

А.О. Хорольський, аспір.

В.Г. Грінюв, д.т.н., проф.

Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України

Системні принципи та оціночний критерій надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ

Питання оцінки надійності технології розробки вугільних родовищ пов'язане із вибором раціональних комплектацій очисного обладнання і є ключовим на всіх стадіях функціонування гірничого підприємства. Значну увагу приділено дослідженню існуючих методів та засобів оптимізації технологічних процесів у гірництві. Незважаючи на всі переваги розглянуті підходи мають недолік – удосконалення кожної технологічної схеми, процесу потребує побудови нової моделі, також не завжди можливо використовувати запропоновані підходи в якості експрес-аналізу на стадії проектування. В даній роботі основний акцент приділено системним принципам та критерію надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ. На протиположні існуючим методикам запропоновано альтернативний підхід, який базується на застосуванні алгоритмів на мережах та графах. Для широкої реалізації методів дискретної математики в гірництві було розроблено відповідне програмне забезпечення. Слід зазначити, що наведені в роботі підходи можуть бути застосовані не тільки на вугільних шахтах, але і в суміжних галузях гірництва.

Ключові слова: надійність технологічної схеми; оптимізація параметрів експлуатації; граф; мережева модель.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. За даними інституту економіки підприємств НАН України [1] лише 8 % вугільних шахт України є прибутковими, 10 % – беззбитковими, а переважна більшість (56 %) – глибоко збитковими. Дослідження проведене Центром Розумкова, в 2016 році, показало, що всі підприємства, в порівнянні з 2015 роком (окрім ДП «Львіввугілля» та ДП «Первомайськвугілля»), зменшили об'єми видобутку [2].

Встановлено, що між річною потужністю і собівартістю є кореляційний зв'язок: зі зростанням річної проектною потужності собівартість продукції знижується; при досягненні річного видобутку понад 600 тис. т шахта виходить на самоокупність; при річному видобутку меншим за 300 тис. т спостерігається різке підвищення собівартості тонни продукції та подальше зростання діяльності підприємства [3]. Тому, першочерговою проблемою, яку необхідно вирішити є – підвищення рівня видобутку. Раніше вважалося, що запорукою підвищення навантаження на вибій є застосування нової техніки або закордонних аналогів [4] але невдалий досвід технічного переоснащення, специфічні гірничо-геологічні умови, велика номенклатура гірничо-шахтного обладнання вказують на те, що ключем до вирішення даної проблеми є оцінка рівня взаємозв'язку обладнання в складі комплексу [5]. Збільшення рівня добового видобутку очисного вибою є резервом підвищення надійності технологічних схем вугільних родовищ.

Аналіз досліджень та публікацій. Як зазначалось раніше, підвищення видобутку є однією із проблем, яке необхідно вирішити заради збереження життєдіяльності підприємства. Встановлено, що ріст продуктивності вибою, в більшості випадків, досягається за рахунок вибору комплектацій з високим рівнем взаємозв'язку, при цьому область експлуатації є раціональною [6]. Але, вдалий вибір комплектацій обладнання не може вирішити усі проблеми, необхідно також оптимізувати технологічні схеми. Під оптимізацією розуміють такий вибір обладнання, структури та ін. при якому значення параметру буде мінімальним.

З ростом рівня технологій видобутку корисних копалин змінювались та покращувались методи та засоби оптимізації технологічних схем. У гірництві існують наступні підходи:

- застосування критеріїв ефективності техніки, технології, технологічних схем та ін.
- багатокритеріальна оптимізація;
- застосування методів програмування;
- застосування методів дискретної математики: мереж та графів.

В якості критеріїв ефективності можуть бути прийняті: рівень енерговитрат [7], конструктивні параметри обладнання [8], гнучкість управління виробництвом [9], коефіцієнт машинного часу [10], рівень витрат на видобуток [11], витрати часу на обслуговування [12]. Значний внесок в розвиток даних підходів внесли: В.І. Бузило, Г.Г. Литвинський, І.В. Антіпов, В.Ю. Линник, D. Cai, J. Harrington (Harrington scale), V.N. Kazakidis, S.H. Hosenie, M. Myszkowski, U. Paschedag, K. Krauze.

Продовженням підходу, який базується на застосуванні критеріїв, є багатокритеріальна оптимізація. Під нею розуміють застосування економічних, математичних підходів, які дозволяють мінімізувати

значення критеріїв. В гірництві застосовують економічні методи багатокритеріальної оптимізації [13–16]: PROMETHEE, ELECTRE, VIKOR, ANP, оптимізація з обмеженнями; математичні методи [17–19]: теорію нечітких множин, дерев рішень, мультимодальний. Значний внесок внесли наступні вчені: М. Grujić, S. Vujic, N. Mladenovic, N. Tomashevich, A. Bascetin, M. Brazil, М. Вуйощович, М. Худей, А.О. Хруцький, М. Радосавлевич.

Розвиток сучасних інформаційних технологій дозволив застосовувати методи лінійного [20–22], динамічного [23, 24], квадратичного [25] програмування, застосовуються генетичні алгоритми [26]. Представниками даного напрямку є В.Г. Грінюв, А. Haidar, S. Naoum, J. Tah, В. Hao, А. Salam, J. Torano, I. Diego, M. Menedez, M. Gent.

