

# ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

УДК 330.332:519.86

## ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИЛУЧЕННЯ КОРИСНИХ КОМПОНЕНТІВ З ПОРІД ТЕРИКОНІВ

*О. Г. Вагонова, д. е. н, професор, vagonova@ntu.org.ua,*

*Ю. О. Волотковська, асистент, volotkov@ukr.net*

*ДВНЗ «Національний гірничий університет»*

На основі аналізу науково-методичних підходів до оцінки інвестиційної привабливості проектів, спрямованих на використання відходів гірничодобувної промисловості запропоновано економіко-математичну модель, яка дозволяє визначити оптимальний обсяг вилучення корисних домішок з порід терикону при визначеному обсязі інвестування та максимальному прибутку. За допомогою побудованої схеми узгодженості цілей держави та потенційних інвесторів розроблена процедура державної підтримки інвестиційних проектів з видобутку корисних копалин у випадку їх низької інвестиційної привабливості.

**Ключові слова:** економіко-математичне моделювання, обсяг капіталовкладень, прибуток, утилізація терикону, компроміс цілей, державна підтримка суб'єкта інвестування.

**Постановка проблеми.** Одним з найбільших джерел утворення відходів у народному господарстві традиційно є гірничодобувні галузі. При цьому, із зростанням видобутку корисних копалин збільшується обсяг утворення різних відходів виробництва і споживання.

Відповідно до Закону України «Про особливості приватизації вугледобувних підприємств» [1] та Постанови Кабінету Міністрів «Про проведення прозорої та конкурентної приватизації» [2] та з метою недопущення банкрутства вугледобувних підприємств и збереження сировинної бази енергетичного комплексу всі збиткові вугледобувні підприємства повинні бути приватизовані шляхом продажу на аукціоні або на інвестиційному конкурсі. При цьому треба враховувати, що утримання вугільних териконів на сучасному етапі збиткове не тільки для вугледобувних підприємств, на балансі яких вони знаходяться, але і для держави. А у випадку закриття шахт або їх приватизації приватний інвестор не має майбутньої вигоди до їх утримання. З часом витрати на утримання териконів тільки збільшуються через зростання екологічних проблем.

На сучасний час актуальними є питання, пов'язані з оцінкою інвестиційної

привабливості вугільних териконів як техногенних родовищ з аналізом вмісту корисних домішок з метою обґрунтування майбутнього напрямку капіталовкладення.

Зокрема, не розроблена методика економічної оцінки вартості вугільних териконів, яка б враховувала спільно економічну та екологічну складові, а також сприяла обґрунтуванню та реалізації екологічно орієнтованих інвестиційних рішень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженнями науково-методичних підходів до оцінки інвестиційної привабливості проектів, спрямованих на використання відходів гірничодобувної промисловості, займалися багато науковців.

Так, Пугин К. Г. у своїй роботі запропонував механізм екологічно-економічної оцінки варіантів використання твердих відходів чорної металургії, проте при використанні цього механізму не враховуються більшість цілей держави, крім екологічного чинника [3].

На думку Попова С. М., оцінку шахтних відвалів слід робити шляхом вибору найбільш ефективних варіантів використання вуглепромислових відходів на основі запропонованого їм механізму, який дозволяє приймати своєчасні та обґрунтовані рішення щодо вимог

раціонального природокористування і поліпшення стану природного середовища при створенні потрібних споживчих вартостей з вторинних ресурсів [4].

Харченко В. В. у своїх роботах запропонував економіко-математичну модель, що дозволяє оцінювати варіанти технологічних способів розробки вугільних відходів [5]. За цільову функцію моделі прийнята умова максимізації відносини сумарної величини доходів від реалізації створюваної з відходів продукції до виробничо-екологічних витрат. Проте запропонована їм модель має ряд обмежень. Вони діють в умовах:

- достатності коштів на здійснення кожного варіанту застосування способів розробки відходів;
- відповідності планів виробничої діяльності обсягу наявних у териконах запасів відходів;
- не перевищення сумарної величини доходів, які можуть бути отримані при розробці вуглевмісних відходів, ємності ринків;
- дотримання екологічних нормативів при створенні відходів видобутку.

