УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПЛЕКСНОГО МЕХАНІЗОВАНОГО ВИБОЮ З ЗАДАНИМ РІВНЕМ ВИДОБУТКУ

А.О. Хорольський[1], В.Г. Гріньов[2]

[1]аспірант, Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна, e-mail: khorolskiyaa@ukr.net

[2]доктор технічних наук, професор, Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна, e-mail: grinevv@ukr.net

Анотація. В роботі дається обґрунтування параметрів, які формують заданий рівень продуктивності очисного вибою. Встановлено, що відтворення заданого рівня продуктивності досягається за рахунок підвищення надійності технологічної схеми розробки родовища, визначення раціональної області експлуатації, оцінки рівня взаємозв'язку обладнання в системі «кріплення-комбайн-конвеєр». Представлення сукупності вхідних потоків ресурсів, засобів механізації та вихідних потоків, які виражаються видобутком та собівартістю, у вигляді мережевих моделей дозволяє оптимізувати параметри експлуатації родовища, тобто сформувати склад механізованого вибою з заданим рівнем продуктивності при найменшій собівартості видобутку. Особливу увагу приділено програмній реалізації запропонованих підходів.

Ключові слова: комплексний механізований вибій, довжина вибою, потужність пласта, собівартість видобутку, оптимізація, програмне забезпечення.

CREATING A STRUCTURE OF MECHANIZED EQUIPMENT WITH A CERTAIN CAPACITY

Andrey Khorolskiy[1], Vladimir Grinev[2]

[1]postgraduate student of Institute for Physics of Mining Processes the National Academy of Sciences of Ukraine (IPMP the NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, e-mail: khorolskiyaa@ukr.net

[2]Ph.D., Professor, Director of Institute for Physics of Mining Processes the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine, e-mail: grinevv@ukr.net

Abstract. If each parameter is assumed as a separate component in the alternative selection output graph, then, having applied the discrete math methods, the most acceptable composition of the extraction mechanized complex can be determined. In this case, the reliability improvement task reduces to the determination of the types of the high- interaction equipment operated within the determined rational operation zone; the mining unit cost shall be minimum one therein. Systematization of data on the reliable process chains of stoping equipment and determination of the operation rational area made it possible to develop new methodology for selection, optimization, and sequencing of the composition of the extraction complex with the pre-set productivity level.

Keywords: the area for the management; longwall faces; treatment mechanized complex,

optimization, network model.

Вступ. В умовах обмеженого фінансування паливно-енергетичного комплексу, падіння темпів підготовчих робіт, старіння шахтного фонду на перший план виходять задачі, які безпосередньо пов'язані зі збереженням життєдіяльності вугільних підприємств. Порядок денний формується питаннями забезпечення енергетичної незалежності України, стабілізації з поступовим збільшенням видобутку вугілля. Для вирішення, вказаних задач, необхідно особливу увагу приділити науковим основам створення високонавантажених комплексних механізованих вибоїв, а це неможливо здійснити без підвищення конкурентоспроможності існуючих засобів механізації. Існує практика заміни гірничо-шахтного обладнання на закордонні аналоги. Однак, в кошторисі держави на переоснащення очисних вибоїв закладається не більше 2 млрд грн [1, 2] – цих коштів вистачить на комплектацію 2-3 вибоїв, при застосуванні іноземних аналогів, або 5-6 при використанні техніки вітчизняного виробництва. У власності країни 33 вугільні шахти, тому запровадження сучасних засобів механізації на 2-3 підприємствах не дозволить вирішити проблеми галузі.

Незважаючи, на критичний стан речей, вітчизняні науковці досягли певних успіхів, а також змогли адаптувати, збагатити власними дослідженнями та впровадити у виробництво сучасні підходи до раціоналізації процесів гірничого виробництва.

А.Р. Мамайкіним [3] та В.І. Бондаренко [4] було обґрунтовано технологічні параметри вугільних шахт. Дослідження Кіяшко Ю.І. спільно з Сургай М.С. та Виноградовим В.В. [5] дозволили розробити методику оцінки техніко-економічного стану вугільних шахт; подальші дослідження, проведені Назимко В.В. [6], встановили залежності між типовими технологічними операціями та рівнем видобутку, а Литвинським Г.Г. [7] запропоновано методику оцінки існуючого рівня виймальної техніки. Як видно, із аналізу праць [3–7] задача раціоналізації технологічних схем експлуатації включає ряд етапів, серед них: встановлення рівня взаємозв'язку, визначення області експлуатації, оптимізація параметрів. Тобто, задача багатопланова, та не може бути вирішена за рахунок удосконалення окремого процесу. Запорукою збільшення рівня видобутку та мінімізації собівартості готової продукції є обґрунтування структури комплексного механізованого вибою (з заданими параметрами продуктивності) в межах визначених раціональних технологічних параметрів виймальної дільниці. Відтворення необхідного рівня видобутку, в межах заданих технологічних параметрів це не, що інше як надійність [8].