Безумовно, значну увагу приділяється формалізації та графічному представленню даних про наявні структури, процеси, взаємозв'язки; застосування графів та мереж дозволяє застосовувати сучасні інформаційні підходи для оптимізації технологічних процесів [27–30]. Значних успіхів в даному напрямку досягли В.Г. Грінюв, В.І. Бондаренко, В.М. Окалелов, А.Р. Мамайкін, П.П. Ніколаєв, А.М. Newman, D.A. Thomas, M. Brazil, D. Lee, P. Grossman.

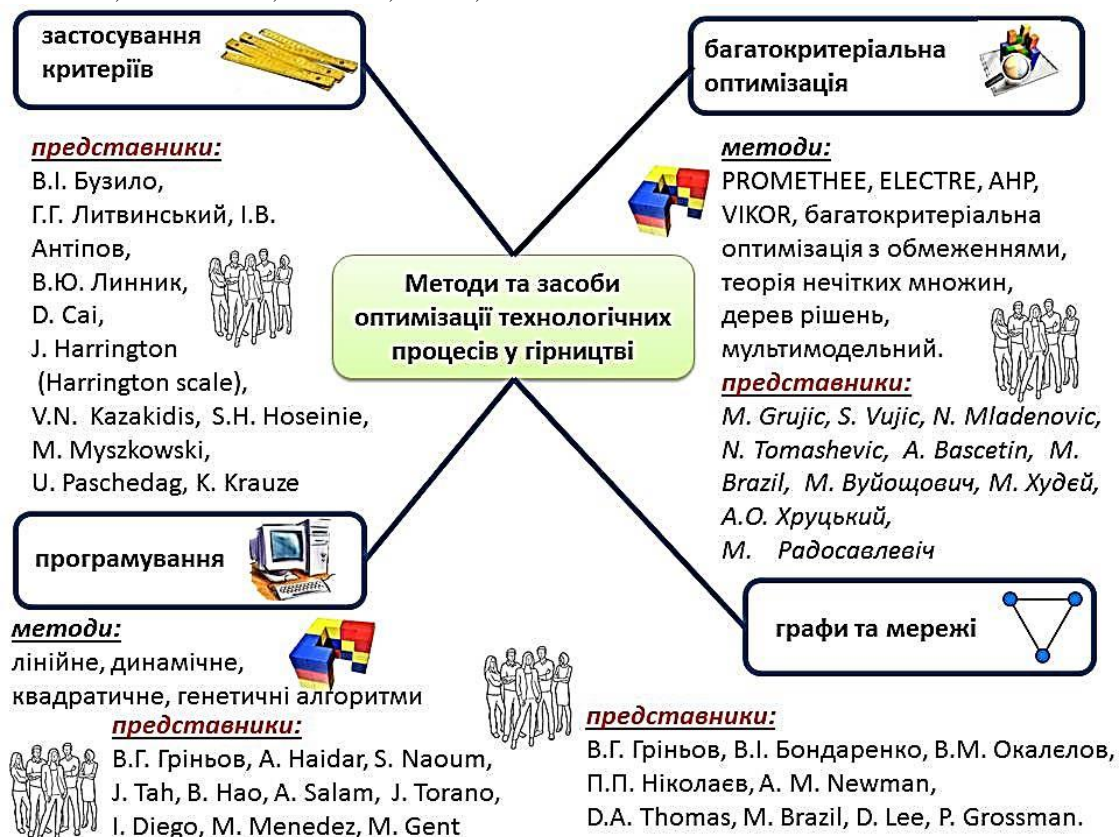


Рис. 1. Відомі методи та засоби оптимізації технологічних схем у гірництві

Разом з тим, розглянуті методи та підходи [7–30] мають один недолік – удосконалення кожної технологічної схеми, процесу, структури, сукупності взаємозв'язків потребує створення окремої моделі. Необхідно розробити такий підхід, який буде мати наступні характеристики: універсальність, інформативність, варіативність – усім цим вимогам може відповідати підхід, який базується на представленні структури технологічних процесів, шляхом графової інтерпретації, у вигляді мережевої моделі, яку можна оптимізувати з використанням алгоритмів на мережах та графах.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка методологічної основи та засобів оптимізації технологічних процесів гірничого виробництва. Розроблений підхід повинен відповідати сучасному стану розвитку інформаційних технологій. Базою для реалізації методології вибору раціональної структури, оптимізації та впорядкування технологічних ланцюгів є розробка основних системних принципів та визначення оціночного критерію надійності технологічних схем.

Викладення матеріалу та результати. Першочерговою задачею, яку необхідно вирішити для підвищення ефективності роботи шахти є раціональний вибір очисного обладнання. Раціональним будемо вважати технологічний ланцюжок «кріплення – комбайн – конвеєр» з рівнем добової продуктивності понад 1000 т/доб., при цьому показники видобутку (в межах заданого діапазону гірничо-геологічних та технологічних параметрів) будуть ідентичними і для іншого підприємства. Встановлено,

що для кожного діапазону за виймальною потужністю пласта існує окремий набір альтернатив комплектацій «кріплення-комбайн-конвеєр» [31].

Наступною задачею, яку необхідно вирішити є оптимізація та впорядкування структури технологічних ланцюжків очисного обладнання. Результатом вирішення є вибір складу механізованого комплексу очисного обладнання з мінімальним значенням оптимізаційного параметру. Співробітниками Інституту фізики гірничих процесів НАН України на чолі з В.Г. Грінєвим були розроблені методологічні основи [32], проведені комплексні дослідження раціональної області експлуатації [33, 34], встановлено рівень впливу технологічних параметрів на продуктивність [35, 36] – все це є підґрунтям для застосування мереж та графів для вибору гірничо-шахтного обладнання. Але, в роботі [37] зазначено, що наступною задачею є розробка програмних засобів оптимізації технологічних процесів, це дозволить запровадити методи дискретної математики в гірництво.

