці, пов'язаними з обмеженістю природних ресурсів, загрозами екологічній та соціальній безпеці, збільшенням кількості відходів та техногенних звалищ. Процес управління потоками вторинних ресурсів повинен бути спрямований на досягнення перш за все економічного та екологічного ефекту, визначення яких має певні особливості для різних стейхолдерів цього процесу (виробників будівельних матеріалів (переробників відходів), забудовників (будівельні підприємства та організації), будівельна галузь (на рівні регіону, держави). Застосування світового досвіду використання вторинних ресурсів у будівельній галузі може стати основою для розбудови інфраструктури отримання вторинної сировини із відходів (переробки відходів) та залучення їх у повторний товарообіг, дозволить більш ефективно реалізувати Національну стратегію управління відходами до 2030 р., що прийнята Урядом в Україні, яка має на меті впровадження системного підходу до поводження з відходами на державному та регіональному рівнях, зменшення обсягів утворення відходів шляхом збільшення обсягу їх переробки та повторного використання. **Мета статті** – обґрунтувати ефективність застосування інструментарію комплексного керування потоками вторинних ресурсів будівельної галузі та запропонувати економіко-математичну модель оптимального управління потоками будівельних відходів на рівні окремих підприємств галузі в регіоні. **Висновок.** Зазначено, що інструментарій управління потоками відходів будівельної галузі включає інформаційний (в тому числі статистичний, моніторинговий), аналітичний, прогностичний інструменти по управлінню потоками вторинних ресурсів. Умовою прийняття рішень та ефективності загального керування потоками відходів будівельної галузі вважаємо створення єдиної системи комплексного керування потоками вторинних ресурсів (матеріалів), основна мета якої – досягнення сукупного економічного ефекту від залучення будівельних відходів у повторний виробничий цикл. Обґрунтовано ефективність застосування інструментарію комплексного управління потоками вторинних ресурсів будівельної галузі та запропоновано методику її визначення на підставі математичної моделі розв'язання задачі оптимального управління потоками будівельних відходів на рівні підприємств – продуцентів відходів, підприємств-переробників (виробників будівельних матеріалів із вторинної сировини), будівельної галузі регіону.

**Ключові слова:** будівельна галузь; комплексне управління; потоки вторинних ресурсів; економічна ефективність; критерії ефективності; інструментарій управління

## EFFECTIVENESS OF INTEGRATED MANAGEMENT OF SECONDARY RESOURCE FLOWS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

ARUTIUNIAN I.A.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
SHUVAIEV A.A.<sup>2</sup>, *External Cand.*

<sup>1\*</sup> Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi Ave., 69006, Zaporizhzhia, Ukraine, tel. +38 (066) 900-78-28, e-mail: [iranaarutunan@gmail.com](mailto:iranaarutunan@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5049-3742

<sup>2</sup> Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi Ave., 69006, Zaporizhzhia, Ukraine, tel. +38 (066) 900-78-28, e-mail: [shywazp@gmail.com](mailto:shywazp@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-4919-485X

**Abstract. Problem statement.** The solution to the problem of the integrated use of secondary construction resources should be considered in the context of the spread of the world practice of using, processing and reclaiming all

valuable waste as secondary resources. This is due to profound changes in the world economy associated with limited natural resources, threats to environmental and social security, an increase in the amount of waste and man-made landfills. The process of managing the flows of secondary resources should be aimed at achieving economic and environmental effects, the definition of which has certain characteristics for various stakeholders in this process: (producers of building materials (waste recyclers), developers (construction companies and organizations), the construction industry (at the regional level, countries). The application of world experience in the use of secondary resources in the construction industry can become the basis for the development of infrastructure for obtaining secondary raw materials from construction waste and attracting them into re-circulation, which will make it possible to more effectively implement the National Waste Management Strategy until 2030, adopted by the Government of Ukraine. The goal of the strategy is to introduce a systematic approach to waste management at the state and regional levels, to reduce the volume of waste generation by increasing the volume of their processing and reuse. **Purpose of the article:** substantiate the effectiveness of the use of tools for integrated management of secondary resource flows in the construction industry and propose an economic and mathematical model for optimal management of construction waste flows at the level of individual enterprises of the industry in the region. **Conclusion.** The toolkit for managing waste streams in the construction industry includes information (including statistical, monitoring), analytical, predictive tools for managing the flows of secondary resources. We consider the creation of a unified system of integrated management of the flows of secondary resources (materials) as a condition for decision-making and the effectiveness of the overall management of waste streams in the construction industry, the main goal of which is to achieve a cumulative economic effect from attracting construction waste to a repeated production cycle. The effectiveness of the use of tools for complex management of the flows of secondary resources in the construction industry has been substantiated and a method is proposed for its determination, on the basis of a mathematical model for solving the problem of optimal management of flows of construction waste at the level of enterprises are waste producers, enterprises-processors (producers of building materials from secondary raw materials), the construction industry of the region.