Співробітниками Інституту фізики гірничих процесів НАН України тривалий час ведуться дослідження, які присвячені стабілізації стану галузі,

раціональному використанню ресурсної бази. Наукові основи даного напрямку були сформовані В.Г. Гріньовим [9]. Їх достовірність, наукова та практична цінність підтвердились при вирішенні задач освоєння рудних родовищ [10]. Для вирішення проблем вугледобувного комплексу України було проведено оцінку фактичних показників роботи очисних вибоїв Донбасу, проведено дослідження впливу технологічних параметрів на рівень видобутку та розроблено методичні основи. Все це знайшло відображення в працях П.П. Ніколаєва [11, 12].

З активізацією бойових дій на сході країни та втратою найбільш перспективних вугільних підприємств у структурі Міненерговугілля, попередні дослідження [9–12] стали своєчасними та актуальними. Однак, залишився ряд питань, які не були достатньо висвітлені. Проте, в період з 2015 по 2018 рр. під керівництвом В.Г. Гріньова, ця прогалина була заповнена і настала потреба в систематизації даних та їх впровадженні у виробництво. По-перше, необхідно було зробити акцент на відтворенні мінімально прийнятного рівня продуктивності (1000 т/доб.) для умов функціонування шахт Донбасу, а це неможливо без аналізу прикладів ефективної та неефективної експлуатації комплексних механізованих вибоїв [13] з послідуючою формалізацією даних [14]. По-друге, слід було розробити базу для програмної реалізації [15, 16], яка полягає в розробці способів представлення даних про надійні комплектації обладнання та розробити забезпечення. По-третє, необхідно систематизувати дані, проаналізувати фактори які визначають рівень продуктивності [17, 18]. Таким чином, забезпечення високого рівня зв'язків між засобами механізації та відтворення заданого рівня продуктивності на основі підвищення надійності технологічної схеми шляхом оптимізації мережевих моделей, котрі демонструють неоднорідність та ймовірнісний характер формування рівня продуктивності є актуальною науковою задачею.

Мета роботи полягає в підвищенні надійності технологічних схем вугільних родовищ за рахунок вибору очисного обладнання та оптимізації параметрів експлуатації. Представлення сукупності вхідних потоків ресурсів, засобів механізації та вихідних потоків, які виражаються видобутком та собівартістю, у вигляді мережевих моделей дозволяє оптимізувати параметри експлуатації родовища, тобто сформувати склад механізованого вибою з заданим рівнем продуктивності при найменшій собівартості видобутку.

Матеріал та результати дослідження. Як зазначалось раніше відтворення заданого рівня продуктивності (понад 1000 т/доб.) досягається при високому рівні надійності технологічної схеми. Здатність комплексу забезпечити вказане навантаження на вибій в межах технологічних параметрів дільниці називають *надійністю*. Система «кріплення-комбайн-конвеєр»,

яка формує рівень продуктивності, в залежності від рівня взаємозв'язку між виробничими операціями, прийнято називати «*технологічний ланцюжок*», а сукупність вхідних ресурсних параметрів та вихідного рівня видобутку при питомій собівартості називають «*технологічною схемою*». Тоді, рівень надійності P формується групою параметрів: P_T - технологічні параметри, P_E - засоби механізації, P_C - питома собівартість видобутку. Умову надійності зручно представити вектором рішень P:

$$p(P_T, P_E, P_C) = \min(P_T, P_E, P_C) \quad (1)$$

В таблиці 1 наведено характеристики надійної технологічної схеми.

