

УДК622: 33.003.55

А.О. Хорольский, аспирант, **В.Г. Гринев**, д.т.н., проф. (ИФГП НАН Украины),
В.Г. Сынков, д.т.н., проф.. (КИИ ГВУЗ ДонНТУ)

ВЫБОР КОМПЛЕКСОВ ГОРНО-ШАХТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ

A.A. Khorolskiy, V.G. Grinev (IFGP NAS of Ukraine), **V.G. Synkov** (KI DonNTU)

CHOICE COMPLEXES MINING EQUIPMENT BASED ON GRAPH THEORY

В роботі розглянуті основні підходи до вибору очисного обладнання. Запропоновано проводити вибір очисного обладнання на основі теорії графів. Використання теорії графів може бути альтернативою вже існуючим методикам вибору обладнання. Застосування мережевих моделей дозволило визначити найбільш раціональні комплектації очисного обладнання з позиції мінімізації собівартості, рівня енерговитрат, рівня капітальних витрат.

Ключові слова: раціональна область експлуатації; статистична обробка результатів; альтернативний граф; мережева модель; алгоритм Дейкстри; алгоритм Флойда; раціональна комплектація обладнання.

В работе рассмотрены основные подходы к выбору очистного оборудования. Предложено производить выбор очистного оборудования на основе теории графов. Использование теории графов может служить альтернативой уже существующим методикам выбора оборудования. Применение сетевых моделей позволило выбрать наиболее рациональные комплектации очистного оборудования с позиции минимизации себестоимости, уровня энергозатрат, уровня капитальных затрат.

Ключевые слова: рациональная область эксплуатации; статистическая обработка результатов; альтернативный граф; сетевая модель; алгоритм Дейкстры; алгоритм Флойда; рациональная комплектация оборудования.

The main goal of the paper is to study technology of coal extraction in western Donbass The present paper proposes a new approach to solve a problem of mining equipment selection for longwall faces western Donbass.. The present paper describes new method for selection of mining equipment based on theory graph. The authors described methods for selecting mining equipment and experiences of mining thin and very thin coal seams in Ukraine. A study of equipment range of coal is essential for coal mines.

Keywords: the area for the management; statistical analysis; graph theory; network model; the algorithm Dijkstra; the algorithm Floyd

Актуальность исследования. Несмотря на то, что есть потребность государства в энергетическом и коксующемся угле – ежегодно наблюдается сокращение темпов добычи. В последнее десятилетие доля государственных предприятий в общем объеме добычи сократилась с 70 % до 20 %,

подавляющие большинство шахт являются глубокоубыточными, наблюдается старение производственных фондов. В последние 10 лет доля государственных шахт в совокупном объеме добытого угля уменьшилась с 50 % до 20 % [1]. За последние 3 года практически ни одна украинская шахта не нарастила объемы добычи, ни одна из шахт не вышла на проектную мощность. Исследования, проведенные НТУУ «КПИ» установили, что использовать уголь в качестве основного источника электроэнергии экономически целесообразно и выгодно [2], более того потребности энергетики на 2/3 удовлетворяются за счет использования угля [2].

Угольная промышленность фактически перешла на самокупаемость, при которой повышается роль эффективного использования горно-шахтного оборудования в части максимизации производительности добычи угля и снижения его себестоимости. В этих условиях весьма актуальной становится задача рационального подбора сочетания типов крепи, комбайна и конвейера для конкретных горно-геологических условий. Эта задача входит в класс задач большой размерности, что требует поиска эффективных алгоритмов управления процессом добычи.

Постановка задачи. Применение теории графов и алгоритмов оптимизации позволяет установить наиболее рациональные сочетания типов очистного оборудования в составе механизированного комплекса. Построение альтернативных графов на начальном этапе позволяет исключить неблагоприятные сочетания очистного оборудования. Применение алгоритмов Дейкстры и Флойда позволяет установить наиболее рациональную технологическую цепочку «крепь-комбайн-конвейер» с позиции минимизации себестоимости, максимизации уровня суточной нагрузки на очистной забой.