**Keywords:** *building sector; integrated management; secondary resource streams; economic efficiency; performance criteria; management tools*

**Постановка проблеми.** Вирішення проблеми комплексного використання вторинних будівельних ресурсів слід розглядати в контексті поширення світової практики використання, переробки та залучення у повторний господарський обіг усіх цінних відходів як вторинних ресурсів, що зумовлено глибокими змінами у світовій економіці, пов'язаними з обмеженістю природних ресурсів, загрозами екологічній та соціальній безпеці, збільшенням кількості відходів та техногенних звалищ [11].

Використання відходів техногенного виникнення, які можуть бути потенційно придатними для повторного застосування як вторинних ресурсів, досить актуальне у світовій практиці для вирішення проблем розвитку промисловості, визначення політики збереження природних ресурсів, енергозбереження та економічної, екологічної і соціальної безпеки регіонів [4].

Крім того, слід зазначити, що існуюча тенденція розвитку технологічних процесів (інновацій) залучення вторинної сировини у повторний господарський обіг сприяє постійному збільшенню можливостей такого процесу та збільшенню способів і номенклатури готової продукції, отриманої

із вторинних ресурсів, в тому числі в будівельній галузі. При цьому вважаємо, що процес керування потоками вторинних ресурсів повинен бути спрямований на досягнення перш за все економічного та екологічного ефекту, визначення якого має певні особливості для різних стейхолдерів цього процесу (виробників будівельних матеріалів (переробників відходів), забудовників (будівельні підприємства та організації), будівельна галузь (на рівні регіону, держави).

Застосування світового досвіду використання вторинних ресурсів у будівельній галузі може стати основою для розбудови інфраструктури отримання вторинної сировини із відходів (переробки відходів) та залучення їх у повторний товарообіг, дозволить більш ефективно реалізувати Національну стратегію управління відходами до 2030 р., прийняту Урядом в Україні, яка має на меті впровадження системного підходу до поводження з відходами на державному та регіональному рівнях, зменшення обсягів утворення відходів шляхом збільшення обсягу їх переробки та повторного використання.

**Аналіз публікацій.** Сучасні тенденції, екологічні та економічні принципи в управлінні відходами будівельної галузі в Україні стали об'єктом дослідження багатьох вітчизняних науковців [2–4; 6; 8]. Протягом останніх десятиліть проблема управління відходами виробництва та будівництва, зокрема, привертає все більше уваги наукової спільноти, особливо в зарубіжних країнах [1; 7; 9; 10–12]. Результатами досліджень стали як визначення нових методів та способів переробки відходів (рециклінг, регенерація, рекуперація) [10–12], стандарти будівельних матеріалів із вторинної сировини, так і розроблення управлінських підходів використання вторинних будівельних ресурсів [7].

Але вважаємо, що управлінські підходи у сфері обігу відходів будівельної галузі в Україні повинні мати певну вітчизняну специфіку, (хоча і не заперечують застосування міжнародного досвіду) та потребують обґрунтованого теоретичного та практичного інструментарію для прийняття ефективних управлінських рішень, що вимагає подальших наукових досліджень у цьому напрямі.

**Мета статті** – обґрунтувати ефективність застосування інструментарію комплексного управління потоками вторинних ресурсів будівельної галузі та запропонувати економіко-математичну модель оптимального управління потоками будівельних відходів на рівні окремих підприємств галузі в регіоні.

**Результати досліджень.** Управління потоками вторинних ресурсів (матеріалів) на рівні окремого будівельного підприємства (об'єкта), хоча і має певний екологічний та економічний ефект, але його доцільність без комплексного управління на рівні галузі може бути лише формальною та базуватися тільки на певній суспільній та екологічній відповідальності забудовника [2]. Тому запорукою вирішення проблеми ефективного управління будівельними відходами мають стати комплексність та системність на рівні будівельної галузі.

Умовою прийняття рішень та ефективності загального управління потоками відходів будівельної галузі вважаємо створення єдиної системи комплексного управління потоками вторинних ресурсів (матеріалів), на підставі логістичного та раціонального підходів максимізації залучення вторинних ресурсів у будівельні процеси, за умови забезпечення гнучкості системи відповідно до економічної доцільності, нормативних, технічних, екологічних та санітарних вимог.

Ключовим завданням такої системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі має стати вирішення проблеми техногенного навантаження на екосистему міст, де активно розвивається будівельна галузь. Крім того, така система дозволить вирішувати низку соціально-економічних проблем та здатна підвищити ефективність будівельної галузі за рахунок зниження собівартості певних будівельних матеріалів, зменшення витрат на утилізацію відходів будівництва і за умови державної підтримки – отримання певних пільг та преференцій для мотивації будівельних та переробних підприємств.

СКУПВ має відповідні підсистеми, згідно з організаційною моделлю управління та структурою інформаційних потоків у системі (рис.).

