

УДК 622:33.003.55:681.3

**Хорольський А.О.,** магістр  
(ІФГП НАН України)**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ВУГІЛЬНИХ  
РОДОВИЩ НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ  
ВІДПОВІДНИХ ЇМ СТРУКТУР ОЧИСНОГО ОБЛАДНАННЯ****Хорольский А.А.,** магістр  
(ИФГП НАН Украины)**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ  
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ  
СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ СООТВЕТСТВУЮЩИХ ИМ СТРУКТУР  
ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ****Khorolskiy A.A.,** M.S (Tech.)  
(IPMP of the NAS of Ukraine)**IMPROVEMENT OF RELIABILITY OF TECHNOLOGY OF COAL  
DEPOSIT DEVELOPMENT THROUGH OPTIMIZED NETWORKING  
MODELS OF CORRESPONDING TREATMENT EQUIPMENT  
STRUCTURES**

**Анотація.** В статті описано новий спосіб визначення оптимальних комплектацій очисного обладнання. На основі аналізу даних про фактичні показники роботи комплексних механізованих вибоїв в Донецькій та Дніпропетровській областях було визначено раціональні технологічні ланцюжки очисного обладнання для пластів потужністю 0,90 – 2,60 м. Кожному діапазону потужності пласта відповідає окремий універсальний граф вибору альтернатив.

Відображення на графах фактичних взаємозв'язків комплектацій та параметрів розробки вугільних родовищ є демонстрацією раціональної області експлуатації гірничо-шахтного обладнання. Встановлено, якщо продуктивність технологічних ланцюжків «кріплення – комбайн – конвеєр» перебуває на високому рівні, то такі комплектації слід вважати надійними в межах заданих гірничо-геологічних параметрів, а комплектації з мінімальними показниками добового навантаження слід вважати нераціональними та небажаними при вирішенні задачі пошуку оптимальних комплектацій.

Формалізація графів та представлення їх у вигляді мережових моделей дозволяє визначити найбільш бажану комплектацію очисного обладнання з позиції мінімізації оптимізаційного параметру, окрім цього існує можливість впорядкування механізованого комплексу на рівнях «кріплення – комбайн», «комбайн - конвеєр». Застосування описаного в роботі програмного забезпечення дозволяє автоматизувати процеси пов'язані з пошуком раціональних комплектацій механізованих комплексів, оптимізацією технологічних ланцюжків очисного обладнання.

**Ключові слова:** очисний механізований комплекс, алгоритми оптимізації, універсальний граф, програмне забезпечення.

**Вступ.** За інформацією Міністерства енергетики та вугільної промисловості України держава щорічно потребує 5,7 – 8,1 млн т вугілля марок Д, Г; при

заміщенні альтернативних джерел енергії потреба складатиме 12,2 млн т вугілля марок А, Д, Г без урахування потреб промисловості [1].

У відповідності до «Енергетичної стратегії розвитку України до 2035 року» [2] доля вугілля в енергетичному балансі не зменшиться (приблизно 34 млн т у н.е.). Для підтримання запланованого рівня видобутку та подальшої стабілізації роботи вугільної промисловості необхідно вводити в експлуатацію нові очисні вибої. Зважаючи на скорочення темпів проведення очисних робіт та суттєве подорожчання очисного обладнання мова про збільшення кількості очисних вибоїв не ведеться. Тому умовою збереження життєдіяльності підприємства є збільшення добового навантаження на очисний вибій. Перш за все це досягається за рахунок оцінки надійності можливих варіантів технології розробки. Під надійністю технології розробки розуміють властивість об'єкту зберігати в часі та в межах усіх встановлених параметрів необхідні функції. Надійною комплектацією очисного обладнання будемо вважати ту, яка може забезпечити високі показники добового навантаження (понад 1000 т/доб.) в межах заданих технологічних та гірничо-геологічних параметрів виймальної ділянки.

Метою роботи є дослідження є оцінка надійності технології експлуатації вугільних родовищ Донбасу за рахунок оптимізації вибору очисного обладнання на основі методів дискретної математики.

У відповідності до мети були сформовані задачі, які полягали у:

- дослідженні фактичних показників роботи очисних вибоїв;
- співставленні рівня продуктивності виймальної ділянки з номенклатурою обладнання, яке застосовується;
- встановленні та подальшій графовій інтерпретації даних про раціональні комплектації очисного обладнання;
- вдосконаленні методології вибору складу комплексного механізованого вибою у відповідності до сучасних інформаційних технологій.

