

УДК [622.34+622.7]:005.2

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ  
ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ МІНЕРАЛЬНОГО СИРОВИНИ****<sup>1</sup>Дзюба С.В.**<sup>1</sup>*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України***АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПО УСОВЕРШЕСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ****<sup>1</sup>Дзюба С.В.**<sup>1</sup>*Інститут геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины***ANALYSIS OF MODERN SYSTEMS OF MAKING DECISIONS  
ON TECHNOLOGIES FOR PROCESSING MINERAL RAW MATERIAL****<sup>1</sup>Dziuba S.V.**<sup>1</sup>*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine*

**Анотація.** У статті приведені основні чинники для обґрунтування вибору стратегії розвитку підприємств гірничої галузі на основі результатів моделювання сучасних систем підтримки рішень з урахуванням мультикритеріального характеру вихідних даних, збереження екологічного стану прилеглих до родовищ мінеральної сировини районів і поліпшення соціального аспекту. Проведено аналіз прогнозного споживання енергоресурсів в країнах світу який показує обґрунтованість і актуальність вирішення проблеми збільшення споживання енергії за рахунок адекватних пропозицій на ринку, як енергії у вигляді корисних копалин, так і у вигляді поновлювальної енергії. Як приклад великої кількості експлуатаційних та екологічних чинників діючих гідротехнічних систем на необхідність вдосконалення систем прийняття рішень в реальному часі приведено процес поповнення оборотних систем водопостачання на гірничо-металургійних підприємствах Криворізького залізрудного басейну. Моделювання в системах прийняття рішень з урахуванням багатокритеріальності вихідних даних дозволило класифікувати основні критерії вибору оптимального варіанту розвитку гірничих підприємств з метою удосконалення технологій переробки мінеральної сировини за двома типами, а саме: цілями і атрибутами. Показано необхідність використання результатів систем прийняття рішень на основі як багатоцільових, так і багатоатрибутичних моделей. Багатоатрибутичне прийняття рішень визначається його характеристикою, пов'язаною з прийняттям оптимального рішення щодо представлених варіантів вибору, які є типовими для декількох, часто суперечливих атрибутів. Основна унікальна особливість, втілена в проблемах прийняття рішень з декількома атрибутами, полягає в тому, що зазвичай існує невелика кількість попередньо обраних альтернатив, які пов'язані з метою реалізації атрибутів. Залежно від атрибутів остаточне рішення приймається керівництвом гірничого підприємства.

**Ключові слова:** системи прийняття рішень, багатокритеріальність, класифікація груп прийняття рішень.

Згідно з прогнозами, світове споживання енергоресурсів зросте з 2015 по 2030 рік на 50 відсотків. Загальний попит на енергію в країнах, що не входять в Організацію економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), збільшиться на 85 відсотків, а в країнах що входять в цю організацію 19 відсотків [1].

Аналіз даних передбачає швидкий прогноз споживання енергії між 2015 і 2030 роками. Висновки з доповіді «Міжнародні енергетичні перспективи» показують обґрунтованість і актуальність вирішення проблеми збільшення споживання енергії в усьому світі. Оскільки поточні підтверджені запаси енергії у вигляді копалин (нафта, газ, вугілля, а також атомна енергія) і поновлюваних

видів палива (біомаса, гідроелектростанція і інших) не відповідають зростаючому споживанню, то виникає необхідність в забезпеченні адекватної пропозиції енергії в майбутньому (рис.1) [1,2]. Для забезпечення постійної доступності в майбутньому до енергії, світова спільнота в енергетичній галузі постійно веде кампанію за ефективно і розумне використання наявної енергії.

Наприклад, в програмному документі з енергетики 2015 року уряди Великої Британії показана стратегія щодо вирішення проблем в забезпеченні безпечної, чистої і доступної енергії. В даному документі також описується, як уповільнити зміни клімату шляхом скорочення викидів парникових газів ( «Огляд ринку енергії», 2016 рік). Енергоефективність визначається як один із засобів забезпечення того, щоб доступне мінеральну сировину у вигляді палива продовжувало задовольняти попит [2-5]. Етапи розробки родовищ мінеральної сировини включають в себе обґрунтований облік взаємовпливу функціонуючих гідротехнічних систем в технологіях переробки мінеральної сировини на екосистему поблизу підприємств гірничо-металургійного комплексу.

