

УДК: 504.064.4:658.567.3

А. Б. Трофимчук

Житомирський національний агроекологічний університет

**ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЗРОСТАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ  
ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ КАМЕНЕОБРОБНИМИ  
ПІДПРИЄМСТВАМИ**

*Встановлено, що інтенсивний видобуток граніту у Житомирській області є однією з проблем техногенного перевантаження навколишнього середовища регіону. Зокрема, у деяких каменеобробних підприємствах Житомирської області спостерігається використання екобезпечних інновацій у безвідходне виробництво. Подолати виявлені негативні тенденції можна на основі розробки та послідовної реалізації стратегії активізації екобезпечних інновацій в регіоні як засобу підвищення ефективності використання вторинних ресурсів.*

*Обґрунтовано, що трансформація наукових знань щодо технології вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами стає одним із вирішальних факторів їх еколого-економічного розвитку. Використання каменеобробними підприємствами оптимізаційної моделі надасть можливість зменшити надходження відходів у навколишнє середовище, збільшити річний прибуток та завантаженість обладнання, забезпечити зайнятість працюючих, тобто підвищити еколого-економічну ефективність каменеобробних підприємств загалом.*

**Ключові слова:** еколого-економічна ефективність, оптимізаційна задача, каменеобробні підприємства, прибуток, логістична система.

**Постановка проблеми**

Сучасний етап розвитку технологій, які використовують у процесі діяльності каменеобробних підприємств, поки що не дають можливості уникнути екологічного навантаження на навколишнє середовище, оскільки під час виготовлення готової продукції утворюються великі обсяги відходів, більшість яких накопичується у вигляді шламів, околів та пилу. Відходи каменеобробними підприємствами часто вивозяться на звалища, які несанкціоновані і непристосовані, і залишаються там, займаючи все більшу і більшу площу земель. Під час Саміту Землі в Ріо-де-Жанейро незалежна Україна задекларувала наміри брати активну участь у глобальній екологічній політиці та розробленні стратегії збалансованого розвитку, реалізуючи настанови визначальних міжнародних документів на національному рівні. Отже, назріла гостра потреба реальних дій щодо комплексної переробки відходів каменеобробних підприємств з отриманням вторинного продукту. Варто зазначити, що застосування каменеобробними підприємствами сучасних методів переробки відходів стануть на захист природи й природних ресурсів, поліпшення якості життя людей, відновлення втраченої гармонії між людиною і природою.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теоретичні та науково-методичні аспекти, пов'язані з проблемами зростання еколого-економічної ефективності функціонування промислових підприємств, розглянуті у працях вітчизняних та зарубіжних вчених. Так, Міщенко В. С., Виговська Г. П., Маковецька Ю. М. розробили теоретико-методологічне підґрунтя та безпекові фактори вирішення проблеми відходів у промислових, зокрема каменеобробних, підприємствах [1, с. 69]. Омеляненко Т. Л. досліджено основні тенденції у генеруванні відходів в Україні і визначено засади формування фінансової стратегії сталого управління відходами в усіх галузях [2, с. 16]. Costanza R. обґрунтував інституціональний розвиток сфери поводження з відходами у промисловості [3, с. 9]. Незважаючи на глибокі наукові дослідження, окремі питання у сфері зростання еколого-економічної ефективності каменеобробних підприємств на основі вторинного використання відходів ще недостатньо розроблені та обумовлюють необхідність обґрунтування науково-методичних підходів й практичних рекомендацій.

### Мета, об'єкт та методика дослідження

Метою дослідження є оптимізація вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами щодо зростання їх еколого-економічної ефективності функціонування. Завданнями даного дослідження є: обґрунтування напрямів мінімізації надходження відходів у зовнішнє середовище на основі їх вторинного використання та зростання прибутковості каменеобробних підприємств; визначення головних напрямів системи ефективного використання відходів каменеобробними підприємствами. Об'єкт дослідження – процес реалізації оптимізаційної задачі вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами.