Послідовне виконання задач дослідження дозволило визначити найбільш надійні варіанти технології експлуатації вугільних родовищ та розробити необхідне програмне забезпечення.

**Оцінка надійності технології розробки на основі аналізу показників роботи очисних вибоїв. Методологія оптимізації технологічних ланцюжків.** В якості об'єкту дослідження використано дані про фактичні показники роботи очисних вибоїв в Донецькій та Дніпропетровській областях за 2008 – 2010 рр. Було проаналізовано рівень продуктивності очисного вибою в залежності від технологічних та гірничо-геологічних параметрів виймальної ділянки. Значну увагу приділено співставленню рівня добового навантаження на вибій з наявними технологічними ланцюжками очисного обладнання. На основі аналізу даних про роботу очисних вибоїв можна зробити наступні висновки:

- між продуктивністю вибою та технологічними параметрами експлуатації відсутній зв'язок; при статистичному аналізі показників роботи існує ряд факторів які не можна врахувати, наприклад рівень взаємозв'язку типів очисного обладнання;

- для кожного набору технологічних та гірничо-геологічних параметрів виймальної ділянки існує ряд альтернатив очисного обладнання, які можуть бути представлені універсальними графами;

- мірою надійності технології розробки родовищ є продуктивність очисного вибою; комплектації технологічних ланцюжків «кріплення – комбайн – конвеєр» які забезпечують показники добового навантаження на рівні 1000 т/доб. вважають надійними та придатними для подальшої оптимізації, в іншому випадку – ненадійними та непридатними.

Підвищення надійності технології розробки досягається оптимізацією технологічних ланцюжків очисного обладнання. При цьому враховуються лише раціональні комплектації технологічних ланцюжків в межах заданих параметрів виймальної ділянки. В діапазоні потужності пласта 0,90 – 2,60 м (з кроком 0,20 м) існує набір можливих варіантів. Задача полягає у визначенні одної, найбільш прийнятної комплектації з позиції мінімізації оптимізаційного параметру. В.Г. Гріньовим було запропоновано використовувати мережі та графи для вибору гірничо-шахтного обладнання [3]. Наведені підходи дозволяють вирішувати не тільки задачі пов'язані з видобутком вугілля, але і в цілому оптимізувати технологічні процеси гірничого виробництва. Дослідження, проведені співробітниками інституту [4; 5] О.П. Каліущенко, О.І. Деуленко, П.П. Ніколаєвим, П.В. Череповським (під керівництвом В.Г. Гріньова), дозволили розробити та адаптувати к умовам функціонування вугільних родовищ Донбасу описану методологію (рис. 1).

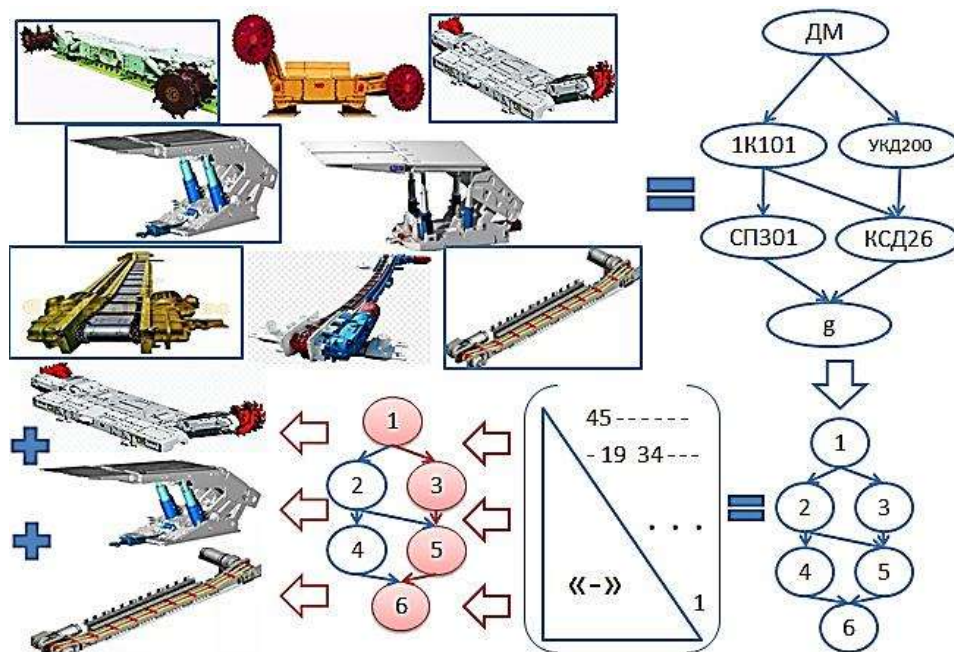


Рисунок 1 – Методологія оптимізації технологічних ланцюжків очисного обладнання

Як видно із рис. 1 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.