Оцінка даної взаємозалежності має значення для розуміння стійкості розвитку гірничих підприємств, оскільки є одним з основних факторів забезпечення як підвищення економічної ефективності технологій переробки, так і соціальної складової життєзабезпечення промислових районів. Реалізація ефективного виробництва готового товарного концентрату на гірничо-металургійних комбінатах починається з забезпечення прийняття обґрунтованих управлінських рішень на всіх основних його етапах, таких як: планування, проектування ланок технологічного ланцюга устаткування, транспортування сировини на збагачувальний переділ і відходів технологій переробки в хвостосховища.

Підвищення економічної ефективності і розвиток соціальних показників при розробці родовищ мінеральної сировини за рахунок порушення екологічної обстановки, а саме: виснаження рівня і забруднення ґрунтових вод, погіршення якості води в річках і повітря, не є виправданням при реалізації необґрунтованих проектувальних рішень. Економічна ефективність технологій на підприємствах гірничого виробництва, а також оцінка стійкості і надійності експлуатації гідротехнічних систем, збагачувального обладнання і шламосховищ повинна бути виправдана раціональними екологічними показниками, а також збереженням навколишнього середовища.

Як приклад великої кількості експлуатаційних та екологічних чинників діючих гідротехнічних систем на необхідність вдосконалення систем прийняття рішень в реальному часі розглянемо процес поповнення оборотних систем водопостачання на гірничо-металургійних підприємствах Криворізького залізорудного басейну [6].

На сьогоднішній день в Кривбасі одночасно експлуатується 18 родовищ, що розробляються відкритим і підземним способами. У басейні діє 8 шахт з підземного видобутку залізорудної сировини, що ведуть гірничі роботи в особливо небезпечних підземних умовах на глибинах 800 - 1500 м.

У 90-х роках минулого століття, в період економічного спаду, була зупинена виробнича діяльність 6 шахт. Для недопущення затоплення виробничого прос-

тору діючих шахт і втрати доступу до запасів залізних руд, державою, було прийнято низку рішень про переведення 3 шахт (Гігант, Саксагань, Першотравнева) в режим «сухий» консервації з підтримкою постійного режиму гідрозахисту (відкачування підземних вод з надр). Ще 3 окремі шахти (ГПУ, Південна, Північна ім. Валявка), які не мали гідравлічної зв'язки з іншими шахтами і відпрацювали запаси залізних руд, були закриті і ліквідовані. Відповідно відкачка підземних вод з них була припинена.

Паралельно з шахтами в Кривбасі функціонує 5 великих гірничозбагачувальних комбінатів, які ведуть видобуток руди в 10 кар'єрах на глибинах 250-450 м і здійснюють її переробку на гірничо-збагачувальних фабриках.

Шахтні і кар'єрні води використовуються для поповнення оборотних систем водопостачання на гірничо-збагачувальних комбінатах Кривбасу, при цьому, надлишки шахтної води накопичуються в ставку-накопичувачі шахтних вод в балці Свистунова. Впродовж останнього десятиріччя діючі гірничорудні підприємства Кривбасу та працюють в режимі гідрозахисту, щорічно, відкачують на поверхню близько 40 млн.м<sup>3</sup> підземних вод (шахтні, кар'єрні), серед яких 21 - 22 млн м<sup>3</sup> кар'єрних вод і 16 -17 млн м<sup>3</sup> високомінералізованих шахтних вод. В основному це хлорид сульфатні води з високим вмістом іон-хлору, сульфату, натрію, калію, магнію і кальцію з підвищеним рівнем загальної мінералізації від 5 до 96 г/л, усереднена мінералізація до 40 г/л.