Зазначена модель не дозволяє узгодити цілі держави та підприємства-інвестора, що виникають в процесі оцінки привабливості проекту розробки терикону як техногенного родовища..

Стоянова І. А. розробила економіко-математичну модель з цільовою функцією максимізації ефективності відносини відверненого соціально-екологічно-економічного збитку до витрат на збереження та відновлення довкілля в районах масового закриття вугільних шахт [6]. Ця модель дозволяє обґрунтувати необхідне рішення, що включає поетапну послідовність дій за комплексною оцінкою екологічної ситуації, визначенню загального відверненого збитку, формуванню та вибору на основі розробленої економіко-математичної моделі системи заходів щодо збереження та відновлення довкілля з урахуванням обмежень економічного та екологічного характеру. Проте ця модель не враховує можливості остаточної ліквідації джерел забруднення довкілля, а розглядає тільки шляхи зниження їхнього негативного впливу. При знищенні джерела негативного впливу на довкілля суб'єкт господарювання може також отримати позитивний фінансо-

вий результат від своєї основної діяльності – видобутку корисних копалин з порід терикону.

На основі всього вище викладеного та з урахуванням специфіки українського законодавства в питаннях надання дозволів на видобуток корисних копалин автором запропоновано оцінювати доцільність інвестицій у проекти утилізації вугільних териконів, як родовищ корисних копалин з метою надання спецдозволу на їх видобуток, з урахуванням всіх трьох складових (економічної, екологічної та соціальної). Це дозволить оцінити раціональне використання усіх видів фінансових, природних та трудових ресурсів.

**Формулювання мети статті.** Метою даної статті є розробка економіко-математичної моделі, яка дозволить визначити вид та оптимальний обсяг видобутку корисних копалин з порід териконів при максимальному прибутку, що дозволить обґрунтувати інвестиційну привабливість проекту з урахуванням специфіки вугледобувного регіону.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У сучасних умовах актуальною є задача вибору найбільш привабливих напрямів інвестицій у вилучення корисних компонентів з порід вугільних териконів. Для розв'язання цієї задачі необхідно визначити елементи, що нададуть максимального прибутку при заданому обсягу капітальних вкладень. З цією метою доцільно використовувати методи функціонально лінійного програмування.

У результаті виконаного аналізу елементного складу порід вугільних териконів шахт ДП «Львіввугілля» (рис.1) можна зробити висновок, що промисловий інтерес представляють тільки елементи, що перевищують кларки елементів, представлені на рис.2.

При цьому пріоритетність їх вилучення підприємство-інвестор вибирає самостійно залежно від бюджету інвестування і своїх інтересів. Доцільність вилучення всіх корисних компонентів з гірських порід териконів пов'язана з низкою певних умов:

- 1) наявністю у інвестора технології такого вилучення;
- 2) максимального розміру бюджету

капітальних інвестицій на реалізацію обраного проекту. При цьому деякі інвестиційні проекти в розглянутих напрямках дають можливість поєднувати початкові інвестиції по вилученню одночасно декількох корисних компонентів. Так, одночасно можливо вести видобування елементів Ga та V.

3) мінімального обсягу бюджету інвестицій, необхідного для початку реалізації

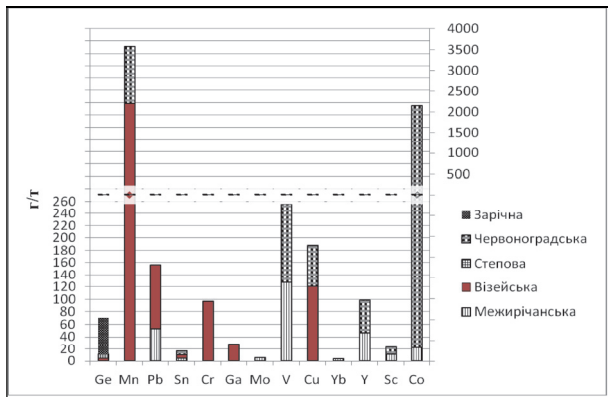


Рис. 1. Вміст хімічних елементів у породах териконів вугільних шахт ДП «Львіввугілля»