**Програмна реалізація. Практичне застосування.** Для впровадження наведених в роботі підходів було розроблене відповідне програмне забезпечення. Створення програми передбачало ряд етапів пов'язаних з формалізацією та представленням у вигляді мереж даних про роботу очисних вибоїв; розробленням способів, вводу, виводу, збереження інформації, забезпеченням можливості багатofакторного аналізу, створенням модулю формування звітів (рис. 2).



Рисунок 2 – Базові можливості програми

Основним модулем програми є «Оптимізація мережевих моделей». Дані про раціональні типи очисного обладнання, в залежності від параметрів виймальної ділянки, представлені масивами міток, даних про вершини та ребра мережі. Процес пошуку найбільш прийнятної комплектації з позиції мінімізації заданого параметру можна сформулювати як задачу пошуку найкоротшого маршруту в орієнтованому графі. Дану задачу можна вирішити застосувавши алгоритм Дейкстри.

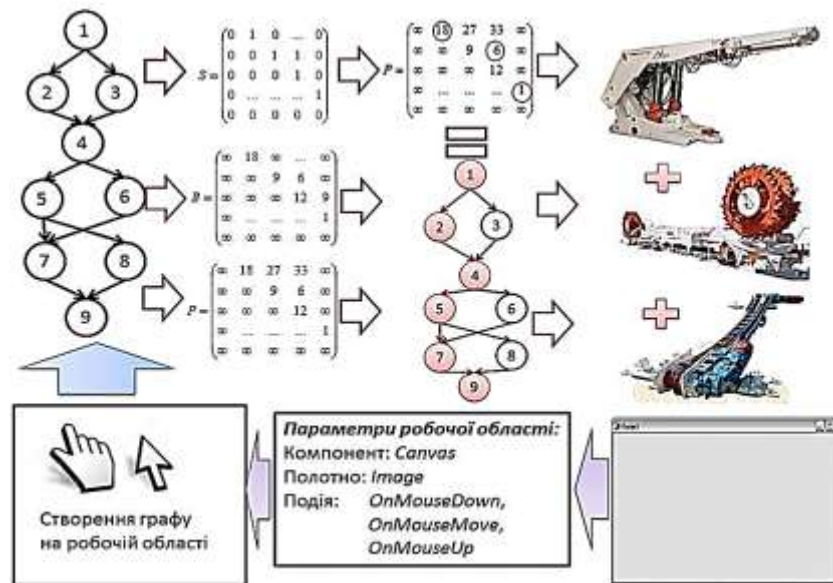


Рисунок 3 – Програмна реалізація процесу оптимізації структури механізованого комплексу

Запропонована програмна реалізація [6] 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 та графічному представленні;
- 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.

В залежності від вимог, які висуваються на стадії проектування, програма дозволяє визначити єдино вірний варіант комплектації очисного вибою в залежності від технологічних, гірничо- геологічних параметрів дільниці.

Практична реалізація та ілюстрація 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 дільниці були ідентичні: потужність пласта 1,10 – 1,20 м, довжина лави 290 м, кут падіння  $5^{\circ}$ .

При розробці «Рекомендацій щодо модернізації структури технологічних ланцюжків очисного обладнання» в рамках ДП ВК «Краснолиманська» були висунуті наступні вимоги:

- зольність вугілля повинна бути мінімальною, тому необхідно мінімізувати взаємодію очисного комбайну з боковими породами, окрім цього висота корпусу повинна бути мінімальною; зважаючи на ці вимоги із подальшого вибору виключають комбайн РКУ10;

- наявність серійного виробництва та можливість в найкоротший термін замінити вузол комбайну; таким вимогам не задовольняє комбайн К103;

- шнековий тип виконавчого органу, це забезпечить регулювання висоти виконавчого органу за потужністю пласта та мінімізувати рівень енерговитрат, зважаючи на все вищевикладене з подальшого розрахунку виключаються альтернативи з очисним комбайном КА80;

- взаємодія з конвеєром, зважаючи на те, що на підприємстві використовується комбайн УКД400 і в подальшому саме цей тип комбайна є найбільш перспективним необхідно передбачити узгодженість системи переміщення очисного комбайну з рештатним ставом, даним вимогам не задовольняє конвеєр СП26.