Максимальні можливості по використанню підземних вод в зворотних циклах гірничорудних підприємств Кривбасу межують на рівні 28-30 млн м<sup>3</sup> на рік. Решта 11-12 млн м<sup>3</sup> є надлишками стічних вод і щорічно акумулюється, і тимчасово містяться в ставку-накопичувачі шахтних вод.

Також шахтні води відкачуються з 8 діючих шахт (Тернівська, Гвардійська, Жовтнева, Родіна, Ювілейна, шахти ім. Фрунзе і ім. Орджонікідзе, ШУ ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг) і з 2 шахт (Першотравнева- Дренажна, Гігант-Дренажна), які реструктуризовані і працюють виключно в режимі гідрозахисту. Шахти ГПУ, Південна, Північна ім. Валявка ліквідовані і знаходяться на "мокрою" консервації, відкачка з них не здійснюється.

Перекачування шахтних вод до накопичувачів здійснюється по магістральних трубопроводах трьома насосними станціями шахтних вод (Руднична, Шахтарська і насосна станція №8).

Від південної групи шахт насосними станціями Руднична і Шахтарська шахтні води відкачуються на південь (12-13 млн м<sup>3</sup>/рік), які потім перекачуються виключно в ставок-накопичувач шахтних вод в балці Свистунова, для їх тимчасової акумуляції та подальшого скидання в межвегетаційний період в річку Інгулець. Після скидання надлишку шахтних вод русло річки Інгулець промивається водою з Карачунівського водосховища, з компенсацією необхідних обсягів води дніпровською водою по каналу «Дніпро-Інгулець».

Від північної групи шахт насосною станцією №8 шахтні води відкачуються на північ (3,0-4,0 млн м<sup>3</sup>/рік) в хвостосховище "Північний ГЗК", де вона використовується в циклах оборотного водопостачання комбінату. Шахта "Першотравнева-Дренажна" самостійно здійснює відкачку і транспортування шахтних

вод (близько 0600000. м<sup>3</sup> / рік) в хвостосховище "Північний ГЗК".

Періодично, в разі утворення надлишку стічних вод в хвостосховище «Північний ГЗК», надлишок стічних вод, виключно в межвегетаційний період скидається в річку Саксагань. Після скидання надлишку стічних вод в річку Саксагань, русло річки промивається дніпровською водою з Південного водосховища по каналу № 33. Це лише невеликий фрагмент роботи гідротехнічних систем в рамках розробки залізородного родовища Кривбасу.

Для підтримки функціональності процесів в роботі даних гідротехнічних систем в реальному часі і необхідні системи прийняття рішень. Прийняття рішень є процесом, що складається з обґрунтованої оцінки альтернатив і вибору найбільш сприятливого з них. Для осіб, які приймають рішення, а саме «доцільного» рішення, необхідно вибрати такий варіант з набору можливих шляхів вирішення проблеми, в якому з урахуванням різних факторів і суперечливих вимог оптимізується і досягається поставлена мета. Обраний варіант виконаємо в найбільшій мірою, і забезпечує найкращий можливий соціально-екологічний сценарій для реалізації цілі сталого розвитку гірничо-металургійних комбінатів [6,7].

У минулому керівники підприємств приймали рішення з урахуванням одного або двох чинників, не звертаючи уваги на інші, які вважалися малими при вирішенні виникаючих проблем, при цьому, відмінності в екологічних умовах були невеликими, нові явища виникали «по черзі».

В даний час даний набір факторів змінився. Значне число проблем, або, можливо, основна їх частина, носить мультикритеріальний характер, що враховує одночасно кілька факторів. Зіткнувшись з такими проблемами, відповідальний за прийняття рішень повинен оцінити ряд стимулів, переваг і результатів, які є типовими для альтернативних рішень.