Вхідні потоки – інформаційна база даних про підприємства, типи та обсяги відходів будівництва; інформація щодо можливих способів залучення відходів будівництва як вторинних ресурсів (технології, інновації, нормативи, інструкції, регуляторні акти, правові обмеження та стимули), оцінка потенціалу вторинних ресурсів;

Внутрішня інформація – обсяги відходів, залучених як вторинна сировина, обсяги готової продукції із вторинної сировини (повністю та частково); кон'юнктура ринку будівельних матеріалів та попит на матеріали із вторинної сировини; аналіз собівартості таких матеріалів, оцінка доцільності та вартості

перероблення відходів та оптимізація логістичних витрат системи.

Вихідні потоки інформації – оцінка екологічного та соціально-економічного

ефекту СКУПВ будівельної галузі, формування переробної галузі та реалізація бізнес-проектів у сфері управління потоками відходів будівельної галузі.

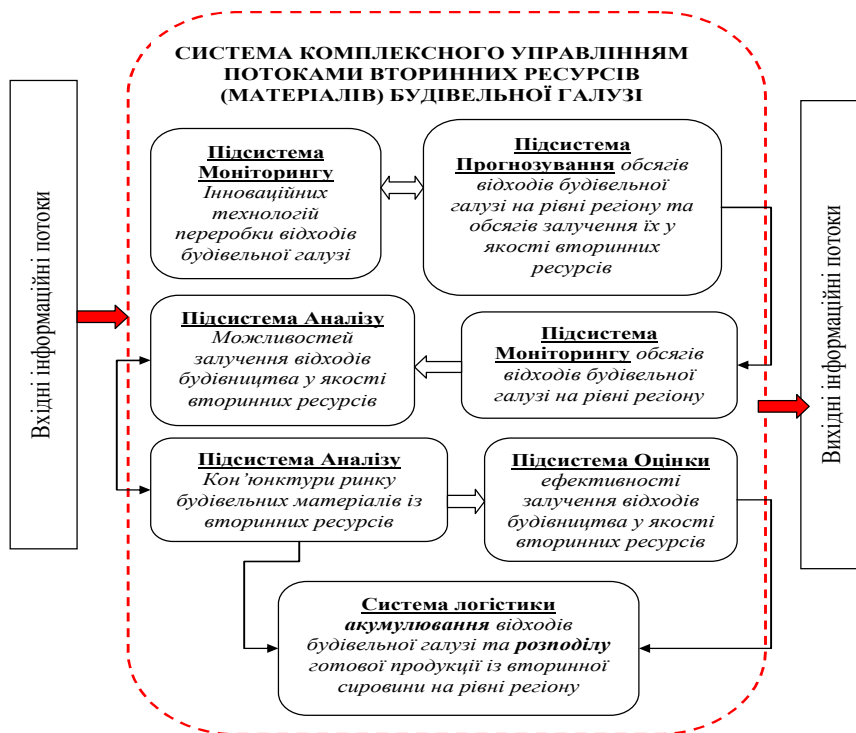


Рис. Модель інформаційного забезпечення системи комплексного управління потоками відходів (СКУПВ) будівельної галузі

Слід зазначити, що процес управління, який би забезпечував максимальне використання потенціалу відходів будівництва, повинен мати в основі загальнодоступну інформаційну базу даних (інформаційна платформа), яка б акумулювала загальну інформацію щодо будівельної галузі (результати аудиту споруд, що підлягають знесенню, дані про обсяги та види відходів конкретних об'єктів, дані моніторингу цін, попиту на вторинну сировину та готову продукцію з неї тощо) [11].

Тобто інформація щодо аудиту, аналізу окремих об'єктів повинна акумулюватися в єдиній інформаційній системі та має бути приведена до єдиних вимог і стандартів, що може забезпечити лише комплексна система управління потоками відходів будівельної галузі. Наразі результати аудиту, аналізу щодо потенціалу будівельних відходів як вторинної сировини використовуються

ізолювано, відповідно рішення щодо управління відходами будівництва приймаються без отримання повноцінної інформації про можливий попит на вторинний ресурс, тобто підрядник не може знати потреби ринку у вторинних ресурсах, які виходять за межі його проекту.

Крім того, відсутня як мотивація, так і технічні можливості здійснювати всебічний аналіз максимального використання потенціалу відходів (оцінювання корисності компонентів), виникають організаційні складнощі у пошуку потенційних споживачів вторинних ресурсів, а через нерозвинену інфраструктуру – складність пошуку переробника певних видів відходів будівництва, які хоча і мають вторинний потенціал, але його важко об'єктивно оцінити та економічно обґрунтувати [1; 4].

Основна мета функціонування СКУПВ – максимальне залучення потоків відходів будівельної галузі як вторинних ресурсів

для виробництва будівельних матеріалів (крім того, не виключаючи інших матеріалів та способів залучення їх у повторний обіг).

Відповідно критерієм ефективності СКУПВ на рівні регіону будемо вважати мінімізацію потоків відходів будівельної галузі, що підлягають захороненню на полігонах. А критерієм ефективності СКУПВ на рівні окремого будівельного підприємства будемо вважати максимальний сукупний ефект від залучення відходів у процес будівництва.