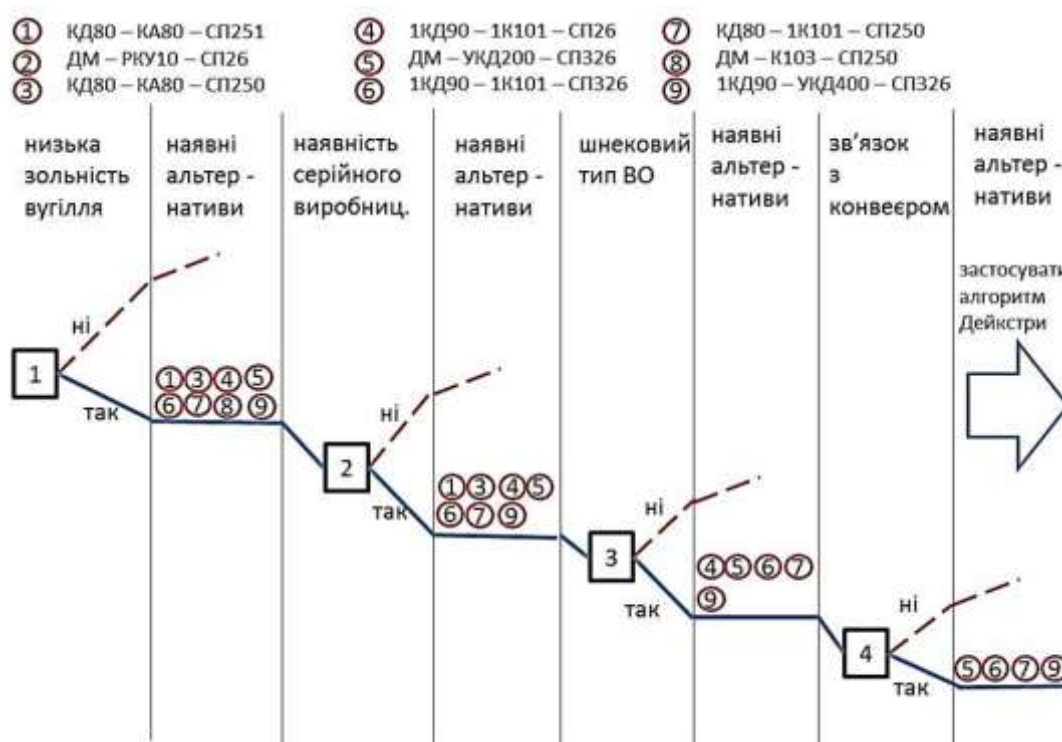


Рисунок 4 – Дерево прийняття рішень (в рамках ДП ВК «Краснолиманська»)

На першому етапі застосувавши 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, зважаючи на це були виключені альтернативи з комбайном К103;

- наявність шнекового виконавчого органу, у зв'язку з невитриманою потужністю пласта використання комбайнів КА80 та КА200 недоцільно.

Після попереднього аналізу запропонованих комплектацій та виключення небажаних варіантів було оптимізовано технологічний ланцюжок очисного обладнання за параметром «питома собівартість». В результаті було запропоновано замінити існуючу комплектацію («кріплення 1КД90 – комбайн 1К101 – конвеєр СП26») на «кріплення ДМ – комбайн РКУ10 – конвеєр СП26». Впровадження запропонованих 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 вище прикладів реалізації методів дискретної математики програма дозволяє в залежності від вимог користувача рекомендувати оптимальний варіант комплектації. На рис. 5 показано робоче вікно програми.