Прагнення до об'єктивно оптимального результату керівником підприємством, а також визнання суб'єктивності при виборі і прийнятті того чи іншого варіанту вирішення виникаючих проблем визначає необхідність постійних оперативних досліджень в системах прийняття рішення. Проте, прийняття рішень, у тому числі мультикритерії, вимагає, щоб об'єктивний елемент постійно існував. Як правило, цей елемент включає в себе різні види обмежень, які забезпечуються через вплив на навколишнє середовище щодо можливих рішень (доступність ресурсів, екологічні обмеження, соціальні умови тощо).

Підтримка систем прийняття рішень передбачає сприяння керівнику, який приймає рішення, в процесі вибору обґрунтованого варіанта стратегії розвитку гірничого підприємства, а саме:

- підтримка особи, що приймає рішення, при перевірці об'єктивного елемента, а точніше, в розумінні і оцінці поточного функціонального стану окремих технологічних ланок і підприємства в цілому, а також наслідків впливу на навколишнє середовище;

- розуміння мети і завдань керівником, який приймає рішення, при виявленні і ранжируванні пріоритетів з урахуванням невизначеності на попит і пропозицію на ринку готового концентрату, а також визначення результуючого пере-

ваги;

- створення життєздатних рішень, а точніше, створення списку готових до використання альтернатив;
- оцінка можливих варіантів, з урахуванням переваг і обмежень для осіб, які приймають рішення;
- вивчення і обґрунтованість результатів прийняття рішень;
- вибір оптимального варіанта, з точки зору осіб, що приймають рішення.

Беручи до уваги багатокритеріальність вихідних параметрів, які характеризують технологічні процеси при переробці мінеральної сировини для моделювання в системах прийняття рішень, вихідні критерії розрізняють за двома типами: цілями і атрибутами. Відповідно до цих принципів мультікритеріальності проблеми прийняття рішень поділяють на дві широкі групи: багатоцільові прийняття рішень; багатоатрибутне прийняття рішень.

Основна відмінність щодо цих двох груп полягає в тому, що багатоцільове прийняття рішень фокусується на безперервних просторах рішень, а багатоатрибутне прийнятті рішень концентрується на проблемах дискретних просторів прийняття рішень.

Критерії являють собою основу для вибору альтернативних рішень, іншими словами основні принципи для оцінки придатності того або іншого рішення.

Цілі відображають прагнення групи експертів, які приймають рішення, і визначають напрямок, на яке керівництво має намір зосередитися з метою досягнення удосконалення технологій переробки мінеральної сировини, а також стійкого функціонування гірничо-металургійного комбінату в найближчій перспективі. Отже, багатоцільові проблеми прийняття рішень включають в себе розробку альтернатив, які оптимізують або, як мінімум, виконують завдання осіб, які приймають рішення.

Завдання - це удосконалення процесів переробки корисних копалин, переважно для осіб, які приймають рішення, та сформульовані щодо явних обставин в просторі і часі. Отже, в той час як цілі забезпечують бажаний напрямок, завдання забезпечують кращий (або цільовий) рівень для їх реалізації.

Атрибути - це ознаки або технічні характеристики альтернатив. Невизначеність вихідних даних при функціонуванні технологічного обладнання впливає на моделювання в системах прийняття рішень, які включають в себе вибір «оптимальної» альтернативи з пулу вибору попередньо обраних альтернатив, що відносяться за їх атрибутами. Через ці атрибути визначається багато об'єктивне прийняття рішень, характерне для безперервного типу мультікритеріальних прийняття рішень, і його головними особливостями є те, що особи, які приймають рішення, повинні реалізовувати безліч цілей, незважаючи на те, що ці цілі не є, сумарні і стикаються одна з одною. Багатоцільова конфігурація прийняття рішень включає вектор факторів прийняття рішень, цільові функції, які визначають відповідні цілі і обмеження. Особи, які приймають рішення, прагнуть на практиці максимально використовувати або обмежити цільові функції.