Розробка програмного забезпечення, для реалізації методології, базується на застосуванні системних принципів та виборі критерію надійності технологічних схем.



Рис. 2. Принципи системного підходу оптимізації технологічних ланцюжків очисного обладнання

До системних принципів відносяться:

- цілісність, у відповідності до поставленої задачі ланцюжок «кріплення – комбайн – конвеєр» розглядають як єдине ціле без виокремлення на типи очисного обладнання;
- ієрархічність, полягає в тому, що при виборі враховуються не тільки взаємозв'язки між типами очисного обладнання, але і взаємозв'язки між складальними одиницями; наприклад: при виборі конвеєру слід звернути увагу на систему переміщення комбайну, а при виборі комбайну слід керуватись кроком пересування механізованого кріплення;
- структуризація, передбачає можливість оптимізації не тільки всього технологічного ланцюжку, але і можливість вибору оптимальних структур на рівнях «кріплення – комбайн», «комбайн – конвеєр»;
- системність, тобто параметри області застосування кожного типу очисного обладнання (потужність пласта, кут падіння, довжина вибою) відповідають умовам експлуатації технологічного ланцюжку;
- множинність, передбачає наявність стандартних мережних моделей для запропонованих альтернатив очисного обладнання.

Основною вимогою при розробці засобів програмної реалізації на базі системних підходів є можливість структурної оптимізації. Процес отримання серії системних ефектів з метою оптимізації прикладної мети в залежності від заданих обмежень називається структурною оптимізацією.

В якості критерію надійності технологічних схем експлуатації вугільних родовищ прийнято рівень добового видобутку. Під надійністю розуміють властивість об'єкту зберігати в часі та в межах усіх встановлених параметрів необхідні функції.

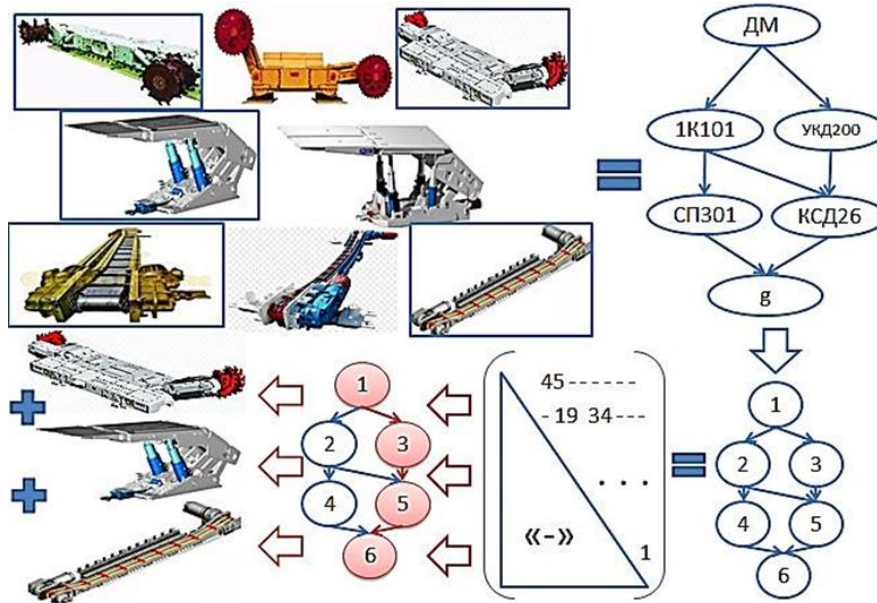


Рис. 3. Схема оптимізації технологічних ланцюжків очисного обладнання

Для визначення найбільш прийнятної комплектації необхідно виконати наступні етапи:

- на основі даних про показники роботи очисних необхідно виключити ненадійні технологічні ланцюжки із подальшого аналізу;
- раціональні варіанти структури механізованого комплексу слід представити у вигляді універсального графу;
- в залежності від побажань до вибору очисного обладнання необхідно виключити альтернативи які не задовольняють вимогам, після цього необхідно формалізувати граф та представити його у вигляді мережевої моделі;
- застосування мереж дозволяє, використовуючи алгоритми оптимізації, визначити бажану комплектацію з позиції мінімізації заданого параметру.

Наведена в роботі методологія дозволяє не тільки вирішувати задачі вибору очисного обладнання але і може бути використана при вирішенні інших задач гірництва. Це може бути реалізовано представленням структури технологічного процесу або виробничих взаємозв'язків у вигляді мережі, в якості вершин можуть виступати типи обладнання, об'єкти, пункти; в якості довжин ребер – значення оптимізаційного параметру.