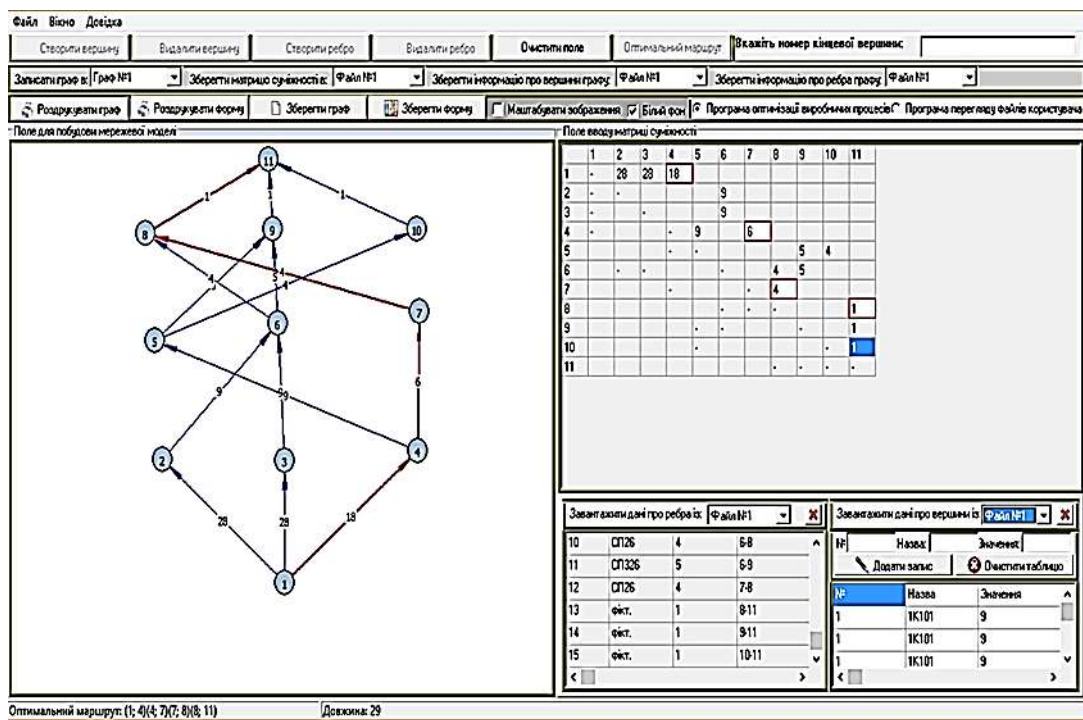


Рисунок 5 – Робоче вікно програми оптимізації мережевих моделей

Результати моніторингу роботи очисних вибоїв та застосування розробленого програмного забезпечення можуть бути використані не тільки на стадії проектування виймальної дільниці, в якості експрес-аналізу, але і в якості оцінки пріоритетів на виготовлення гірничо-шахтного обладнання вітчизняними машинобудівними заводами.

**Висновки.** На основі наведеного в роботі дослідження можна зробити наступні узагальнення:

- основною запорукою збереження життєдіяльності підприємства є підви-

щення навантаження на очисний вибій, це може досягатись за рахунок вибору надійних комплектацій структури механізованого комплексу;

- мірою надійності технології розробки є рівень продуктивності;
- оптимізація та впорядкування структури очисного обладнання відбувається на основі застосування алгоритмів оптимізації на мережах і графах;
- основною перевагою наведеного методу є можливість вибору бажаної комплектації в залежності від параметрів виймальної ділянки.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Міністерство палива та енергетики України. Енергетична стратегія розвитку України до 2035 року (Проект). [Електрон. ресурс]; режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244979237> – Загол. з екрану. (дата звернення 08.09.17).
2. Міністерство палива та енергетики України. Нова Енергетична стратегія України: безпека, енергоефективність, конкуренція (Проект) [Електрон. ресурс]; режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245032412>. (дата звернення 08.09.17).
3. Гринев, В. Г. Графы и сети для выбора горно-шахтного оборудования / В. Г. Гринев. – Дніпро: Пороги, 2016. – 247 с.
4. Гринев, В.Г. Судьба украинского угля на фоне ситуации в Донбассе / В.Г. Гринев, Е.П. Калиущенко // Физико-технические проблемы горного производства. — 2016. — №18. — С.135–143.
5. Технологические аспекты физики горных процессов / В.Г. Гринев, П.П. Николаев, А.И. Деуленко, П.В. Череповский // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк – 2013. – №13. С.197–208.
6. Гринев, В.Г. Обоснование параметров выбора комплектаций очистного оборудования с учетом области рациональной эксплуатации / В.Г. Гринев, А.А. Хорольский // Вести Донецкого горного института. — 2017. – №1 (40). – С.137–144.