У процесі дослідження використано такі методи: абстрактно-логічний – для здійснення критичного аналізу результатів досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених стосовно формування механізму поводження з відходами каменеобробними підприємствами, статистико-економічний – для опрацювання статистичних та емпіричних даних, графічний – для ілюстрації результатів дослідження явищ і процесів. При здійсненні прогнозних розрахунків подальшого підвищення еколого-економічної ефективності каменеобробних підприємств використано оптимізаційну модель, що дозволило розрахувати мінімум надходження відходів у навколишнє середовище та максимізувати прибуток.

### Результати досліджень

Екологічні наслідки забруднення природного середовища перетворилися на одну з глобальних проблем сучасності, особливо для техногенно перевантажених регіонів України, до яких належить Житомирська область. Інтенсивний

видобуток граніту і його обробка більше як у 200 підприємствах призвели до швидких темпів навантажень на природне середовище, що, безперечно, значно вплинуло на природні умови життя людей та їхнє здоров'я.

За виробничою потужністю всі каменеобробні підприємства Житомирської області діляться на три класи: I клас – виробництво продукції з міцного каменю сягає від 15 до 25 тис. м<sup>2</sup>/рік, із середньої міцності – до 16 тис. м<sup>2</sup>/рік; II клас – виробництво продукції з міцного каменю сягає від 10 до 14 тис. м<sup>2</sup>/рік, із середньої міцності – від 5 до 10 тис. м<sup>2</sup>/рік; III клас – виробництво продукції з міцного каменю сягає до 9 тис. м<sup>2</sup>/рік, з середньої міцності – 5 тис. м<sup>2</sup>/рік [4; с. 143]. Підприємства, які відносяться до I класу, оснащені імпортними лініями, можуть та виробляють свою продукцію на рівні стандартів якості, дотримуючись ТУ свого технологічного обладнання. Визначальною характеристикою другої та третьої груп каменеобробних підприємств є як обсяги випуску готової продукції, так і спроможність отримувати мірні плити площею понад 1,5 м<sup>2</sup>, що мають найбільший попит. Інколи у виробництві для отримання цієї групи товарів застосовується штрипсова (з основним абразивним компонентом) та канатна технології, а також використовують мало- та середньорозмірні (діаметром від 80 см) дискові алмазні пили.

Екологічна ситуація, яка склалася, зокрема у каменедобувній і обробній галузях, викликає занепокоєння, оскільки масштабне використання мінеральних ресурсів призвело до екологічного розбалансування, що зумовлює появу деструктивних процесів у довкіллі й становить реальну загрозу для населення. Сучасний етап розвитку науково-технологічного прогресу характеризується все більш активним впливом фундаментальних досліджень на технологію виробництва у каменеобробних підприємствах. Трансформація наукових знань щодо технології вторинного використання відходів підприємствами стає одним із вирішальних факторів їх еколого-економічного розвитку. Використання каменеобробними підприємствами нових технологічних рішень і удосконалення існуючих технологій сприяє оптимальному використанню ресурсів, підвищує їх віддачу, зменшує витрати ресурсів та утворення відходів, забезпечує більш раціональне їх використання в галузі.

Науково-технологічний прогрес значно реалізується у все більш динамічному розвитку вторинного ресурсокористування. У сучасному світі чим більш розвинутою є країна, тим вища в ній частка вторинних джерел в загальному ресурсоспоживанні. Аналіз світового досвіду комплексної переробки сировини, рекуперації відходів свідчить про закономірність ресурсозберігаючих тенденцій інтенсивного природокористування. Їх науковою основою є ідеї технологічно замкнутого колообігу використання природної сировини і становлення на цій основі безвідходних територіально-виробничих комплексів [1; с. 36].