Таблиця 1 – Умова надійності технологічної схеми

Показник	Значення критерію	Форма обмежень
технологічні параметри виймальної дільниці P_T		
потужність пласта m_n	$M \subseteq H \Leftrightarrow \forall m_n \in M: m_n \in H$	$M \subseteq H$
довжина вибою l_n	$L \subseteq W \Leftrightarrow \forall l_n \in L: l_n \in W$	$L \subseteq W$
кут падіння α_n	$\mathrm{A} \subseteq U \Leftrightarrow \forall \alpha_n \in \mathrm{A}: \alpha_n \in U$	$\mathrm{A} \subseteq U$
комплектація очисного вибою P_E		
кріплення t_n	$T \subseteq R \Leftrightarrow \forall t_n \in T: t_n \in R$	$T \subseteq R$
комбайн c_n	$C \subseteq S \Leftrightarrow \forall c_n \in C: c_n \in S$	$C \subseteq S$
конвеєр k_n	$K \subseteq A \Leftrightarrow \forall k_n \in K: k_n \in A$	$K \subseteq A$
питома собівартість видобутку P_C		
кошти на придбання техніки Z_n	$Z_n \to \min$	$Z_{\max} \leq Z_n \leq Z_{\min}$
ресурс обладнання R_n	$R_n \to \max$	$R_{\min} \leq R_n \leq R_{\max}$

де M, L, A – сукупність раціональних параметрів експлуатації; а H, W, U – технологічні параметри розробки; T, C, K – раціональні типи очисного обладнання, R, S, A – множина існуючих варіантів комплектацій.

Тоді, продуктивність на рівні 1000 т/доб. можлива лише в тому випадку коли довжина вибою l_n є раціональною $l_n \in L$, тобто знаходиться в множині раціональних довжин вибою L; теж саме і для потужності пласта $m_n \in M$, кута падіння $\alpha_n \in \mathrm{A}$, де M, A – множини раціональних довжин вибою та кута падіння відповідно. При цьому засоби механізації t_n, c_n, k_n мають високий рівень взаємозв'язку, тобто виконується умова: $t_n \in T$; $c_n \in$

C; $k_n \in K$; де T, C, K – множини раціональних типів очисного обладнання.

Не менш важливою умовою є те, що питома собівартість видобутку P_{NC} повинна бути мінімальною, а це можливе лише тоді, коли ресурс обладнання максимальний $R_n \to \max$, а витрати на придбання обладнання мінімальні $Z_n \to \min$.

Тоді, любу альтернативу очисного обладнання можна представити у вигляді маршруту (2), який проходить, через вершини, які відповідають значенням параметру:

$$m_n \to l_n \to t_n \to c_n \to k_n \to v_n \to s_{nn} \to g_n \qquad (2)$$

Для умов родовищ Донбасу було визначено альтернативи обладнання, які здатні забезпечити видобуток на рівні 1000 – 3300 т/доб. в межах потужності пласта 0,90 – 2,60 м, з кроком 0,20 м. Ці альтернативи можна представити універсальним графом.

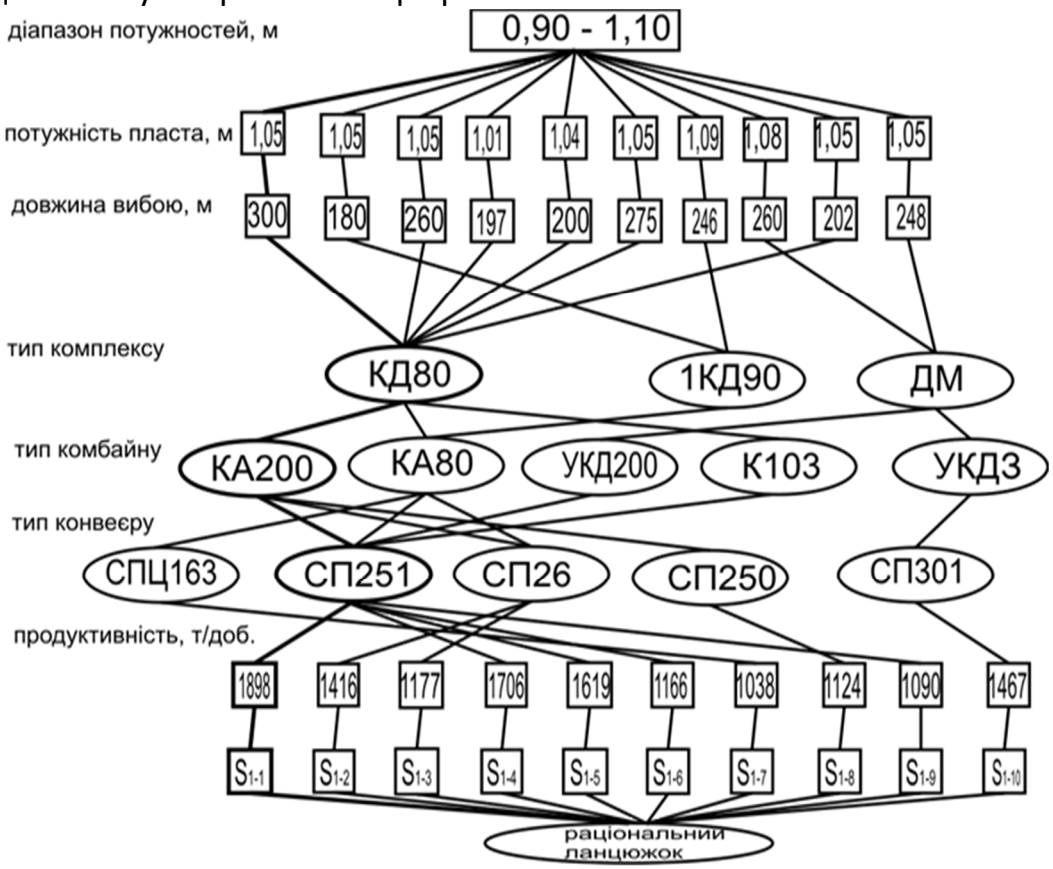
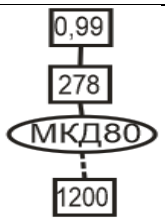
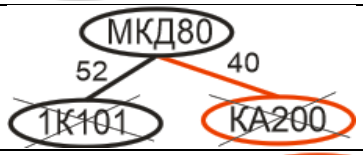