Файл Вікно Бібліотека Справка

Введіть кількість вершин: 14

Сторінки матриць відстаней: Визначити найкоротший (оптимальний) маршрут

Перейти до інструкції зазначення: Роздрукувати форму

Вивести матрицю відстаней: Переглянути карту зазначених маршрутів: Перейти до бібліотеки графів: Перейти до головного меню

Вид	Вид	КД90	УКД90	ДМ	КА80	К103	УКД200	1К101	РКУ10	СПЗ51	СПЗ6	О
Вид	28	28	18	15	13	9	9	6	4	6	9	9
КД90	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-
УКД90	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-
ДМ	-	-	-	13	9	6	-	-	-	-	-	-
КА80	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	6	-
К103	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	6	-
УКД200	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-
1К101	-	-	-	-	-	-	-	-	6	9	6	-
РКУ10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	1
СПЗ51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
СПЗ6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
СПЗ6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
СПЗ6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Вид	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Введіть значення параметру для: 28

Роздрукувати параметр: 28

Рекомендовані параметри розробки:

Потужність пласта, м: 1,11-1,30

Довжина лави, м: 178-261

Кут залізання, град: 0-12

Запропоновані типи очисного обладнання:

Мак. криглени: КД90, УКД90, ДМ

Очіскі комбайни: КА80, К103, УКД200, К101, РКУ10

Конвеєри: СПЗ51, СПЗ6, СПЗ6, СПЗ6

Рациональні комплектації:

1. неізазоване криглени КД90 - комбайн КА80 - конвеєр СПЗ51;

2. неізазоване криглени ДМ - комбайн РКУ10 - конвеєр СПЗ6;

3. неізазоване криглени КД90 - комбайн КА80 - конвеєр СПЗ51;

4. неізазоване криглени УКД90 - комбайн 1К101 - конвеєр СПЗ6;

5. неізазоване криглени ДМ - комбайн УКД200 - конвеєр СПЗ6;

6. неізазоване криглени КД90 - комбайн 1К101 - конвеєр СПЗ6;

7. неізазоване криглени КД90 - комбайн 1К101 - конвеєр СПЗ6;

8. неізазоване криглени ДМ - комбайн К103 - конвеєр СПЗ51;

Рис. 4. Матрична реалізація процесу оптимізації технологічних ланцюжків

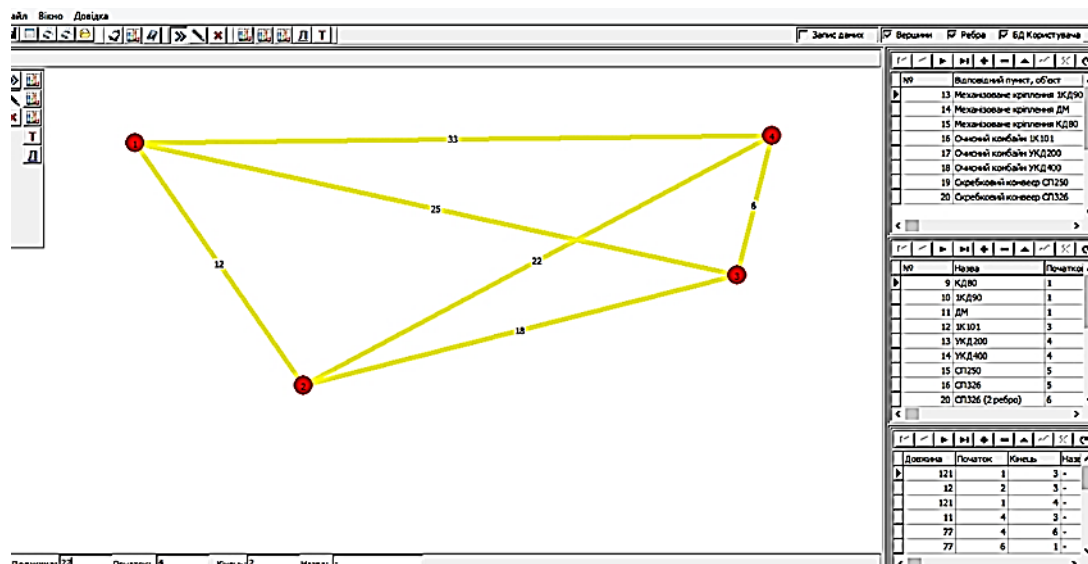


Рис. 5. Графічна реалізація процесу оптимізації технологічних ланцюжків

Запропонована програмна реалізація [38] має ряд переваг:

- мінімальна кількість полів, які слід заповнити; стандартний спосіб передбачає заповнення N^2 комірок (де N – кількість одиниць очисного обладнання), в нашому випадку необхідно заповнити N комірок;
- багатоваріантність способів вводу, існує можливість відображати дані про структури очисного обладнання в матричному (рис. 4) та графічному представленні (рис. 5);
- можливість формування звітів, це дозволить проводити багатофакторний аналіз комплектацій;
- програма містить набір стандартних моделей, які побудовані для пластів різної виймальної потужності;
- для оптимізації структури технологічних ланцюжків очисного обладнання достатньо ввести значення оптимізаційного параметру, за бажанням альтернативи, які не відповідають вимогам можна виключити із розрахунку.

Ілюстрацією принципу структурної оптимізації є виконання умови – результат оптимізації залежить від набору обмежень.

Практична реалізація та демонстрацією базових можливостей запропонованого підходу до підвищення надійності технологічних схем очисного обладнання може бути приведена на прикладі шахт ДВ ВК «Краснолиманська» та «Росія» ДП «Селидіввугілля». Слід зазначити, що параметри виймальної ділянки були ідентичні: потужність пласта 1,10 – 1,20 м, довжина лави 290 м, кут падіння 5^0 .