Для оцінки варіантів використання вуглепромислових відходів автором розроблена економіко-математична модель, в якості цільової функції якої прийнято умова максимізації сумарної приведенної в часі величини чистих доходів від реалізації видобутих з порід териконів і-тих видів компонен-

будь якого проекту експлуатації терикону як техногенного родовища (будівництво необхідної інфраструктури, придбання транспорту та ін.). Так для початку видобутку різнофракційного щебеню з терикону шахти Степова ДП «Львіввугілля» необхідно 22 млн. грн. із розрахунку на 5 років (термін дії будь-кого дозволу на видобуток, наданого до наступною оцінки вартості терикону).

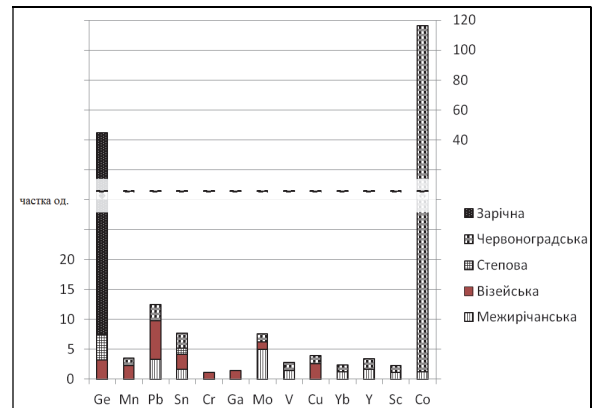


Рис. 2. Хімічні елементи в гірських породах, вміст яких перевищує кларкове число

тів.

Ця модель дозволить зробити вибір найбільш привабливого інвестиційного портфеля з видобутку корисних компонентів, які перевищують кларкове число з гірських порід терикону, що має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} F(x) = \sum_{t=1}^5 \sum_{i=1}^n [\beta_i x_i (1 + E_t)^{-t} - (K_i - K_{\min}) \cdot X] + K_{\min} \rightarrow \max \\ n = \overline{(1;13)} \\ 0 \leq \sum_{i=1}^n Q_i \leq Q \\ x_i \leq Q_i \\ 0 \leq \sum_{i=1}^n K_i \leq K_{\max} \\ 0 \leq K_{\min} \end{array} \right. , \quad (1)$$

де  $F(x)$  – величина доходу, який може бути отриманий при реалізації продукції, створюваної з вуглепромислових відходів, грн.;

$\beta_i$  – валовий прибуток від продажу видобутої з відходів і-тої корисної копалини,

грн./т;

$x_i$  – обсяг видобування і-тої корисної копалини з терикону, т;

$K_i$  – капітальні інвестиції, необхідні для реалізації і-го проекту видобування корисного компоненту, грн.;

$K_{\max}$  – максимальний бюджет інвестиції, грн.;

$K_{\min}$  – мінімальний обсяг інвестицій, необхідний для початку реалізації будь якого проекту експлуатації терикону як техногенного родовища (будівництво необхідної інфраструктури, придбання транспорту та ін.), грн.;

$n$  – кількість корисних компонентів, що перевищують кларкове число. Для териконів ДП «Львіввугілля» сумарна кількість таких компонентів не перевищує 13 найменувань;

$Q_i$  – максимально можливий обсяг і того компонента (корисної копалини) у гірської породі терикону, т;

$Q$  – сумарний обсяг породи у териконі, т.

$X$  – булева змінна, яка характеризує сумісність і-х видів напрямків використання відходів (приймає значення 0 або 1).

В якості умов досягнення максимізації сумарної наведеної в часі величини доходів в роботі прийняті наступні обмеження:

– умова сумісності окремих інвестиційних проектів з вилучення корисних копалин. Значення булевої змінної  $X$  приймає

наступні значення: «1» при несумісності і-го інвестиційного проекту з вилучення корисної домішки використання відходів з іншими напрямками та «0» – якщо при реалізації одного інвестиційного проекту можливо вилучати паралельно два та більше виду корисних копалин, при цьому сума капітальних інвестицій не змінюється;

– умова не перевищення запланованого бюджету капітальних інвестицій:

$$0 \leq \sum_{i=1}^n K_i \leq K_{\max}; \quad (2)$$

– умова не перевищення в розглянутому накопиченні відходів обсягу наявних ресурсів, необхідних для створення і-тих видів продукції:

$$x_i \leq Q_i \quad (3)$$

Базуючись на запропонованій моделі оптимізації, потрібно скласти такий портфель проектів, що забезпечить максимальну прибутковість для приватних інвесторів.