Окремо слід визначити мету та критерій ефективності системи логістики, що є складовою СКУПВ, передбачає одночасне досягнення ефективності системи на рівні регіону та на рівні будівельного підприємства за умови мінімальних логістичних витрат.

Базовою умовою ефективного функціонування системи СКУПВ вважаємо розроблення її науково-методичного, нормативно-технічного забезпечення, що має включати:

- регламенти процесів у системі, нормативи та вимоги до показників якості як будівельних відходів, так і готових виробів із перероблених відходів;

- функціонально-організаційну структуру системи;

- екологічні вимоги та нормативи;

- систему законодавчого захисту і мотивації суб'єктів системи, у відповідності із стратегічними завданнями щодо політики управління потоками відходів як на рівні регіону, так і на рівні держави.

Відповідно така база системи повинна передбачати технічну та організаційну сумісність кожної окремої підсистеми, що входять до СКУПВ.

Ключовим етапом формування оптимальної моделі управління потоками будівельних відходів та їх залучення як вторинних ресурсів постає обґрунтування та застосування оптимізаційного планування, яке буде визначатися технологічними можливостями та способами переробки будівельних відходів.

Відразу слід зазначити, що така оптимальність в умовах оптимізаційного

планування не буде і не повинна бути постійною, її змінність та динамічність, визначатимуться впливом підсистеми моніторингу інноваційних технологій переробки відходів будівельної галузі. Це, відповідно, сприятиме появі і впровадженню нових технологій переробки, нових матеріалів та нових способів застосування вторинних ресурсів, що будуть більш ефективними та екологічними. Відповідно це постає метою функціонування такої підсистеми (моніторинг інноваційних технологій), але ж це також передбачає постійне вдосконалення системи та необхідність внесення змін до самої моделі СКУПВ.

Якщо розглядати технологічні способи підприємств – виробників будівельних матеріалів, то умовно, щодо залучення вторинних ресурсів, можемо виділити три способи виробництва готової продукції: традиційні (на основі первинних ресурсів), часткову заміну первинної сировини на вторинну і випуск продукції тільки із вторинної сировини.

Зазначимо також, що на рівні підприємства, для якого визначаємо окрему економіко-математичну модель, можливо визначити лише окремі закономірності управління потоками відходів, виходячи із зазначеної вище мети – максимізація сукупного ефекту від залучення відходів у процес будівництва [9]. Тут також слід окремо розглядати підприємства – виробники будівельної продукції та підприємства-забудовники (відповідно споживачів цієї продукції).

Крім того, не можна виключати, що деякі технології переробки відходів можуть бути застосовані на рівні підприємства-забудовника, яке, використовуючи певне мобільне обладнання, може самостійно, на місці об'єкта, переробляти деякі види відходів (наприклад, від знесення будівель, використовуючи дробильне устаткування та ін.), питання лише в економічній доцільності цього процесу. Відповідно, взаємозв'язки переробних підприємств та будівельних підприємств, щодо обігу

відходів формують Систему логістики СКУПВ.

Отже, для формалізації задачі оптимального управління потоками будівельних відходів на рівні окремих підприємств галузі в регіоні, для проведення її у вигляді економіко-математичної моделі визначимо основні параметри (на підставі [9]):

$n$  – номер ресурсу, що використовується у виробництві будівельних матеріалів;

$i$  – номер готової будівельної продукції;

$l$  – номер підприємства – виробника будівельних матеріалів;

$t$  – номер технологічного способу виробництва будівельних матеріалів;

$N_1$  – множина первинних ресурсів (природна сировина та матеріали);

$N_2$  – множина вторинних ресурсів (відходи будівництва), їх збільшення може бути пов'язане із розширенням можливостей та технологій переробки відходів;

$N_3$  – множина лімітованих локальних ресурсів підприємств (кількість персоналу, виробничі площі, фонд часу технологічного обладнання, енерговитрати тощо);

$L$  – підприємства (виробники будівельних матеріалів) галузі, на території регіону  $l \in L$ ;

$I$  – множина будівельних матеріалів, що виробляються на території регіону;

$T_1$  – множина технологічних способів функціонування  $l$ -го підприємства (переробника будівельних відходів):

$$T_1 = T_1^1 \cup T_1^2 \cup T_1^3, \quad (1)$$

де:  $T_1^1$  – випуск продукції на основі первинних ресурсів;  $T_1^2$  – випуск продукції із частковою заміною первинної сировини на вторинну;  $T_1^3$  – випуск продукції тільки із вторинної сировини, тобто повна заміна первинної сировини на відходи будівельної галузі;  $c_{il}^t$  – витрати  $n$ -го ресурсу на одиницю продукції на  $l$ -му підприємстві за умови  $t$ -го способу виробництва будівельних матеріалів;  $v_{il}^t$  – випуск  $i$ -го продукту на  $l$ -му підприємстві за умови  $t$ -го способу виробництва будівельних матеріалів;  $Q_l^t$  – показник ефективності  $t$ -го