У розвинутих країнах світу, зокрема у США, із вторинної сировини отримують від 20 до 40 % всього виробництва алюмінію, заліза, свинцю, цинку, міді тощо. Маються на увазі, насамперед, ресурси у вигляді лому цих металів. Але рециклінг стосується і гуми, і пластмас, і мастильних матеріалів, і багатьох інших. Певного досвіду використання вторинних ресурсів набуто і в Україні. Введення у 1981 р. загальнодержавного планування використання вторинних ресурсів сприяло збільшенню обсягів залучення їх до виробництва [5; с. 71].

У мінерально-сировинному комплексі, при визначенні можливостей матеріально-технічного забезпечення приросту виробництва промислової продукції, слід враховувати наявність великих обсягів вторинних ресурсів і можливості їх переробки. За розрахунками, вторинне ресурсокористування каменеобробними підприємствами в Україні в кінці 80-х років складало 8-9 % загального ресурсокористування [1; с. 46]. Однак, протягом 90-х років, спостерігалася тенденція до спаду обсягів їх використання, які зменшилися в 3 рази. Посилення державного регулювання наприкінці 90-х років сприяло зміні негативних тенденцій щодо використання відходів. Починаючи з 2000 до 2014 рр., частина каменеобробних підприємств стала збільшувати відносні і абсолютні показники використання відходів як вторинної сировини. До них відносяться підприємства, оснащені імпортними лініями, які мають можливість здійснення процесу рециклювання. Процес рециклювання, зміст якого полягає в отриманні готової продукції із вторинної сировини, є дуже складним. Повторне використання утилізованих матеріалів потребує особливого переналаштування параметрів технологічного процесу через те, що вторинний матеріал може змінювати свої фізичні і хімічні властивості, а також може містити інші включення. У деяких випадках до готової продукції пред'являються особливі механічні вимоги, яких просто неможливо дотриматися при використанні вторинної сировини. Тому для використання вторинної сировини необхідно досягти балансу між заданими властивостями кінцевого продукту і середніми характеристиками вторинного матеріалу.

Світовий та вітчизняний досвід визначає ряд безумовних пріоритетів вторинного ресурсокористування у каменеобробних підприємствах. Це пов'язано, перш за все, з високою ефективністю використання залишкових продуктів кінцевого споживання. Найбільш перспективними є вже створені чи розроблювані технології із використання відходів як домішок у сировинні суміші для виробництва різних будівельних матеріалів і конструкцій, а також розробки, пов'язані з повною чи частковою заміною природної сировини у виробництві цементу, керамічної і силікатної цегли, бетонів, пористих заповнювачів та інших матеріалів. Розширення ресурсних можливостей каменеобробних підприємств, за рахунок вторинного використання відходів, має виходити з визначення їх ресурсної цінності і технологічних можливостей їх залучення у виробництво, обґрунтування напрямів та шляхів найбільш ефективного використання відходів,

створення на основі ресурсно-технологічних передумов територіально-виробничих комплексів або кластерів із замкненими ресурсними циклами.

Незначний обсяг використання відходів, пов'язаний із нерівномірністю завантаження технологічного обладнання каменеобробних підприємств, вказує на витратомісткість виробництва продукції із відходів. Це зумовлює пошук шляхів оптимізації структури виробництва. Задачу оптимізації що вторинного використання відходів у каменеобробних підприємствах формалізуємо у вигляді задач лінійного програмування. Цільовою функцією є мінімум надходження відходів у навколишнє середовище та максимум виготовлення продукції за умови повного (раціонального) їх використання каменеобробними підприємствами.

Застосування задачі оптимізації вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами не є доцільним, а саме: модель оптимізації не враховує динаміку як пропозиції ринку сировини, так і попиту; обмеження не дають змоги брати до уваги сезонне коливання цін на готову продукцію і розрахувати оптимальну структуру виробництва на будь-який період; з допомогою моделі не можна знайти рішення, що забезпечує рівномірне завантаження технологічного обладнання. Для усунення вказаних недоліків запропоновано так модифікувати оптимізаційну модель вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами: врахування динаміки прогнозованого попиту на вторинну продукцію каменеобробних підприємств, сезонних коливань цін на відходи та вторинну продукцію, зменшення сезонних обмежень на відходи з одночасним урахуванням додаткових витрат на тривале зберігання відповідних видів сировини.