Рис. 1. – Універсальний граф вибору альтернатив очисного обладнання

При цьому рівень видобутку прямо пропорційно залежить від кількості врахованих взаємозв'язків між засобами механізації, які враховуються в процесі оптимізації. Під *оптимізацією* технологічного ланцюжку розуміють

знаходження структури видобувного комплексу з найменшим значенням параметру (наприклад: питома собівартість видобутку) з поміж представлених альтернативних варіантів, а під *впорядкуванням* – з поміж можливих (табл. 2).

Таблиця 2 – Терміни та умовні позначення

Термін	Умовне позначення (у відповідності до рис. 1)	Параметр у відповідності до формули 2
Універсальний граф		g_n
Параметри, які слід виключити	потужність пласта, м 0,99 довжина вибою, м 229 видобуток, т/доб. 1200 альтернатива $S_{1\text{-}2}$	m_n l_n v_n s_{nn}
Мережева модель		t_n – кріплення; c_n – комбайн; k_n – конвеєр;
Оптимізація		$(t_n, c_n, k_n) \in g_n$
Впорядкування		$\sum \min(t_n, c_n, k_n)$

Оптимізація та впорядкування може здійснюватись на основі застосування алгоритмів оптимізації, ручного перебору, засобів офісного програмування. Кожному альтернативному графу, в межах потужності пласта 0,90 – 2,60 м, відповідає окрема мережева модель. Тоді, дані про надійні структури видобувного комплексу зручно представити у вигляді матриць суміжності з послідуючою програмною реалізацією [19, 20]. Для запровадження вказаних підходів співробітниками ІФГП НАН України розроблено відповідне програмне забезпечення, яке дозволяє проводити оптимізацію [21], впорядкування [22] та рекомендувати надійні засоби механізації у відпо-

відності до умов експлуатації [23]. На рис. 2 показано інтерфейс модулю оптимізації та впорядкування, а на рис. 3 автоматизований «Довідник з вибору очисного обладнання».