#### REFERENCES

1. Ministry of Fuel and Energy of Ukraine (2016), *Energetychna strategiya rozvytku Ukrayiny do 2035 roku (Proekt)* [Energy Strategy of Ukraine's Development till 2035 (Project)], available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244979237>, (Accessed 08.09.2017).
2. Ministry of Fuel and Energy of Ukraine (2016), *Nova Enerhetychna stratehiya Ukrayiny: bezpeka, enerhoefektyvnist' , konkurentsya (Proekt)* [New Energy Strategy of Ukraine: Security, Energy Efficiency, Competition (Project)], available at: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245032412>, (Accessed 08.09.2017).
3. Grinev, V.G. (2016), *Grafy i seti dlya vybora gorno-shakhtnogo oborudovaniya* [Graphs and networks for selection of mining equipment], Porogi, Dnipro, Ukraine.
4. Grinev, V.G. and Kaliushenko, E.P. (2016), *Sudba ukrainskogo uglya na fone situatsii v Donbasse* [The fate of Ukrainian coal against the backdrop of the situation in Donbass], *Physical and technical problems of mining*, vol. 18, pp. 135 – 143.
5. Grinev, V.G., Nikolaev, P.P., Deulenko A.I. and Cherepovskiy, P.V. (2013), “Technological aspects of physics of mining processes”, *Scientific paper UkrNDMI NAS of Ukraine*, vol. 13, pp. 197 – 208.
6. Grinev, V.G. and Khorolskiy, A.A. (2017), “Ground of rational parameters of the mechanized mining equipment taking into account region of the rational exploitation”, *Proceedings of the Donetsk Mining Institute*, vol. 40, pp. 137 – 144.

#### Про автора

**Хорольський Андрій Олександрович**, магістр, аспірант, Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України (ІФГП НАН України), Дніпро, Україна, [khorolskiyaa@ukr.net](mailto:khorolskiyaa@ukr.net).

#### About the author

**Khorolskiy Andriy Oleksandrovych**, Master of Sciences, Doctoral Student, Institute for Physics of Mining Processes the National Academy of Sciences of Ukraine (IPMP NASU), Dnipro, Ukraine, [khorolskiyaa@ukr.net](mailto:khorolskiyaa@ukr.net).



**Аннотация.** В статье описан новый способ определения оптимальных комплектаций очистного оборудования. На основе анализа данных о фактических показателях работы комплексных механизированных забоев в Донецкой и Днепропетровской областях были определены рациональные технологические цепочки очистного оборудования для пластов мощностью 0,90 - 2,60 м. Каждому диапазону мощности пласта соответствует отдельный универсальный граф выбора альтернатив.

Отображение на графах фактических взаимосвязей комплектаций и параметров разработки угольных месторождений является демонстрацией рациональной области эксплуатации горно шахтного оборудования. Установлено, если производительность технологических цепочек «крепь - комбайн - конвейер» находится на высоком уровне, то такие комплектации следует считать надежными в пределах заданных горно-геологических параметров, а комплектации с минимальными показателями суточной нагрузки следует считать нерациональными и нежелательными при решении задачи поиска оптимальных комплектаций.

Формализация графов и представление их в виде сетевых моделей позволяет определить наиболее желаемую комплектацию очистного оборудования с позиции минимизации оптимизационного параметра, кроме этого существует возможность упорядочивания механизированного комплекса на уровнях «крепь - комбайн», «комбайн - конвейер». Применение описанного в работе программного обеспечения позволяет автоматизировать процессы, связанные с поиском оптимальных комплектаций механизированных комплексов, оптимизацией технологических цепочек очистного оборудования.

**Ключевые слова:** очистной механизированный комплекс, алгоритмы оптимизации, универсальный граф, программное обеспечение.

**Abstract.** The article describes a new method for determining optimal combination of the treatment equipment. Rational technological chains of treatment equipment for the seams with thickness of 0.90 - 2.60 m were determined on the base of analysis of factual performance indicators of the fully-mechanized longwalls in Donetsk and Dnipropetrovsk regions. Each seam thickness range corresponds to certain universal graph of alternatives to be chosen.

Graphical display of factual interrelations between the set of equipment and parameters of the opencast coal development demonstrates rational domain of the mining equipment operation. It is stated that, while searching an optimal set of equipment, if productivity of the “support – combine – conveyor” technological chain is at the high level then such set of equipment should be considered reliable for the given geological and rock parameters, and sets of equipment with minimum daily load should be considered non-rational and undesirable.

Formalization of the graphs and displaying them in the form of networking models allows to determine the most desirable set of treatment equipment in context of minimizing of optimization parameter; besides, it is possible to arrange a mechanized complex at the level of “support – combine” and “combine – conveyor”. The software described herein allows to automatize processes of searching for optimal sets of mechanized complexes and optimize technological chains of treatment equipment.

**Key words:** mechanized complexes of treatment equipment; algorithm optimization; statistical analysis; graph theory; network model.

*Статья поступила в редакцию 11.09.2017*

*Рекомендовано к печати д-ром технических наук К.К. Софийским*