Побудована математична модель розрахована для 5 териконів ДП «Львіввугілля» Результати максимізації запропонованої моделі для умовних максимальних бюджетів інвестицій у розмірі 100 та 200 млн. грн. на 1 терикон наведені у табл.1.

Таблиця 1

Результати максимізації запропонованої функції для 5 шахт ДП «Львіввугілля»

Показники	Візейська	Червоноградська	Зарічна	Степова	Межирічанська
$K_{\max} = 100$ млн. грн.					
Від домішки, що вилучається	Ge, Ga	Sc	Ge	Ge	Sc, V
$x_i, \text{т}$	192,57	62,075	473,88	32,64	565,3
$K_i, \text{млн. грн.}$	41,0	63,0	25,0	25,0	79,0
$F(x), \text{млрд. грн.}$	0,864	3,8	14,19	0,964	2,745
$K_{\max} = 200$ млн. грн.					
Від вилучаємої домішки	Ge, Ga, Cu, Mn	Sc, Co, V	Ge	Ge	Sc, V
$x_i, \text{т}$	14247,2	6134,2	473,88	32,64	565,3
$K_i, \text{млн. грн.}$	167,0	171,0	25,0	25,0	79,0
$F(x), \text{млрд. грн.}$	0,986	4,734	14,19	0,964	2,745

Виходячи з результатів розрахунку цільової функції доцільним видобутком є:

– для терикону шахти Візейська – Ge, Ga з бюджетом інвестицій 41 млн. грн. або

Ge, Ga, Cu, Mn з бюджетом 167 млн. грн;

– для терикону шахти Червоноградська – Sc з бюджетом інвестицій 63 млн. грн. або Sc, Co, V з бюджетом 171 млн. грн.;

– для териконів шахт Зарічна та Степова – Ge з бюджетом інвестицій 25 млн. грн. Проте фінансовий результат буде відрізнятися в залежності від обсягу Ge в териконах. Причому збільшення капітальних інвестицій не доцільно, тому що вміст інших корисних елементів не перевищує кларкове число;

– для терикону шахти Межирічанська – Sc, V з бюджетом інвестицій 79 млн. грн., причому з ростом обсягу інвестицій інші корисні компоненти не доцільно видобувати.

Базуючись на отриманих результатах максимізації чистого доходу від видобутку та реалізації корисних домішок з порід терикону, слід зауважити, що при збільшенні обсягів інвестицій їх рентабельність зменшується.

Для грошових змінних побудованої моделі характерно те, що їх числові значення в ході процесу можуть змінюватися на деякій ділянці часу, а параметри вмісту корисних домішок постійні, але можуть бути іншими в аналогічних процесах або для інших териконів, тому побудована автором математична модель та її програмна реалізація дають змогу застосувати для дослідження доцільності реалізації інвестиційних проектів з видобутку корисних копалин з будь-якого терикону. При зміні технології вилучення окремих домішок, зменшення собівартості та обсягів первісних інвестицій модель дозволяє змінити вихідні данні.

Обсяг породи, що залишиться у відвалах, доцільно використовувати для виробництва щебеню.

При отриманні від'ємного значення запропонованої моделі можливо зробити висновок о недоцільності інвестицій у проекти видобутку корисних домішок з порід терикону.

Проте, як було зазначено вище, залишаються невирішеними екологічні, а з ними й соціальні проблеми вугледобувного регіону, тому актуальним питанням стає перелік умов та вимог для досягнення компромісу між цілями, які ставить для себе держава,

коли виставляє терикон на продаж як техногенне родовище корисних копалин, та цілями інвестора, який має бажання придбати цей терикон. Щоб держава надала інвестору дозвіл на експлуатацію вугільного терикону. Повинно досягти цього компромісу.