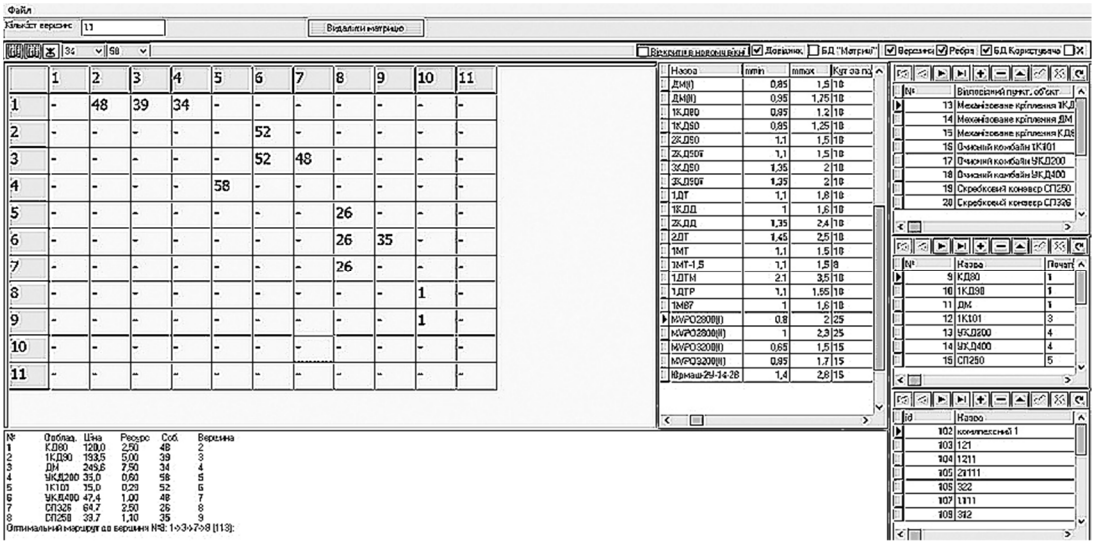


Рис. 2. – Інтерфейс модулю впорядкування та оптимізації

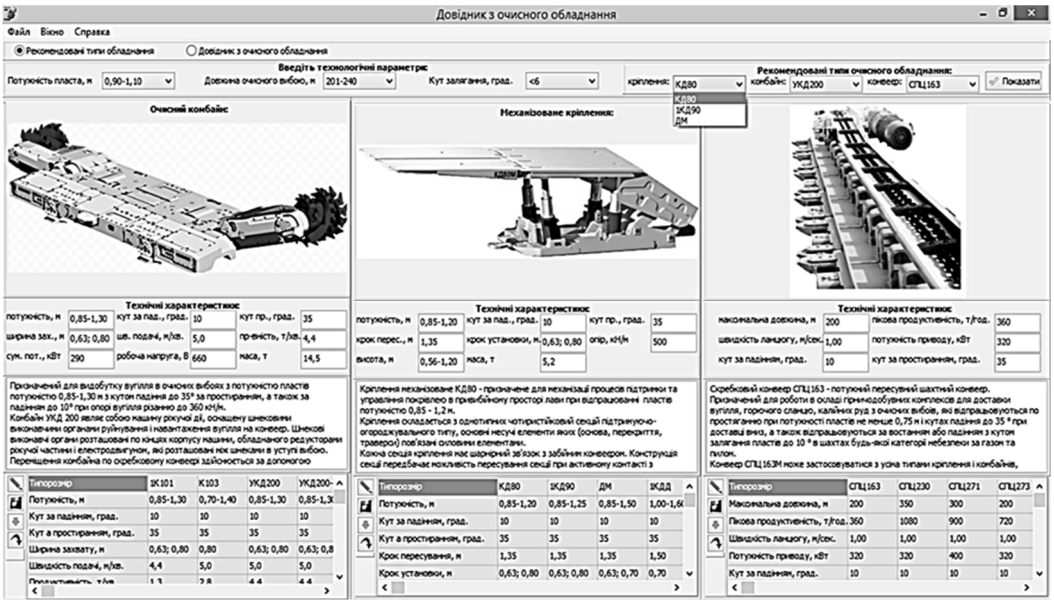


Рис. 3. – Інтерфейс модулю «Довідник очисного обладнання»

Застосування наведеного програмного забезпечення дозволяє автоматизувати процес вибору засобів механізації у відповідності до умов експлуатації вугільного родовища, знизити собівартість видобутку та забезпечити показники продуктивності на рівні 1000 – 3300 т/доб., тобто вирішити задачі збереження життєдіяльності та поступового нарощування видобутку.

Висновок. В процесі виконання дослідження було встановлено, що забезпечення заданого рівня продуктивності досягається за рахунок підвищення надійності технологічних схем експлуатації вугільного родовища, котру можна представити у вигляді мережевої моделі, яка демонструє співвідношення вхідних потоків ресурсів, засобів механізації та вихідних потоків представлених рівнем видобутку при заданій собівартості. Всі ці заходи дозволяють забезпечити стабільні показники видобутку в межах визначених технологічних параметрів виймальної дільниці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про державний бюджет України на 2016 рік» // «Законодавство України». URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/928-19 (дата звернення 02.04.18).