Анализ исследований. На сегодняшний день существует ряд альтернативных подходов к выбору очистного оборудования. В качестве оценочных критериев используются технологические, экономические, эксплуатационные параметры. В табл. 1 приведены основные подходы к выбору очистного оборудования.

Таблица 1

Основные подходы к выбору очистного оборудования

Основной критерий	Автор	Характеристика
Уровень энергозатрат	В.И. Бузило [3]	В качестве оценочного критерия принят уровень затрат электроэнергии на производство тонны угля.
Конструктивные параметры оборудования	Г.Г. Литвинский [4]	Обобщенный критерий эффективности прежде всего характеризует, ценой каких затрат энергии и материалоемкости достигается конечный результат, отраженный в производительности очистной техники.
Гибкость управления производством	В.Н. Казакидис [V.N. Kazakidis] [5]	Возможность реагирования системы на изменение производственного процесса.

Продолжение табл. 1

Основной критерий	Автор	Характеристика
Коэффициент машинного времени	С. Х. Хосейни [S. H. Hoseinie] [6]	Оценка очистного оборудования проводится на основе сравнительного анализа коэффициентов машинного времени.
Удельные затраты на добычу	В.Ю. Линник [7]	Величина удельных затрат на добычу угля, связанных с его покупкой, эксплуатацией и ремонтом в конкретных горно-геологических условиях.
Временные затраты на обслуживание	И.В. Антипов [8]	Оценка очистного оборудования проводится на основе сравнительного анализа временных затрат на обслуживание оборудования в составе механизированного комплекса.

Как показал анализ исследований [3-8] несмотря на многообразие подходов ни один из них не учитывает уровень взаимосвязи оборудования в составе механизированного комплекса. Под взаимосвязью следует подразумевать множество связей (выполняемых одновременно) между оборудованием в составе комплекса в процессе эксплуатации.

Как показали исследования [9,10] выбор оборудования на основе теории графов обусловлен рядом закономерностей:

- применение нового очистного оборудования не всегда приводит к повышению суточной нагрузки на очистной забой;
- для каждого очистного комплекса существует рациональная область эксплуатации, при которой производительность комплекса будет максимальной;
- отсутствует взаимосвязь между производительностью очистного комплекса и мощностью пласта, длиной очистного забоя, углом залегания;
- существующие методики оценки комплектации механизированных комплексов [3-8] не учитывают уровень взаимосвязи типов очистного оборудования;
- применение теории графов обусловлено большой размерностью вариантов комплектации очистного оборудования.

Результаты исследования. В качестве объекта исследования была рассмотрена работа 19 очистных забоев, которые функционировали в Красноармейске («ШУ» Покровское», ГП «УК» Краснолиманская»), Димитрово (ш. им. Димитрова, ш. им. Стаханова), Селидово (ш. «Украина», ш. «Россия», ш. 1/3 «Новгородовска», ш. «Кураховская»), Доброполье (ш. «Добропольская», ш. «Пионер», ш. «Белицкая»). Целью исследования есть установление наиболее рациональной технологической цепочки «крепь-комбайн-конвейер» с позиции максимизации уровня суточной нагрузки на очистной забой и минимизации себестоимости. Для решения поставленной задачи были использованы теория графов и базовые алгоритмы оптимизации.

При этом следует отметить, что поиск рациональной комплектации был проведен для комплексов, которые функционировали на пластах мощностью 1,0-1,4 м и длине очистного забоя 200-300 м. В табл. 2 приведенные статистические данные по работе очистных забоев.