При розробці «Рекомендацій щодо модернізації структури технологічних ланцюжків очисного обладнання» в рамках ДП ВК «Краснолиманська» було висунуто наступні вимоги: мінімальна зольність вугілля, наявність серійного виробництва, шнековий тип виконавчого органу, узгодженість системи переміщення очисного комбайну з наявним конвеєром. На першому етапі застосовавши алгоритм Дейкстри було оптимізовано технологічний ланцюжок очисного обладнання за фактором «питома собівартість». Подальше застосування алгоритму Флойду для впорядкування структури дозволило рекомендувати заміну існуючого варіанту («кріплення ДМ – комбайн РКУ10 – конвеєр СП251») на «кріплення ДМ – комбайн УКД400 – конвеєр СП326». В результаті заміни очікуваний річний ефект від зниження собівартості складе 7,2 млн грн, а приріст видобутку від впровадження рекомендацій становитиме 108 тис. т. До переваг запропонованої комплектації можна віднести: досвід експлуатації запропонованого обладнання, наявність ремонтного фонду, відповідність перспективному плану розвитку підприємства.

При виборі оптимального варіанту засобів механізації очисного вибою для умов шахти «Росія» ДП «Селидіввугілля» було висунуто наступні вимоги: наявність серійного виробництва, шнековий тип виконавчого органу.

Після попереднього аналізу запропонованих комплектацій та виключення небажаних варіантів була проведена оптимізація технологічного ланцюжку очисного обладнання за параметром «питома собівартість». Запропоновано замінити існуючу комплектацію («кріплення 1КД90 – комбайн 1К101 – конвеєр СП26») на «кріплення ДМ – комбайн РКУ10 – конвеєр СП26». Впровадження рекомендованих засобів механізації очисного вибою дозволить збільшити річний видобуток вугілля на 148 тис. т, очікуваний річний економічний ефект становить 5,8 млн грн.

Як видно із наведених прикладів зниження собівартості видобутку та підвищення рівня продуктивності досягається шляхом раціонального вибору типів очисного обладнання, подальшою оптимізацією та впорядкуванням структури технологічного ланцюжку.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Наведена в роботі методологія є універсальною та може бути застосована не тільки при підземній розробці але і при відкритій. В гірництві можуть вирішуватися задачі, які пов'язані зі зниженням собівартості, організацією системи перевезень та узгодження різних типів транспорту, зменшенням вартості ремонту обладнання та ін. Застосування графів та мереж, уже зараз, використовується при розробці «Планів ліквідації аварій», вирішенні задач на розміщення та ін.

Подальші дослідження слід направити на удосконалення системи автоматизованого вибору комплектацій очисного обладнання, системи оптимізації технологічних процесів. Це може досягати за рахунок створення універсальних баз даних, реалізації процесу інтерпретації отриманих результатів.

Список використаної літератури:

1. *Петенко И.В.* Проблемы рентабельности угольной продукции / *И.В. Петенко, С.С. Майдукова* // Уголь Украины. – 2014. – № 10. – С. 18–27.
2. *Маркевич К.* Энергетична галузь України: підсумки 2015 року / *К.Маркевич.* – Київ : Центр Розумкова, 2015. – 71 с.
3. *Яценко Ю.П.* Достижение экономических пропорций расширенного воспроизводства на действующих шахтах Донбасса / *Ю.П. Яценко* // Уголь Украины. – 2011. – № 9. – С. 6–11.
4. *Гребенкин С.С.* Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очистного оборудования для угольных шахт : монография / *С.С. Гребёнкин, В.В. Косарев, С.Е. Топчий, Н.И. Стадник, В.И. Зензеров, В.В. Стеблин, Б.А. Перепелица, В.Н. Поповский* ; под общ. ред. *С.С. Гребенкина, В.В. Косарева.* – Донецк : «ВИК», 2009. – 372 с.
5. Технологические аспекты физики горных процессов / *В.Г. Гринев, П.П. Николаев, А.И. Деуленко, П.В. Череповский* // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2013. – № 13. – С. 197–208.
6. *Хорольский А.А.* Рациональный выбор оборудования для шахт Донбасса / *А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков* // Вести Донецкого горного института. – № 1 (34). – Вып. 2 (35). – 2014. – С. 211–218.
7. *Бузило В.И.* Анализ влияния технологии и элементов системы разработки на энергосбережение в угольных шахтах / *В.И. Бузило, С.Н. Поёманов, В.П. Расстрига* // Розробка родовищ 2013 : щорічний наук.-техн. зб-к. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 115–120.
8. *Литвинский Г.Г.* О методике и критериях оценки технического уровня горной техники / *Г.Г. Литвинский* // Вестник академии строительства Украины. – 2003. – С. 62–67.
9. *Kazakidis V.N.* Planning for flexibility in underground mine production systems / *V.N. Kazakidis* // Advances in Futures and Options Research. – Vol. 4. – JAI Press Inc. – Pp. 153–164.
10. *Hoseinie S.H.* Reliability analysis of drum shearer machine at mechanized longwall mines / *S.H. Hoseinie* // Journal of Quality in Maintenance Engineering. – 2012. – Vol. 18. – Emerald Group Publishing Limited. – Pp. 98–119.
11. *Линник В.Ю.* Методологические основы прогнозирования подземной разработки угольных месторождений с учетом показателей сырьевой базы : автореф. дис. ... д-ра экон. наук : спец. 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами (промышленность)) / *В.Ю. Линник.* – М., 2012. – 39 с.
12. *Антипов И.В.* Геомеханические и технологические основы создания нового уровня крепей очистных забоев тонких пологих пластов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.12.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / *И.В. Антипов.* – Донецк, 1996. – 39 с.
13. *Grujic M.* Choice of outside transportation system in underground coal mines by multiple criteria analysis / *M.Grujic, A.Tomasevic* // Underground Mining Engineering. – 1996. – Vol. 4. – Pp. 62–70.
14. *Brzywczy E.A.* Modern Tool for Modelling and Optimisation of Production in Underground Coal Mine / *E.A. Brzywczy* // Science on Distributed Computing Infrastructure. – 2014. – Pp. 317–334.
15. *Bascetin A.* An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine / *A.Bascetin* // Mining Technology. – 2004. – Vol. 113. – Pp. 192–199.
16. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications / *M.Behzadian, R.B. Kazemzadeh, A.Albadvi, M.Aghdasi* // European Journal of Operational Research. – 2010. – Vol. 200. – pp. 198–215.
17. *Wang Ch.* Selection of an Appropriate Mechanized Mining Technical Process for Thin Coal Seam Mining / *Ch.Wang, Sh.Tu* // Mathematical Problems in Engineering. – 2015. – Vol. 1. – Pp. 100–109.
18. *Serafettin A.* Underground mining method selection by decision making tools / *A.Serafettin, Y.Mahmut* // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2009. – Vol. 24. – Pp. 173–184.
19. *Bascetin A.* EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering / *A.Bascetin, O.Oztas, A.Kanli* // The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2006. – Vol. 106. – Pp. 63–70.
20. *Brazil M.* Network Optimization for the Design of Underground Mines / *M.Brazil, D.A. Thomas* // Networks. – 2007. – Pp. 40–50.
21. *Morin M.A.* Underground mine design and planning: complexities and interdependencies / *M.A. Morin* // Mineral Resources. – 2002. – Pp. 197–215.