Багатоатрибутне прийняття рішень визначається його характеристикою, пов'язаною з прийняттям оптимального рішення (точніше, оцінки, вибору, ранжи-

рування і / або упорядкування рангу) щодо представлених варіантів вибору, які є типовими для декількох, часто суперечливих атрибутів. Основна унікальна особливість, втілена в проблемах прийняття рішень з декількома атрибутами, полягає в тому, що зазвичай існує невелика кількість попередньо обраних альтернатив, які пов'язані з метою реалізації атрибутів. Залежно від атрибутів остаточне рішення приймається керівництвом гірничого підприємства.

Слід визнати необхідність використання результатів систем прийняття рішень на основі як багатоцільових, так і багатоатрибутних моделей з метою удосконалення технологій переробки мінеральної сировини і як наслідок стійкого функціонування гірничо-металургійного комплексу в цілому, що дозволяє більш ефективно використовувати родовища корисних копалин.

**Висновки.** Проведений аналіз сучасного моделювання в системах прийняття рішень з урахуванням багатокритеріальності вихідних даних дозволив класифікувати основні критерії вибору оптимального варіанту розвитку підприємств гірничо-металургійної галузі з метою удосконалення технологій переробки мінеральної сировини за двома типами, а саме: цілями і атрибутами. Оцінка прогнозного споживання енергоресурсів в країнах світу показує обґрунтованість і актуальність вирішення проблеми збільшення споживання енергії за рахунок адекватних пропозицій на ринку, як енергії у вигляді корисних копалин, так і у вигляді поновлювальної енергії. Як приклад великої кількості експлуатаційних та екологічних чинників діючих гідротехнічних систем на необхідність вдосконалення систем прийняття рішень в реальному часі приведено процес поповнення оборотних систем водопостачання на гірничо-металургійних підприємствах Криворізького залізорудного басейну.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Energy Information Administration (2008) EIA: International Energy Outlook 2008 Report, available at: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html> (Accessed 17/01/2018).
2. British Department for Business Energy and Regulatory Reform (BERR), (2008): Energy statistics: gas, available at: <http://www.berr.gov.uk/energy/statistics/source/gas/page18525.html> (Accessed 10/05/2018).
3. British Department for Business Energy and Regulatory Reform (BERR), (2008), Energy white paper: meeting the energy challenge – BERR, available at: <http://www.berr.gov.uk/energy/whitepaper/page39534.html> (Accessed 10/05/2018).
4. British Petroleum: BP Statistical Review of World Energy 2008, available at: <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622> (Accessed 10/05/2018).
5. The Parliamentary office of science & technology (2004): Future of UK Gas Supplies. Available from: <http://www.parliament.uk/documents/upload/POSTpn230.pdf> (Accessed 10/05/2018).
6. Булат, А.Ф., Витушко, О.В., Семенов, Е.В. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий: Монография / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск: Герда, 2010. 216 с.
7. Блюсс, Б.О., Дзюба, С.В., Семенов, Е.В. Обґрунтування параметрів ефективності гідротехнічних систем в технологіях переробки мінеральної сировини / *Металлургическая и горнорудная промышленность*. Дніпро. 2018, Вып. 4, С. 58-65

#### REFERENCES

1. Energy Information Administration (2008) EIA: International Energy Outlook 2008 Report, available at: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html> [Accessed 17/01/2018].
2. British Department for Business Energy and Regulatory Reform (BERR), (2008): Energy statistics: gas, available at: <http://www.berr.gov.uk/energy/statistics/source/gas/page18525.html> (Accessed 10/05/2018).
3. British Department for Business Energy and Regulatory Reform (BERR), (2008), Energy white paper: meeting the energy challenge – BERR, available at: <http://www.berr.gov.uk/energy/whitepaper/page39534.html>. (Accessed 10/05/2018)
4. British Petroleum: BP Statistical Review of World Energy 2008, available at: <http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>. (Accessed 10/05/2018).
5. The Parliamentary office of science & technology (2004): Future of UK Gas Supplies. Available from: <http://www.parliament.uk/documents/upload/POSTpn230.pdf>(Accessed 10/05/2018).