2. Закон України «Про державний бюджет України на 2017 рік» // «Законодавство України». URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1801-19 (дата звернення 02.04.18).

3. Мамайкін О.Р. Обґрунтування параметрів технологічних схем антрацитових шахт для їх адаптації до інновацій: автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин»/ А.Р. Мамайкін – Дніпропетровськ. – 21с.

4. Пивняк Г. Г., Бондаренко В. И., Пилов П. И. Научные проблемы освоения угольных месторождений Украины // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2005. № 4. С. 107–114.

5. Сургай Н.С., Виноградов В.В., Кияшко Ю.И. О готовности шахт к применению оборудования нового технического уровня // Уголь Украины. 2001. № 7. С. 3-8.

6. Назимко В.В., Мерзликин А.В., Селезнева Ю. Совершенствование математической модели надежности работы очистного забоя с учетом влияния горного давления // Проблемы горного давления. 2012. №20. С. 20 – 28.

7. Литвинский Г. Г. О методике и критериях оценки технического уровня горной техники // Вестник академии строительства Украины. Донецк : Норд-Пресс, 2003. С. 62–67.

8. Armstrong, C. G. «Modeling Requirements for Finite-element Analysis», Computer-Aided Design, Vol. 26, No. 7, pp. 573-578, 1994.

9. Гринев В. Г. Графы и сети для выбора горно-шахтного оборудования. Днипро : Пороги, 2016. 247 с.

10. Гринев В.Г., Зубков В.П. Изаксон В.Ю. Шкулев С.П. Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений: Монография /Новосибирск, Наука,1999. - 215 с.

11. Гринев В. Г., Николаев П. П. Приложение теории графов для эффективного выбора очистного оборудования на шахтах Донбасса // Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва. 2011. № 14. С. 166–172.

12. 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.

13. Хорольский А.А. Рациональный выбор состава механизированных комплек-

сов в условиях эксплуатации забоев Донбасса / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2015» (30 вересня – 3 жовтня 2015 р.). Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2015. — Т. 1. – С. 58–68.

14. Хорольский А.А. Обоснование возможности применения классической теории графов для выбора комплексов горного оборудования /А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Матеріали міжнародної конференції «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту 2016» (26–27 травня 2016 р). Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2016. С. 57–64.

15. Хорольский А.А. Совершенствование технологии механизированной добычи угля на основе рационального выбора комплектаций очистного оборудования / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2016» (5 – 8 жовтня 2016 р.). Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2016. — Т. 2. – С. 158–167.

16. Хорольский А.А. Выбор комплексов горно-шахтного оборудования на основе теории графов / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Науковий вісник НТУУ «КПІ». Серія: «Гірництво». — 2016. — № 31. — С.57–64.

17. Хорольський А. О. Вдосконалення структури технологічних ланцюжків очисного обладнання на основі оптимізації мережевих моделей / А.О. Хорольський, В.Г. Гріньов, О.П. Каліущенко // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2017» (4 – 7 жовтня 2017 р.). Дніпро : Національний гірничий університет, 2017. — С. 55–62.

18. Хорольский А.А. Исследование структуры горно-шахтного оборудования с применением графов и сетевых моделей / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев // Матеріали міжнародної конференції «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту 2017» (17–18 квітня 2017 р.). Дніпро : Національний гірничий університет, 2017. — С. 72–82.

19. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы: построение и анализ (Introduction to Algorithms). — 2-е изд. — М.: «Вильямс», 2006. — 1296 с.

20. Бакнелл Джулиан М. Фундаментальные алгоритмы и структура данных в Delphi : Пер. с англ. / Джулиан М. Бакнелл. — СПб.: ООО «ДипСофтЮП», 2003. — 560 с.

21. Гринев В.Г. Система поддержки принятия решений при разработке месторождений полезных ископаемых / В.Г. Гринев, А.А. Хорольский // Горно-геологический журнал. — 2017. — № 3(51)-№4(52). — С.18–24.

22. Хорольський А.О. Системні принципи та оціночний критерій надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ / А.О. Хорольський, В.Г. Гріньов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки». — 2017. — № 2(80). — С. 199–207.

23. Хорольский А. А. Сетевые модели как инструмент повышения организационно технологической надежности производства / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев // Материалы V Международной научно-практической интернет-конференции «Инновационные технологии в образовании, науке и производстве» (18-19 ноября 2017 г). Минск : Белорусский национальный технический университет. Режим доступа: https://rep.bntu.by/handle/data/36360.