способу виробництва будівельних матеріалів на  $l$ -му підприємстві;  $P_n$  – ринкова пропозиція первинних та вторинних  $n$ -х ресурсів:

$$n \in N_1 \cup N_2$$

$P_{nl}$  – загальний обсяг лімітованого ресурсу  $n$ -го виду, що є в наявності на  $l$ -му підприємстві,  $n \in N_3$ ;  $M_i$  – ринковий попит на будівельну продукцію  $i$ -го виду;  $G_l^t$  – інтенсивність  $t$ -го способу функціонування  $l$ -го підприємства (тобто частка кожного з трьох  $t$  способів в обсязі виробництва):

$$0 \leq G_l^t \leq 1, \sum_{t \in T_l} G_l^t = 1. \quad (2)$$

В умовах прийнятих параметрів необхідно знайти таке значення інтенсивності способу функціонування конкретного підприємства ( $G_l^t$ ), за якого величина цільової функції буде максимальною, при заданих для СКУПВ обсягах первинних, вторинних та лімітованих ресурсів ( $N_1, N_2, N_3$ ), заданому попиту на готову продукцію системи ( $M_i$ ), ( $i \in I$ ); витратах ресурсів системи ( $c_{il}^t$ ) та загальному обсягу ( $v_{il}^t$ ) виробленої продукції за способами функціонування підприємств  $P_n (n \in N_1 \cup N_2 \cup N_3)$  і відповідних їм показників ефективності ( $Q_l^t$ ).

Відповідно функція такої умови має вигляд:

$$F(x) = \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} Q_l^t G_l^t \rightarrow \max. \quad (3)$$

Крім того, повинні дотримуватись обмеження:

1) потреба в первинній та вторинній сировині усіх підприємств – виробників будівельних матеріалів, обмежена розміром їх ринкової пропозиції:

$$\sum_{l \in L} \sum_{t \in T} c_{il}^t G_l^t \leq P_n, n \in N_1 \cup N_2 \cup N_3; \quad (4)$$

2) кожен виробник будівельних матеріалів може використовувати локальні лімітовані ресурси у межах їх наявних обсягів:

$$\sum_{l \in L} \sum_{t \in T} c_{il}^t G_l^t \leq P_{nl}, n \in N_3, l \in; \quad (5)$$

3) усі виробники будівельних матеріалів повинні виробити продукції в обсязі не меншому за попит на неї:

$$\sum_{l \in L} \sum_{t \in T} v_{il}^t G_l^t \geq M_i, \quad i \in I; \quad (6)$$

4) повинна зберігатися умова позитивності усіх змінних. Тобто інтенсивність способу функціонування змінних завжди більша за нуль, або дорівнює йому, якщо певний спосіб виробництва не використовується:  $G_l^t \geq 0, \quad l \in L, \quad t \in T$ . Відповідно, буде існувати множина варіантів плану рециклінгу будівельних відходів (векторів  $G_l^t$ ), що задовольняють умовам обмежень, отож, із можливих альтернатив обирається варіант із максимальним значенням інтенсивності, що в принципі задовольняє вимогам СКУПВ на максимальне включення потоків відходів як вторинної сировини виробництва будівельних (можливо, і не тільки будівельних) матеріалів.

Вважаємо необхідним доповнення умов обмеження для цільової функції, обмеження щодо нормативності обсягів включення відходів до повторного обігу ( $N_2$ ) [1]. Відповідно, мета системи – це максимізація  $T_1^2 \cup T_1^3$ . Таке обмеження можливе за умови розроблення стандартів, технологій та законодавчих регуляторних нормативів (наприклад, у більшості зарубіжних країн лише 20 % складають відходи, що не використовуються повторно, відповідно, 80 % відходів мають бути включені до повторного виробничого циклу).

На жаль, таких нормативів (обмежень) в Україні поки що не існує, тому обсяг відходів, які залучаються до повторного циклу, може бути встановлений лише з позиції економічної доцільності (економічного ефекту) та доступності технологій переробки відходів.

На рівні запропонованої системи СКУПВ слід розглядати в сукупності сумарний ефект, що включає ефект від відверненого збитку та ефект від залучення вторинних ресурсів у виробничий цикл. Відповідно, ефект підприємств –

переробників будівельних відходів та таких, що залучають їх у повторний виробничий цикл для виробництва будівельних матеріалів ( $E_{proc}$ ), визначимо як:

$$E_{proc} = (P_{pr} - C_{sec} * k_{ef}) N_y \quad (7)$$

де  $P_{pr}$  – середньорічна ринкова вартість первинної сировини;  $C_{sec}$  – собівартість отримання одиниці вторинної сировини (сума закупівельної вартості ( $P_{fs}$ ) та витрат на організацію процесів переробки, транспортування будівельних відходів (логістичні витрати), витрат на локальні лімітовані ресурси підприємства-переробника;  $k_{ef}$  – коефіцієнт ефективності залучення вторинної сировини порівняно з первинною (враховує якість параметрів сировини та її витрати на виготовлення готової продукції, або відношення собівартості продукції з первинної до собівартості з вторинної сировини);  $N_y$  – річна потреба в сировині.