При прийнятті позитивного рішення про надання дозволу на утилізацію терикону як техногенне родовище держава, як правило, очікує реалізувати наступні цілі:

– знизити вплив терикону на навколишнє природне середовище шляхом його повної або часткової утилізації;

– одержати дохід від продажу дозволу приватному інвестору на експлуатацію терикону як техногенного родовища або від створення концесії на видобуток з нього корисних копалин;

– забезпечити життєдіяльність місцевої громади гірничопромислового регіону (наприклад, за допомогою отримання доходу від продажу землі або надання її в оренду);

– підвищити рівень зайнятості працездатного населення за рахунок створення нових робочих місць шляхом використання та подальшого розвитку основної та обслуговуючої інфраструктури гірничодобувного регіону;

– збільшити надходження від податків, зборів та інших обов'язкових платежів у бюджети різних рівнів за рахунок оподаткування суб'єкту інвестування, а також обслуговуючих його компаній;

– відтворити природний ландшафт на території відпрацьованих териконів, а також відновити його народногосподарський потенціал за первинним призначенням;

– зменшити фінансування цільових соціальних програм та бюджетних дотацій регіону, що перебуває в стагнації через закриття основного роботодавця-вугледобувного підприємства;

– поліпшити стан раціонального природокористування та заощадити природні ресурси;

– зменшити державні витрати на медичне обслуговування місцевого населення та ін.

При цьому інвестор при придбанні спецдозволу бажає реалізувати наступні цілі:

– одержати найбільший прибуток від утилізації гірських порід терикону, погоджуючись з певним ризиком реалізації інвестиційного проекту;

– диверсифікувати види виробничої діяльності з метою підвищення рівня надійності бізнесу;

– використати певні пільги або скидки, які надаються державою суб'єктам інвестування природоохоронної діяльності;

– скласти бренд підприємства з високим рівнем технології утилізації териконів вугільних шахт;

– отримати мінеральну сировину, природні запаси якої обмежені для виробництва окремих видів продукції, тощо.

В процесі розгляду цілей держава та інвестор повинні прийти до компромісу, механізм досягнення якого наведений на рис. 3. Протягом реалізації цього механізму його учасники можуть змінювати кількість та зміст своїх цілей, проте наприкінці держава

повинна ухвалити рішення про надання на відповідних умовах спецдозволу на видобування корисних копалин з порід вугільного терикону, а інвестор погоджуватиметься з цими умовами та приймає рішення про інвестування цього проекту.

Якщо компроміс не буде знайдено, держава, як основний учасник цього проекту та його ініціатор, повинна або переглянути свої цілі, або шукати іншого інвестора.

З наведеної схеми узгодженості цілей держави та інвестора можливо стверджувати, що з високими вимогами держави до вирішення екологічних та соціальних проблем, а також з урахуванням від'ємного значення запропонованої математичної моделі інвестиційна привабливість проектів утилізації териконів знижується. У зв'язку з цим для підвищення інвестиційної привабливості проектів з утилізації териконів державі слід передбачити механізм державної підтримки приватних інвесторів.