22. *Brazil M.* Cost optimization for underground mining networks / *M.Brazil, D.A. Thomas, J.F. Weng, D.H. Lee, J.H. Rubinstein* // *Optimizat Eng.* – 2005. – Vol. 6. – Pp. 241–256.
23. Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений : монография / *В.Г. Гринец, В.П. Зубков, В.Ю. Изаксон, С.П. Шкулев.* – Новосибирск : Наука, 1999. – 215 с.
24. *Valuev A.M.* A new model of resource planning for optimal project scheduling / *A.M. Valuev* // *Mathematical Modelling and Analysis.* – 2007. – Vol. 12. – Pp. 255–266.
25. *Brazil M.* Access layout optimisation for underground mines / *M.Brazil, P.A. Grossman* // *Australian Mining Technology Conference.* – 2008. – Pp. 119–128.
26. Genetic Algorithms Application And Testing For Equipment Selection / *A.Haidar, S.Naoum, R.Howes, J.Tah* // *Journal of Construction Engineering and Management.* – 1999. – Vol. 1. – Pp. 32–38.
27. *Гринец В.Г.* Оценка перспектив повышения эффективности получения конечной продукции из угля / *В.Г. Гринец* // Физико-технические проблемы горного производства. – 2008. – № 11. – С. 126–135.
28. *Мамайкін О.Р.* Обґрунтування параметрів технологічних схем антрацитових шахт для їх адаптації до інновацій : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» / *О.Р. Мамайкін.* – Дніпропетровськ. – 21 с.
29. *Окалелов В.Н.* Методика прогноза технико-экономических показателей работы лав и шахт применительно к оценке угольных месторождений / *В.Н. Окалелов* // Сб-к науч. трудов ДонГТУ. – Алчевск : ДонГТУ, 2008. – № 26. – С. 33–49.
30. *Кононенко М.М.* Вибір і розрахунків систем підземної розробки рудних родовищ : навч. посібник / *М.М. Кононенко, О.Є. Хоменко, В.Ю. Усатий* ; Державний ВНЗ «НГУ». – Дніпропетровськ : НГУ, 2013. – 217 с.
31. *Гринец В.Г.* Обоснование параметров выбора комплектаций очистного оборудования с учетом области рациональной эксплуатации / *В.Г. Гринец, А.А. Хорольский* // Вести Донецкого горного института. – 2017. – № 1 (40). – С. 139–144.
32. *Гринец В.Г.* Приложение теории графов для эффективного выбора очистного оборудования на шахтах Донбасса / *В.Г. Гринец, П.П. Николаев* // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк, 2011. – № 14. – С. 166–172.
33. *Гринец В.Г.* Алгоритмы оптимизации сетевых моделей для выбора рациональных технологических цепочек очистного оборудования / *В.Г. Гринец, П.П. Николаев* // Материалы III межд. науч.-техн. конф. «Техногенные катастрофы: модели, прогноз, предупреждение». – Днепропетровск : НГУ, 2013. – С. 90–95.
34. *Хорольский А.А.* Рациональный выбор очистного оборудования для шахт Донбасса / *А.А. Хорольский, В.Г. Гринец, В.Г. Сынков* // Вести Донецкого горного института. – 2015. – Вып. 1 (36), № 2 (37). – С. 130–136.
35. *Хорольский А.А.* Рациональный выбор состава механизированных комплексов в условиях эксплуатации забоев Донбасса / *А.А. Хорольский, В.Г. Гринец, В.Г. Сынков* // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2015», 30 сентября – 3 октября, Днепропетровск. – Д. : НГУ, 2015. – Т. 1. – С. 58–68.
36. *Гриньов В.Г.* Дослідження роботи механізованих комплексів, призначених для виймання пластів потужністю 0,90–1,50 м, на основі застосування альтернативних графів / *В.Г. Гриньов, А.О. Хорольський* // Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів», 12–13 квітня 2017 р., Житомир. – Ж. : ЖДТУ, 2017. – С. 9–14.
37. *Гринец В.Г.* Графы и сети для выбора горно-шахтного оборудования : монография / *В.Г. Гринец.* – Днипро : Пороги, 2016. – 247 с.
38. *Хорольский А.А.* Исследование структуры горно-шахтного оборудования с применением графов и сетевых моделей / *А.А. Хорольский, В.Г. Гринец* // Материалы международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2017», 17–18 апреля 2017 г., Днепр. – Днепр : НГУ. – С. 72–82.