Отримання ефекту від управління потоками відходів у продуцента будівельних відходів (забудовників), пов'язане з регульованими на рівні держави та регіону прямими платежами та штрафами за забруднення навколишнього середовища [6], і, як уже зазначалося вище, залежить від прийнятих стандартів, технологій та законодавчих регуляторних нормативів.

Крім того, ефект від управління відходами безпосередньо пов'язаний із вартістю захоронення відходів на полігонах, транспортування тощо, а також з умовами взаємодії з підприємствами-переробниками (виробниками будівельних матеріалів) вторинної сировини (закупівельна вартість, ринкові ціни на первинні матеріали, що являють собою альтернативу певним видам відходів) [6].

Наразі також можемо стверджувати, що збільшення ефекту у продуцента відходів безпосередньо пов'язане з удосконаленням системи управління будівельними відходами на рівні регіону та на рівні держави.

Зрозуміло, що, якщо продуцент відходів не має економічно обґрунтованої мотивації (загрози штрафів, вартість захоронення на

полігоні менша за витрати на транспортування відходів до переробника, або вартість їх реалізації не покриває витрати, пов'язані із сортуванням та організаційними аспектами управління потоками відходів, досить важко забезпечити ефективність системи СКУПВ.

Лише однієї екологічної свідомості продуцентів відходів буде недостатньо для забезпечення умов максимального включення потоків будівельних відходів до повторного виробничого циклу [4]. Відповідно розрахунок ефекту для продуцента будівельних відходів ( $E_{man}$ ), матиме вигляд:

$$E_{man} = F_{pen} + (P_{fs} - L_c - C_d), \quad (8)$$

де  $F_{pen}$  – потенційні прямі платежі та штрафи за забруднення оточуючого середовища, за порушення законодавчих вимог щодо поводження з відходами (у разі якщо продуцент порушить ці вимоги);  $P_{fs}$  – вартість реалізації відходів за ринковими цінами;  $L_c$  – логістичні витрати, пов'язані з управлінням потоками відходів;  $C_d$  – вартість захоронення відходів на полігонах, відвалах.

У межах системи СКУПВ окремо будемо розглядати ефект від управління потоками відходів будівельної галузі на рівні регіону, що, з одного боку, повинен мати економічний аспект (скорочення витрат на утримання полігонів, звалищ; створення нових робочих місць і, відповідно, збільшення податкових надходжень, додаткові надходження інвестицій та ін.), з іншого – пріоритетним постає екологічний ефект, який не заперечує економічної привабливості СКУПВ, але має на меті досягнення екологічно-суспільних довгострокових цілей (збереження природного капіталу, зменшення шкоди земельним, лісним, водним та іншим природним ресурсам). Відповідно ефект від управління потоками будівельних відходів на рівні регіону ( $E_{reg}$ ), може бути виражений:

$$E_{reg} = \Delta V_{nc} + \Delta M_p + \Delta R_r + \Delta T_r + \Delta D_1 + \Delta D_f + \Delta D_w \quad (9)$$

де  $\Delta V_{nc}$  – зміна вартості збереженого природного капіталу в часі, тобто можливість отримати пряму (або непряму) вигоду від використання екологічних ресурсів у майбутньому;  $\Delta M_p$  – скорочення витрат, пов'язаних із захворюваністю населення від екологічних проблем;  $\Delta R_r$  – ефект відтворення трудових ресурсів (від створення нових робочих місць, та відповідно, збільшення податкових надходжень);  $\Delta T_r$  – ефект збільшення податкових надходжень (поява нових підприємств-переробників за рахунок інвестиційних надходжень до регіону);  $\Delta D_1$  – зменшення шкоди земельним ресурсам;  $\Delta D_f$  – зменшення шкоди лісним ресурсам;  $\Delta D_w$  – зменшення шкоди водним ресурсам.

Відповідно показник  $\Delta V_{nc}$ , може бути визначений за формулою:

$$\Delta V_{nc} = (P_{nc} * I_{rp} - P_{pr}) N_r \quad (10)$$

де  $P_{nc}$  – ціна одиниці капіталу в момент часу (у майбутньому);  $I_{rp}$  – індекс зростання ціни природного капіталу в часі;  $P_{pr}$  – ціна одиниці капіталу фактична, на розрахунковий час;  $N_r$  – обсяг збереження первинних матеріалів за рахунок заміни їх вторинними.

У межах системи визначається сукупний ефект, що передбачає сумарність ефектів на рівні підприємств – продуцентів будівельних відходів, підприємств – переробників та виробників будівельних матеріалів із вторинної сировини та ефект на рівні регіону (будівельної галузі регіону), де базуються ці підприємства. Крім того, слід зазначити, що загальнодержавний ефект буде мати аналогічний розрахунок, як сумарний ефект усіх регіонів.

Тут слід зауважити, що така модель дещо спрощена, бо певні ефекти можуть бути взаємопов'язані між регіонами, якщо, наприклад, в одному регіоні будуть відсутні підприємства-переробники і логістичні зв'язки процесу управління будівельними відходами можуть поєднувати різні регіони [9]. Але ж принцип оцінювання ефективності процесу залишається таким самим, з деякими уточненнями щодо розподілу певних складових ефектів.