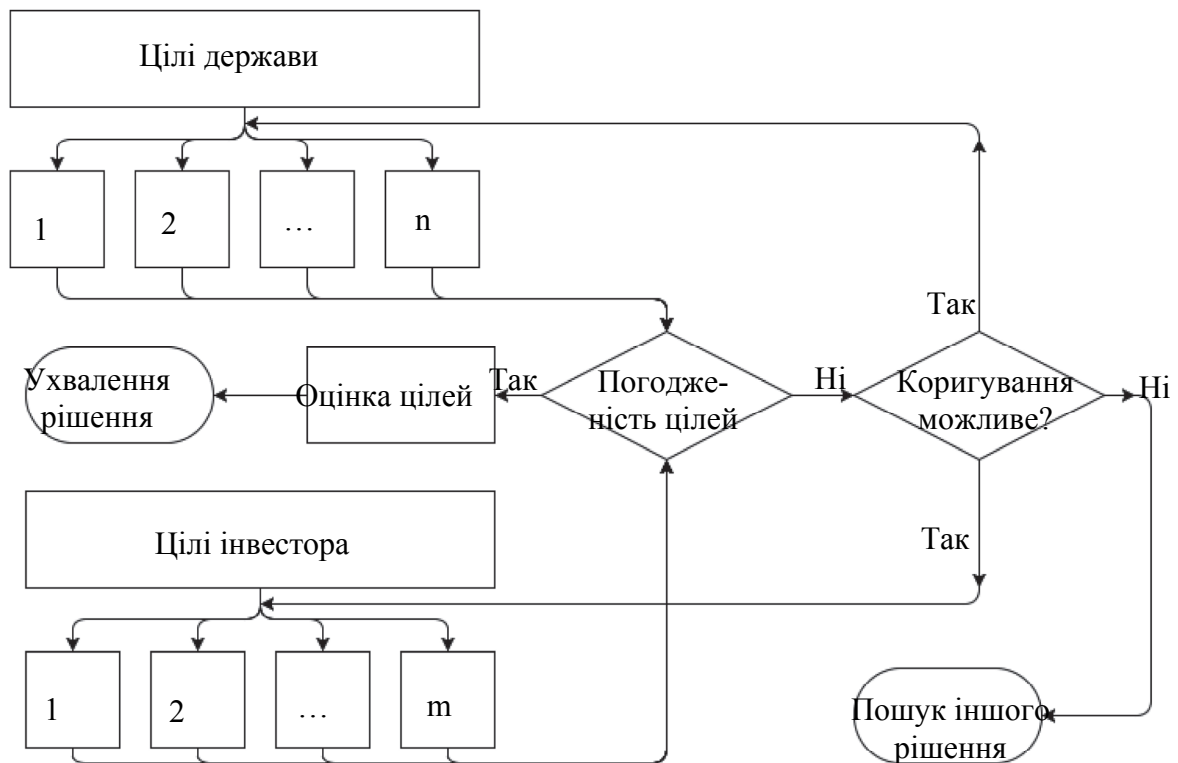


Рис.3. Схема погодження цілей держави та інвестора проекту утилізації терикону

Джерело: побудовано автором

На наш погляд, такий підхід дозволяє фінансовим посередникам та підприємствам-інвесторам розраховувати на повну

або часткову фінансову підтримку еколого-спрямованих інвестиційних проектів регіонального значення, або на компенсацію

коштів, витрачених приватними інвесторами на реалізацію еколого-безпечних інновацій протягом реалізації проекту з утилізації вугільного терикону. Це сприятиме вирішенню проблем екологічно збалансованого розвитку регіону, інтеграції екологічного чинника в усі види інвестиційної діяльності, сприятиме удосконаленню механізмів ініціювання та підтримки таких проектів.

У разі розрахунку обсягу майбутніх капітальних інвестицій в обраний проект утилізації вугільного терикону якщо майбутній суб'єкт інвестування згодний урахувати всі екологічні та соціальні чинники, державі слід надати державну підтримку цього проекту, наприклад, у вигляді:

– пільгового оподаткування (зменшення або скасування рентного податку за використання надр та земельного податку за земельні ділянки, розташовані під підошвою терикону). Це обумовлюється тим, що рентний податок вже один раз утримувався при видобутку корисних копалин з надр природного родовища. Проте, не доцільно скасовувати земельний податок з ділянок, що додатково залучаються у процес видобутку, наприклад, для будівництва збагачувальної або сортувальної фабрики;

– зниження стартової ціни спецдозволу на аукціоні, що дозволить залучити більшу кількість можливих суб'єктів інвестування для проведення такого аукціону. Якщо інвестор буде дотримуватися екологічних та соціальних вимог при реалізації інвестиційного проекту, державі слід встановити мінімальну вартість спецдозволу у розмірі 1–2% від розрахованої оцінки вартості вугільного терикону відповідно до розробленого методичного підходу;

– надання можливості придбання дозволу на вилучення окремих корисних компонентів декільком інвесторам чи дозволу на видобування корисних копалин на окремій ділянці терикону, а не на всій його площі. Такий проект стане привабливим не тільки великим інвесторам-монополістам у своїй галузі, але й залучить дрібні капітали до цього інвестиційного процесу.