References:

1. Petenko, Y.V. and Majdukova, S.S. (2014), «Problemy rentabel'nosti ugol'noj produkcyy», *Ugol' Ukrainy*, No. 10, pp. 18–27.
2. Markevych, K. (2015), *Energetychna galuz' Ukrainy: pidsumky 2015 roku*, Centr Rozumkova, Kyi'v, 71 p.
3. Jashhenko, Ju.P. (2011), «Dostizhenie jekonomicheskikh proporcij rasshirenogo vosproizvodstva na dejstvujushhix shahtah Donbassa», *Ugol' Ukrainy*, No. 9, pp. 6–11.
4. Grebenkin, S.S., Kosarev, V.V., Topchij, S.E., Stadnik, N.I., Zenzerov, V.I., Steblin, V.V., Perepelica, B.A. and Popovskij, V.N. (2009), *Osnovy sozdaniya i jeffektivnoj jekspluatacii sistem zhizneobespecheniya ochistnogo oborudovanija dlja ugol'nyh shaht*, monografija, in Grebenkin, S.S. and Kosarev, V.V. (ed.), VIK, Doneck, 372 p.
5. Grinev, V.G., Nikolaev, P.P., Deulenko, A.I. and Cherepovskij, P.V. (2013), «Tehnologicheskie aspekty fiziki gomnyh processov», *Naukovi praci UkrNDMI NAN Ukraini*, No. 13, pp. 197–208.
6. Horol'skij, A.A., Grinev, V.G. and Synkov, V.G. (2014), «Racional'nyj vybor oborudovanija dlja shaht Donbassa», *Vesti Doneckogo gornogo instituta*, No. 1 (34), Vol. 2 (35), pp. 211–218.
7. Buzilo, V.I., Pojmanov, S.N. and Rasstriga, V.P. (2013), «Analiz vlijaniya tehnologii i jelementov sistemy razrabotki na jenergosbezhenie v ugol'nyh shahtah», *Rozrobka rodovishh–2013, shhoričnij nauk.-tehn. zb-k, Dnipropetrovs'k*, pp. 115–120.
8. Litvinskij, G.G. (2003), «O metodike i kriterijah ocenki tehničeskogo urovnja gornoj tehniki», *Vestnik akademii stroitel'stva Ukrainy*, pp. 62–67.
9. Kazakidis, V.N., «Planning for flexibility in underground mine production systems», *Advances in Futures and Options Research*, Vol. 4, JAI Press Inc., pp. 153–164.