Таким чином, сукупний ефект від залучення вторинних ресурсів будівельної галузі в наступний виробничий цикл ( $E_{tot}$ ) має вигляд:

$$E_{tot} = E_{proc} + E_{man} + E_{rig}. \quad (11)$$

Слід зауважити, що ефекти мають принцип ієрархії та умовність настання [9]. Якщо будівельне підприємство, оцінюючи ефективність управління потоками відходів, визначає, що це менш ефективне порівняно з традиційним способом (захороненням відходів), приймає рішення не спрямовувати потоки відходів до підприємств-переробників (як недоцільний спосіб з економічної точки зору), то, відповідно, це впливає на ефект цього процесу у підприємства-переробника, що, у свою чергу, зменшує або нівелює ефект на рівні регіону. Тому ключовим фактором тут виступає саме формування мотиваційної складової на рівні галузі та державна підтримка і стимулювання процесу управління потоками відходів.

Інформаційною основою порівняльного аналізу використання будівельних відходів та організації прийняття рішень щодо управління потоками відходів на всіх рівнях системи має стати розрахунок сукупного ефекту від раціонального використання та залучення відходів до повторного виробничого циклу, який повинен передбачати розрахунок усіх альтернативних варіантів управління потоками відходів будівельної галузі [12].

Відповідно вибір найбільш ефективного варіанта, як на рівні підприємств-продуцентів, підприємств-переробників, так і на рівні регіону, може здійснюватися на підставі оптимізаційної матриці і стає ключовою метою управління потоками вторинних ресурсів будівельної галузі [1; 9].

**Висновки.** Зазначено, що інструментарій управління потоками відходів будівельної галузі включає інформаційний (в тому числі статистичний, моніторинговий), аналітичний, прогностичний інструменти керування потоками вторинних ресурсів. Умовою прийняття рішень та ефективності загального

керування потоками відходів будівельної галузі вважаємо створення єдиної системи комплексного управління потоками вторинних ресурсів (матеріалів).

Ключовим завданням такої системи має стати вирішення проблеми техногенного навантаження на екосистему міст, де активно розвивається будівельна галузь. Крім того, така система дозволить вирішувати низку соціально-економічних проблем та здатна підвищити ефективність будівельної галузі за умови державної підтримки.

Слід зазначити, що кінцевою метою єдиної системи комплексного управління потоками вторинних ресурсів виступають досягнення сукупного економічного ефекту від залучення будівельних відходів у повторний виробничий цикл. На рівні підприємств ефект виражається тільки у розмірі додатково отриманого прибутку (за рахунок зниження собівартості матеріалів), на рівні системи – охоплює багато факторів впливу і має не тільки економічну складову, а й соціально-екологічну, і визначається різними потенційними можливостями та перевагами, пов'язаними з діяльністю в еколого-економічній сфері.

Обґрунтовано ефективність застосування інструментарію комплексного управління потоками вторинних ресурсів будівельної галузі та запропоновано методика її визначення на підставі математичної моделі розв'язання задачі оптимального управління потоками будівельних відходів на рівні підприємств-продуцентів відходів, підприємств-переробників (виробників будівельних матеріалів із вторинної сировини), будівельної галузі регіону.

У цілому, економічною ефективністю управління потоками відходів будівельної галузі можемо вважати суму відверненого збитку екосистемі (регіону), відповідно, це різниця між збитком від повного захоронення відходів будівельної галузі та збитком, зазнаним після максимально можливого включення відходів у повторний виробничий цикл.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексанин А. В. Автоматизация управления отходами строительного производства. *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 10. С. 79–81.
2. Арутюнян І. А., Шуваєв А. А. Економічна доцільність комплексного управління потоками відходів у будівельній галузі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2020. № 18. С. 9–17.
3. Лялюк О. Г., Ратушняк, О. Г., Лялюк, А. О. Екологічний менеджмент відходів будівельного виробництва. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2017. Т. 22, № 1. С. 94–100.
4. Мольчак Я. О., Андрощук І. В., Дубинчук Л. І. Тенденції поводження з відходами виробництва і споживання як приклад охорони навколишнього природного середовища міста Луцька. *Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону : фінансова політика та інвестиції*. 2013. № 4. С. 272–284.
5. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. «Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (дата звернення : 20.03.2021).
6. Уваров П. Є., Татарченко Г. О., Шпарбер М. Є. Сучасні проблеми рециклінгу вторинних будівельних ресурсів. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2019. № 16. С. 29–37.
7. Цховребов Э. С., Садов А. В. Пути решения проблемы обращения с отходами на уровне региона. *Вестник РАЭН*. 2011. №11 (5). С. 29–31.
8. Шевченко Т. Ю., Барна М. Ю., Назаренко О. Ю. Рециклінг будівельних відходів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2011. № 9 (162). С. 8–11.
9. Шилова Н. Н. Теория и методология формирования системы регионального использования промышленных отходов на предприятиях регионального строительного комплекса : автореф. дис. .. д-ра. эконом. наук : 080005. Санкт-Петербург : ГОУ ВПО «ТГАСУ», 2007. 36 с.
10. Kumbhar S., Gupta A., Desai D. Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*. 2013. № 6 (7). Pp. 83–92.
11. Puskás A., Corbu O., Szilágyi H., Moga L. M. Construction waste disposal practices : the recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2014. Vol. 191. Pp. 1313–1321.
12. Serpa Nilo Alves, Gisele Dayrell, Mariana Santoro Aline. Recycled concrete artifacts: towards sustain ability of civil construction. *Independent Journal of Management & Production*. 2019. URL: doi: 10. 1242. 10.14807/ijmp.v10i4.972.