6. Bulat, A.F., Vitushko, O.V. and Semenenko, E.V. (2010), *Modeli elementov gidrotekhnicheskikh sistem gornyykh predpriyatiy*. [Models of elements of hydraulic systems of mining enterprises], Gerda, Dnepropetrovsk, Ukraine.

7. Blyuss, B.O., Dziuba, S.V. and Semenenko, E.V. (2018), "Substantiation of parameters of efficiency of hydraulic engineering systems in technologies of proposing of mineral raw material", *Metallurgical and Mining Industry*, pp. 58-65.

#### Про автора

**Дзюба Сергій Володимирович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу геодинамічних систем та вібраційних технологій, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАНУ), Дніпро, Україна, sergejdzuba@gmail.com.

#### About the author

**Dziuba Serhii Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher in Department of Geodynamic System and Vibration Tehnologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, sergejdzuba@gmail.com

**Аннотация.** В статье приведены основные факторы для обоснования выбора стратегии развития предприятий горной отрасли на основе результатов моделирования современных систем поддержки решений на базе мультикритериального характера исходных данных, сохранения экологического состояния прилегающих к месторождениям минерального сырья районов и улучшение социального аспекта. Проведен анализ прогнозного потребления энергоресурсов в странах мира показывающий обоснованность и актуальность решения проблемы увеличения потребления энергии за счет адекватных предложений на рынке, как энергии в виде полезных ископаемых, так и в виде возобновляемой энергии. В качестве примера большого количества эксплуатационных и экологических факторов действующих гидротехнических систем на необходимость совершенствования систем принятия решений в реальном времени приведены процесс пополнения оборотных систем водоснабжения на горно-металлургических предприятиях Криворожского железорудного бассейна. Моделирование в системах принятия решений с учетом многокритериальности выходных данных позволило классифицировать основные критерии выбора оптимального варианта развития горных предприятий с целью усовершенствования технологий переработки минерального сырья по двум типам, а именно: целям и атрибутам. Показана необходимость использования результатов систем принятия решений на основе как многоцелевых, так и многоатрибутных моделей. Многоатрибутное принятие решений определяется его характеристикой, связанной с принятием оптимального решения по представленным вариантам выбора, которые являются типичными для нескольких, часто противоречивых атрибутов. Основная уникальная особенность, воплощенная в проблемах принятия решений с несколькими атрибутами, заключается в том, что обычно существует небольшое количество предварительно выбранных альтернатив, связанных с целью реализации атрибутов. В зависимости от атрибутов окончательное решение принимается руководством горного предприятия.

**Ключевые слова:** системы принятия решений, многокритериальность, классификация групп принятия решений.

**Annotation.** The article presents main factors for justifying choice of strategy for mining enterprises development based on the results of modeling of modern decision-support systems with considering multi-criteria nature of the source data, maintaining ecologically-freindly state of the areas adjacent to mineral deposits and improving social aspect. Analysis of projected energy consumption in the countries of the world shows necessity and relevance of solving the problem of increasing energy consumption through adequate supply to the market energy in the form of minerals and in the form of renewable energy. As an example of great number of operational and environmental factors in existing hydraulic systems and the need to improve decision-making systems in real time, replenishment of circulating water supply systems at the mining and metallurgical enterprises of the Krivoy Rog iron ore basin is described. Modeling of decision-making systems with taking into account multi-criteria composition of output data allowed classifying main criteria for choosing optimal variant for mining enterprise development by two types, namely: goals and attributes, in order to improve technologies for processing mineral raw materials. The necessity of using the results of decision-making systems on the basis of both multi-purpose and multi-objective models is shown. Multi-decision making is determined by its characteristics, related to the adoption of an optimal solution for the selected selection options that are typical of several, often contradictory, attributes. The main unique feature embodied in decision-making problems with several attributes is that there usually is a small number of pre-selected alternatives that are associated with the purpose of implementing the attributes. Depending on the attributes, the final decision is taken by the management of the mining enterprise.

**Keywords:** decision-making systems, multi-criteria composition, classification of decision-making groups.

Стаття надійшла до редакції 08.11.2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Блюссом Б.О.