Мета економіко-математичної задачі полягає у визначенні кількості вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами щодо зростання їх прибутковості.

1) мінімізація надходження відходів у навколишнє середовище, цільова функція, за яким має такий вигляд:

$$\min \sum_{r \in R} x_r .$$

2) максимум прибутковості, який находимо за виразом функції:

$$\max \left( \sum_{j \in T} c_j x_j - \sum_{l \in RYGS} d_l x_l \right)$$

За цих умов економіко-математична модель матиме вигляд. Цільова функція:

$$\sum_{i=1}^N c_i(t_1, t_2) \cdot x_i(t_1, t_2) - \left( \sum_{i=1}^N a_i(t_1, t_2) \cdot x_i(t_1, t_2) + p(t_1, t_2) \right)$$

$$\xrightarrow{x_i(t_1, t_2), i=1, \dots, N} \min .$$

1) умови, що відображають норми витрат сировини та обмеження на її постачання і запаси:

$$\sum_{i=1}^N k_{ij} \cdot x_i(t_1, t_2) \leq b_j(t_1, t_2) \quad j = 1, \dots, m ;$$

2) умови, що задають обмеження на виробничі потужності:

$$x_i(t_1, t_2) \leq W_{il} \cdot T_l(t_1, t_2), \quad i = 1, \dots, m ;$$

3) умови, що задають межу споживання виробленої продукції:

$$x_i(t_1, t_2) \geq x_i^-(t_1, t_2), \quad i = 1, \dots, m$$

де  $c_i(t_1, t_2)$  – ціна реалізації  $i$ -го виду продукції за період  $(t_1; t_2)$ ;  $x_i(t_1, t_2)$  – обсяг виробленої продукції  $i$ -го виду за період  $(t_1; t_2)$ ;  $a_i(t_1, t_2)$  – змінні витрати на виробництво одиниці продукції  $i$ -го виду, зараховані до періоду  $(t_1; t_2)$ ;  $p(t_1, t_2)$  – постійні витрати підприємства, зараховані до періоду  $(t_1; t_2)$ ;  $k_{ij}$  – норми витрат  $j$ -го виду на виробництво продукції  $i$ -го виду;  $b_j(t_1, t_2)$  – максимально можливі запаси сировинних ресурсів  $j$ -го виду;  $W_{il}$  – продуктивність обладнання  $l$ -го виду при виробництві продукції  $i$ -го виду;  $T_l(t_1, t_2)$  – кількість годин експлуатації обладнання  $l$ -го виду протягом періоду  $(t_1; t_2)$ ;  $x_i^-(t_1, t_2)$  – попит на продукцію  $i$ -го виду за період  $(t_1; t_2)$ .

Результати моделювання доцільно відобразити у вигляді часової залежності витрат і прибутку та його інтегрованого протягом року у вигляді формул:

$$\text{Pr}(t) = \sum_{i=1}^N c_i(t) \cdot x_i(t) - \left( \sum_{i=1}^N a_i(t) \cdot x_i(t) + p(t) \right) ;$$

$$\text{Pr} = \int_{t_0}^{t_k} \left[ \sum_{i=1}^N c_i(t) \cdot x_i(t) - \left( \sum_{i=1}^N a_i(t) \cdot x_i(t) + p(t) \right) \right] dt$$

Використання цієї моделі дасть змогу отримати значно більший загальний річний прибуток, збільшити завантаженість обладнання, забезпечити зайнятість працюючих, тобто підвищити еколого-економічну ефективність камінеобробних підприємств загалом (табл. 1).