## REFERENCES

1. Aleksanin A.V. *Avtomatizatsiya upravleniya otkhodami stroitel'nogo proizvodstva* [Automation of construction production waste management]. *Promyshlennoye i grazhdanskoyestroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2014, no. 10, pp. 79–81. (in Russian).
2. Arutyunyan I.A. and Shuvayev A.A. *Ekonomichna dotsilnist kompleksnoho upravlinnya potokamy vidkhodiv v budivelnnyhaluzi* [Environmentally-economic feasibility of integrated management wasteflows in the construction industry]. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennya, praktyka* [Bridges and tunnels: theory, research, practice]. 2020, no.18, pp. 9–17. (in Ukrainian).
3. Lyalyuk O.H., Ratushnyak O.H. and Lyalyuk A.O. *Ekolohichnyy menedzhment vidkhodiv budivelnnoho vyrobnytstva* [Ecological management of construction waste]. *Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruksiyi v budivnytstvi* [Modern technologies, materials and structures in construction]. 2017, vol. 22, no. 1, pp 94–100. (in Ukrainian).
4. Molchak Ya.O., Androshchuk I.V. and Dubynchuk L.I. *Tendentsiy I povodzhennya z vidkhodamy vyrobnytstva i spozhyvannya yak pryklad okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha mista Lutska* [Trends in production and consumption waste management as an example of environmental protection in Lutsk]. *Problemy ratsionalnoho vykorystannya sotsialno-ekonomichnoho ta pryrodno-resursnoho potentsialu rehionu: finansova polityka ta investytsiyi* [Problems of rational use of socio-economic and natural resource potential of the region: financial policy and investments]. 2013, no 4, pp. 272–284. (in Ukrainian).
5. *Rozporyadzhennya Kabinetu ministriv Ukrayiny 2017 r. № 820-r. «Pro skhvalennya Natsionalnoyi stratehiyi upravlinnya vidkhodamy v Ukrayini do 2030 roku»* [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Valid from 8. 11. 17 no. 820-r. "On approval of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030"]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> (access date : 20.03.2021). (in Ukrainian).
6. Uvarov P.Ye., Tatarchenko H.O. and Shparber M.Ye. *Suchasni problem retsyklinhu vtorynnykh budivelnnykh resursiv* [Modern problems of recycling of secondary construction resources]. *Naukovi visti Dalivskoho universytetu* [Scientific news of Daliv University]. 2019, no. 16, pp. 29–37. (in Ukrainian).

7. Tskhovrebov E.S. and Sadov A.V. *Puti resheniya problem obrashcheniya s otkhodami na urovne regiona* [Ways of solving the problem of waste management at the regional level]. *Vestnik RAYEN* [RANS Bulletin]. 2011, no. 11 (5), pp. 29–31. (in Russian).

8. Shevchenko T.Yu., Barna M. Yu. and Nazarenko O.Yu. *Recikling budivel'nih vidhodiv* [Construction waste recycling]. *Visnik Prydniprov's'koï derzhavnoi akademii budivnictva ta arhitekturi* [Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2011, no. 9 (162), pp. 8–11. (in Ukrainian).

9. Shilova N.N. *Teoriya i metodologiya formirovaniya sistemy regional'nogo ispol'zovaniya promyshlennykh otkhodov na predpriyatiyakh regional'nogo stroitel'nogo kompleksa : avtoref. dis. . d-ra ekonom. nauk :080005* [Theory and methodology of the formation of a system of regional use of industrial waste at the enterprises of the regional construction complex : author. dis. .. Dr. Econom. Sc. : 080005]. Saint-Petersburg, 2007, 36 p. (in Russian).

10. Kumbhar S., Gupta A., and Desai D. Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*. 2013, vol. 6 (7), pp. 83–92.

11. Puskás A., Corbu, O., Szilágyi H. and Moga L.M. Construction waste disposal practices : the recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2014, vol. 191, pp. 1313–1321.

12. Serpa Nilo Alves, Gisele Dayrell and Mariana Santoro Aline. Recycled concrete artifacts : towards sustainability of civil construction. *Independent Journal of Management & Production*. 2019. URL: doi: 10. 1242. 10.14807/ijmp.v10i4.972.

Надійшла до редакції: 21.03.2021.