Така державна підтримка проекту утилізації вугільного терикону завдяки урахуванню екологічних та соціальних вимог при його реалізації зробить цей проект більш

привабливим для приватних інвесторів в частині сплати податків, хоча призведе до додаткових екологічних та соціальних витрат з боку учасників інвестиційного проекту. Слід зауважити, що при виборі інвестором іноземну компанію державі або місцевій громаді слід передбачити додаткові витрати на соціальні програми.

**Висновки.** На основі виконаного аналізу напрямків використання порід вугільних відвалів та з урахуванням хімічного складу порід териконів ДП «Львіввугілля» запропонована математична модель, яка дозволяє визначити оптимальний обсяг вилучення корисних домішок з порід терикону при визначеному обсязі інвестування та максимальному прибутку. Базуючись на цієї моделі побудована схема узгодженості цілей держави та потенційних інвесторів та розроблена процедура державної підтримки інвестиційних проектів з видобутку корисних копалин у випадку їх низької інвестиційної привабливості.

### Література

1. Закон України «Про особливості приватизації вугледобувних підприємств» № 4650-VI від 12 квітня 2012 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/4650-17>
2. Постанови Кабінету Міністрів «Про проведення прозорої та конкурентної приватизації у 2015 - 2016 роках» від 12 травня 2015-го. N 271 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/271-2015-%D0%BF>
3. Пугин К. Г. Экономическая оценка выбора варианта использования твердых отходов черной металлургии / К. Г. Пугин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 1. – С. 37–46.
4. Попов С. М. Методологические основы оценки ценности углеотходов / Попов С. М. // Известия ТулГУ. Сер. Экономические и юридические науки. Вып. 1. – 2007. – С. 116–119.
5. Харченко В. В. Эколого-экономическая оценка и выбор споробов разработки породных отвалов Восточного Донбасса / В. В. Харченко // Научный вестник МГГУ. – 2012. – № 10 (31). – С. 91–94. Режим доступу: <http://vestnik.msmu.ru/archive/index30.html>
6. Стоянова И. А. Экономико-математическое моделирование эколого-экономической оценки системы мер по сохранению и восстановлению окружающей среды в райлонах массового закрытия шахт / И. А. Стоянова // Научный вестник МГГУ. – 2012. – № 8 (29). – С. 115–120. Режим доступу: <http://vestnik>.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ  
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПОРОД ТЕРРИКОНОВ

*А. Г. Вагонова, д. э. н, профессор, Ю. А. Волотковская, ассистент,  
ГВУЗ «Национальный горный университет»*

На основе анализа научно-методических подходов к оценке инвестиционной привлекательности проектов, направленных на использование отходов горнодобывающей промышленности, предложена экономико-математическая модель, которая позволяет определить оптимальный объем извлечения полезных примесей из пород террикона при заданном объеме инвестирования и максимальной прибыли. С помощью построенной схемы согласованности целей государства и потенциальных инвесторов разработана процедура государственной поддержки инвестиционных проектов по добыче полезных ископаемых из техногенных месторождений в случае их низкой инвестиционной привлекательности.

**Ключевые слова:** экономико-математическое моделирование, объем капиталовложений, прибыль, утилизация террикона, компромисс целей, государственная поддержка субъекта инвестирования.

ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL OF OPTIMIZING MINERAL EXTRACTION  
FROM SPOIL BANK ROCKS

*A. G. Vagonova, D.E., Prof., Yu. O. Volotkovska, Assistant Lecturer,  
SHEI «National Mining University»*

On the basis of the scientific and methodological approaches to the assessment of investment attractiveness of projects aimed at the use of mining waste, economic-mathematical model is proposed, which allows determining the optimal amount of extraction of mineral impurities from the waste heap of rocks at a given amount of investment and maximum profits. The procedure of state support of investment projects for the extraction of minerals from the waste deposits in the event of their low investment attractiveness was developed with the help of the constructed scheme of consistency of the goals of the State and future investors.

**Keywords:** economic and mathematical model, volume of investment, profit, recycling waste heap, compromise the objectives of state support of investment.

*Рекомендовано до друку д. т. н., проф. Прокопенко В. І. Надійшла до редакції 06.05.16.*