Таблиця 1. Прогноз утворення виробничих відходів та прибутковості каменеобробними підприємствами Житомирської області

Показники	Фактично за 2010–2014 рр.	Прогноз до 2020 р.	Прогнозні показники до фактичних	
			+, -	у %
Кількість обробленого каменю, тис. т/м <sup>3</sup>	228,2	260,0	31,8	113,9
Шлам та окіл (код згідно з ДК-005-96: 2670.3.1.01), тис. т/м <sup>2</sup>	11,3	8,6	-2,7	76,1
Пил від процесів оброблення каменю (код згідно з ДК-005-96: 2670.2.9.03), тис. т/м <sup>3</sup>	4,6	3,7	-0,9	80,4
Рентабельність, %	14,2	16,4	2,2	-

Джерело: власні дослідження.

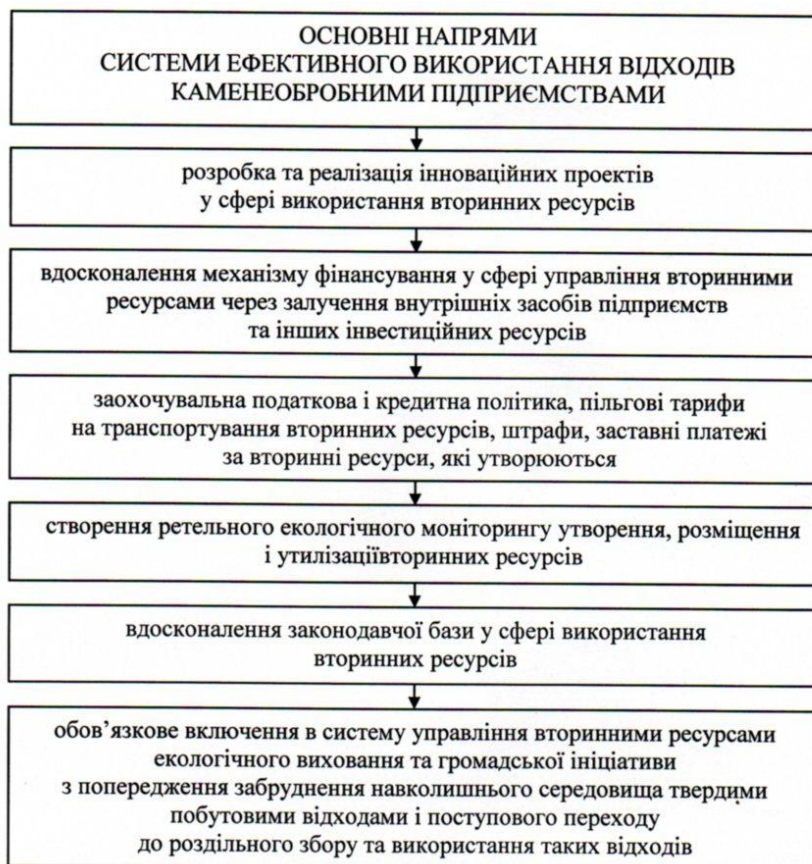
За результатами оптимізації щодо вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами, до 2020 р. зменшиться кількість відходів у вигляді шламів і околів на 2,7 тис. т/м<sup>2</sup>, пилу від процесів оброблення каменю – на 0,9, тис. т/м<sup>3</sup>, та зростання кількості обробленого каменю на 31,8 тис. т/м<sup>3</sup>. Таким чином, екологічне навантаження на зовнішнє середовище зменшиться, а економічна ефективність зросте на 2,2 %.