10. Hoseinie, S.H. (2012), «Reliability analysis of drum shearer machine at mechanized longwall mines», *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 18, Emerald Group Publishing Limited, pp. 98–119.
11. Linnik, V.Ju. (2012), *Metodologicheskie osnovy prognozirovanija podzemnoj razrabotki ugol'nyh mestorozhdenij s uchetom pokazatelej syr'evoj bazy*, Abstract of diss. d-ra jekon. nauk, spec. 08.00.05 «Jekonomika i upravlenie narodnym hozjajstvom» (jekonomika, organizacija i upravlenie predprijatijami, otrasljami, kompleksami (promyshlennost')), Moskva, 39 p.
12. Antipov, I.V. (1996), *Geomechanicheskie i tehnologicheskie osnovy sozdaniya novogo urovnja krepej ochistnyh zaboev tonkih pologih plastov*, Abstract of diss. d-ra tehn. nauk, spec. 05.12.02 «Podzemnaja razrabotka mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh», Doneck, 39 p.
13. Grujic, M. and Tomasevic, A. (1996), «Choice of outside transportation system in underground coal mines by multiple criteria analysis», *Underground Mining Engineering*, Vol. 4, pp. 62–70.
14. Brzychczy, E.A. (2014), «Modern Tool for Modelling and Optimisation of Production in Underground Coal Mine», *Science on Distributed Computing Infrastructure*, pp. 317–334.
15. Bascetin, A. (2004), «An application of the analytic hierarchy process in equipment selection at Orhaneli open pit coal mine», *Mining Technology*, Vol. 113, pp. 192–199.
16. Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A. and Aghdasi, M. (2010), «PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications», *European Journal of Operational Research*, Vol. 200, pp. 198–215.
17. Wang, Ch. and Tu, Sh. (2015), «Selection of an Appropriate Mechanized Mining Technical Process for Thin Coal Seam Mining», *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 1, pp. 100–109.
18. Serafettin, A. and Mahmut, Y. (2009), «Underground mining method selection by decision making tools», *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 24, pp. 173–184.
19. Bascetin, A., Oztas, O. and Kanli, A. (2006), «EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering», *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, Vol. 106, pp. 63–70.
20. Brazil, M. and Thomas, D.A. (2007), «Network Optimization for the Design of Underground Mines», *Networks*, pp. 40–50.
21. Morin, M.A. (2002), «Underground mine design and planning: complexities and interdependencies», *Mineral Resources*, pp. 197–215.
22. Brazil, M., Thomas, D.A., Weng, J.F., Lee, D.H. and Rubinstein, J.H. (2005), «Cost optimization for underground mining networks», *Optimizat Eng.*, Vol. 6, pp. 241–256.
23. Grinev, V.G., Zubkov, V.P., Izakson, V.Ju. and Shkulev, S.P. (1999), *Reshenie gornyh zadach na JeVM pri osvoenii rudnyh mestorozhdenij*, monografija, Nauka, Novosibirsk, 215 p.
24. Valuev, A.M. (2007), «A new model of resource planning for optimal project scheduling», *Mathematical Modelling and Analysis*, Vol. 12, pp. 255–266.
25. Brazil, M. and Grossman, P.A. (2008), «A ccess layout optimisation for underground mines», *Australian Mining Technology Conferense*, pp. 119–128.
26. Haidar, A., Naoum, S., Howes, R. and Tah, J. (1999), «Genetic Algorithms Application And Testing For Equipment Selection», *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 1, pp. 32–38.
27. Grinev, V.G. (2008), «Ocenka perspektiv povyshenija jeffektivnosti poluchenija konechnoj produkcii iz uglja», *Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva*, No. 11, pp. 126–135.
28. Mamajkin, O.R., *Obg'runtuvannja parametriv tehnologichnyh shem atrancytovyh shaht dlja i'h adaptacii' do innovacij*, Abstract of dyss. kand. tehn. nauk, spec. 05.15.02 «Pidzemna rozrobka rodovysshh korysnyh kopalyn», Dnipropetrovsk, 21 p.
29. Okalelov, V.N. (2008), «Metodika prognoza tehniko-jekonomicheskikh pokazatelej roboty lav i shaht primenitel'no k ocenke ugol'nyh mestorozhdenij», *Sb-k nauch. trudov DonGTU*, No. 26, DonGTU, Alchevsk, pp. 33–49.
30. Kononenko, M.M., Homenko, O.Je. and Usatyj, V.Ju. (2013), *Vybir i rozrahunok system pidzemnoi' rozrobky rudnyh rodovysshh*, Derzhavnyj VNZ «NGU», NGU, Dnipropetrovsk, 217 p.
31. Grinev, V.G. and Horol'skij, A.A. (2017), «Obosnovanie parametrov vybora komplektacij ochistnogo oborudovanija s uchetom oblasti racional'noj jekspluatacii», *Vesti Doneckogo gornogo instituta*, No. 1 (40), pp. 139–144.
32. Grinev, V.G. and Nikolaev, P.P. (2011), «Prilozhenie teorii grafov dlja jeffektivnogo vybora ochistnogo oborudovanija na shahtah Donbassa», *Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva*, No. 14, Doneck, pp. 166–172.
33. Grinev, V.G. and Nikolaev, P.P. (2013), «Algoritmy optimizacii setevyh modelej dlja vybora racional'nyh tehnologicheskikh cepochek ochistnogo oborudovanija», *Materialy III mezhd. nauch.-tehn. konf. «Tehnogemnye katastrofy: modeli, prognoz, preduprezhdenie»*, NGU, Dnepropetrovsk, pp. 90–95.
34. Horol'skij, A.A., Grinev, V.G. and Synkov, V.G. (2015), «Racional'nyj vybor ochistnogo oborudovanija dlja shaht Donbassa», *Vesti Doneckogo gornogo instituta*, Vol. 1 (36), No. 2 (37), pp. 130–136.
35. Horol'skij, A.A., Grinev, V.G. and Synkov, V.G. (2015), «Racional'nyj vybor sostava mehanizirovannyh kompleksov v uslovijah jekspluatacii zaboev Donbassa», *Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Forum gornjakov – 2015»*, ot 30 sentjabrja–3 oktjabrja, Vol. 1, NGU, Dnepropetrovsk, pp. 58–68.
36. Grin'ov, V.G. and Horol'skij, A.O. (2017), «Doslidzhennja roboti mehanizovanih kompleksiv, priznachenih dlja vijmannja plastiv potuzhnistju 0,90–1,50 m, na osnovi zastosuvannja al'ternativnih grafiv», *Materialy IV Vseukraïns'koï naukovo-praktichnoï konferencii studentiv, aspirantiv ta molodih uchenih «Perspektivi rozvitku girnichoï spravi ta racional'nogo vikoristannja prirodnyh resursiv»*, vid 12–13 kvitnja, ZhDTU, Zhitomir, pp. 9–14.
37. Grinev, V.G. (2016), *Grafy i seti dlja vybora gorno-shahtnogo oborudovanija*, monografija, Porogi, Dnipro, 247 p.

38. Horol'skij, A.A. and Grinev, V.G. (2017), «Issledovanie struktury gorno-shahtnogo oborudovanija s primeneniem grafov i setevyh modelej», *Materialy mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye innovacionnye tehnologii podgotovki inzhenernyh kadrov dlja gornoj promyshlennosti i transporta 2017»*, ot 17–18 aprelja, NGU, Dnepr, pp. 72–82.

Хорольський Андрій Олександрович – аспірант Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України.

Наукові інтереси:

- оптимізація параметрів експлуатації вугільних родовищ;
- впровадження методів дискретної математики у гірництво;
- розробка програмних засобів.

E-mail: khorolskiyaa@ukr.net.

Грін'ов Володимир Герасимович – доктор технічних наук, професор, директор Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України.

Наукові інтереси:

- розробка наукових основ та підходів до вибору очисного обладнання;
- оптимізація параметрів експлуатації вугільних родовищ;
- розробка наукових підходів для керування процесами зміни стану мінеральних ресурсів вугільного родовища.

E-mail: grinevv@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 23.10.2017.