Розвиток виробництва і зростання масштабів господарської діяльності каменеобробних підприємств, у ході діяльності яких використовується дедалі більша кількість природних ресурсів, зумовлюється тотальним посиленням антропогенного тиску на довкілля та порушення рівноваги в навколишньому природному середовищі. А це, у свою чергу, призводить до загострення соціально-економічних проблем. Одночасно з вичерпанням запасів невідновлюваних сировинних та енергетичних ресурсів посилюється забруднення довкілля, особливо водних ресурсів та атмосферного повітря, зменшуються площі лісів і родючих земель, зникають деякі види рослин, тварин. Все це, зрештою, підриває природно-ресурсний потенціал суспільного виробництва і негативно позначається на здоров'ї людей. Саме це визначає необхідність розроблення нової еколого-економічної концепції, розвиток і реалізація якої на практиці законодавчими і виконавчими структурами буде сприяти «екологізації» мислення і перегляду багатьох стереотипів у процесах прийняття еколого-орієнтованих рішень.

Основні напрями формування ефективної системи вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами наведена на рис. 1.

Важливим напрямом забезпечення еколого-економічного розвитку каменеобробних підприємств є формування ефективної системи вторинного використання відходів, усі елементи якої повинні бути пов'язані між собою та передбачати створення системи державного моніторингу і державної

інформаційно-аналітичної системи, комплексне програмування, здійснення державної екологічної експертизи.



*Рис. 1. Основні напрями системи ефективного використання відходів каменеобробними підприємствами*

Джерело: власні дослідження.

Соціально-економічний розвиток має ґрунтуватися на принципах урахування можливостей природних комплексів та витримувати антропогенні навантаження і забезпечувати нормальне функціонування біосфери і локальних екосистем. Від цього найбільше залежать їх корисна продуктивність, якість і комфортність життєвого середовища, екологічне та економічне благополуччя населення регіону.



### Висновки

Функціонування каменеобробних підприємств, діяльність яких ґрунтується на використанні відходів як вторинної сировини, засвідчує про зростання їх еколого-економічної ефективності. Результати оптимізації вторинного використання відходів каменеобробними підприємствами Житомирської області доводять, що до 2020 р. зменшиться кількість відходів у вигляді шламів і околів на 23,9 %, та економічна ефективність зросте на 2,2 %.

Проте, у каменеобробних підприємствах Житомирської області спостерігається незначне використання екобезпечних інновацій у безвідходне виробництво та нерозвиненість ринку вторинних ресурсів у регіоні. Подолати виявлені негативні тенденції можна на основі розробки та послідовної реалізації стратегії активізації екобезпечних інновацій в регіоні як засобу підвищення ефективності використання вторинних ресурсів. Фінансове забезпечення проектів впровадження екобезпечних інновацій у сфері використання вторинних ресурсів може здійснюватися за рахунок таких джерел, як бюджетне фінансування, субсидії, екологічні фонди, кредити, іноземні інвестиції, цільові гранти, власні засоби підприємств, добровільні внески.

### Перспективами подальших досліджень

Перспективним напрямом подальших досліджень є обґрунтування регіональної логістичної системи управління потоками вторинних ресурсів. Це дозволить здійснити широкомасштабне використання вторинних ресурсів каменеобробними підприємствами й сприятиме досягненню соціально-економічної та екологічної ефективності.

### Література

---

1. Міщенко В. С. Удосконалення системи управління відходами в Україні в контексті європейського досвіду : [монографія] / [В. С. Міщенко, Г. П. Виговська, Ю. М. Маковецька, Т. Л. Омеляненко]. – К. : Ладуриг. Поліграф. – 2012. – 120 с.
  2. Омеляненко Т. Л. Удосконалення організаційно-економічного механізму поводження з відходами в Україні: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. екон. наук : 08.00.06 / Т. Л. Омеляненко – К. : 2013. – 20 с.
  3. Про Національний план дій на 2020 рік щодо впровадження Програми економічних реформ – Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава (Указ Президента України № 187/2012 від 12 березня 2012 року) // Урядовий Кур'єр. – 2012. – 120 с.
  4. Costanza R. Ecological economic: Creating Sustainable and Desirable Future // The John Pesek Colloquium on Sustainable Agriculture. – Iowa : Iowa State University, 2008. – 22 p.
  5. Global Environmental Outlook: Environment for Development. – CEO-4. – UNEP. – 2007. – 540 с.
-