Таблица 2
Данные по работе очистных забоев (по данным Донецкой областной государственной администрации)

№	Шахта	Оборудование в составе комплекса			Суточная нагрузка, т/сут.
		крепь	комбайн	конвейер	
1	им. Стаханова	1КД90	РКУ10	СП251	671
		1КД90	УКД200	СП26	681
2	«Краснолиманская»	ДМ	УКД200	СП301	697
		ДМ	УКД200	СП326	1027
3	«Кураховская»	1КД90	1К101	СП26	512
4	«Добропольская»	ДМ	РКУ10	СП251	985
		1КД90	1К101	СП26	1102
5	«Пионер»	1КД90	РКУ10	СП26	1115
6	«Белицкая»	1КД90	К103	СП250	113
7	«Центральная»	1КД90	1К101	СП250	162
8	им. Димитрова	2КД90	1К101	СП250	338

В табл. 2 представлены возможные альтернативы комплектации очистных забоев. На рис.1 изображен универсальный альтернативный граф.

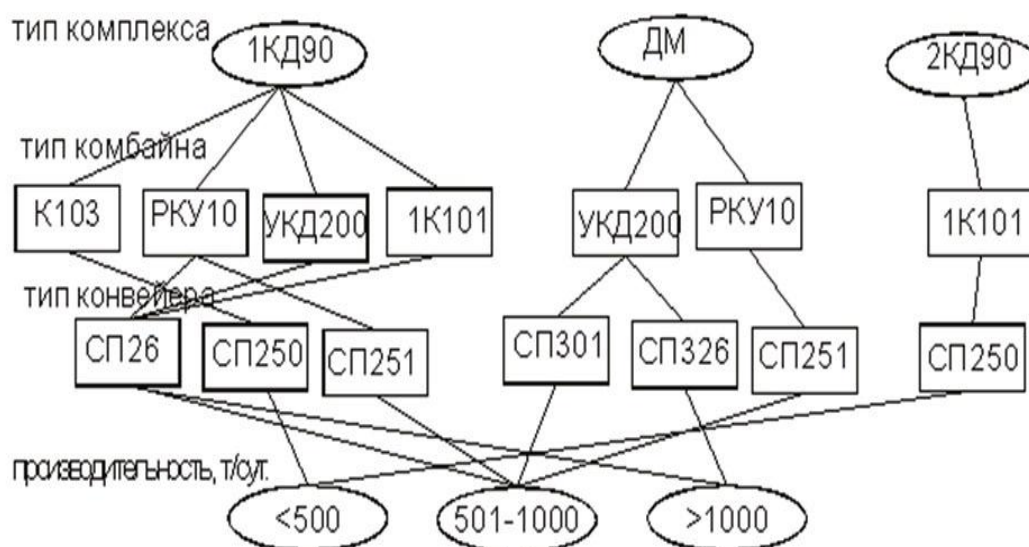


Рис. 1. Универсальный альтернативный граф

Анализ маршрутов графа установил, что наиболее рациональным сочетанием является механизированная крепь ДМ, комбайн УКД200 и конвейер СП326. Применение комбайна 1К101 в составе комплексов 2КД90 и ДМ экономически нецелесообразно, т.к. суточная нагрузка на очистной забой менее 1000 т/сут. При этом следует отметить, что идентичные результаты были и при

рассмотрении работы 57 очистных забоев, которые функционировали в Западном Донбассе.

Поиск наиболее рациональной комплектации сводится к анализу трех альтернатив.

Как отмечалось ранее помимо максимизации производительности, немаловажным является и себестоимость продукции. В соответствии с рекомендациями [7,11] была рассчитана удельная себестоимость для комбайна, крепи, конвейера. В табл. 3 приведены значения удельной себестоимости.

Таблица 3

Удельная себестоимость очистного оборудования

Тип оборудования					
механизованная крепь		очистной комбайн		конвейер	
Тип	себестоимость, грн/т.	тип	себестоимость, грн/т.	тип	себестоимость, грн/т.
1КД90	31,0	УКД200	15,1	СП26	6,8
ДМ	16,0	1К101	10,2	СП326	6,3
		РКУ10	9,8		

Применение алгоритма Дейкстры позволит установить наиболее рациональную комплектацию с позиции минимизации себестоимости. Задача состоит в поиске кратчайшего пути между вершинами графа. В качестве вершин приняты типы очистного оборудования в качестве веса ребер значения себестоимости. На рис. 2 представлена сетевая модель.

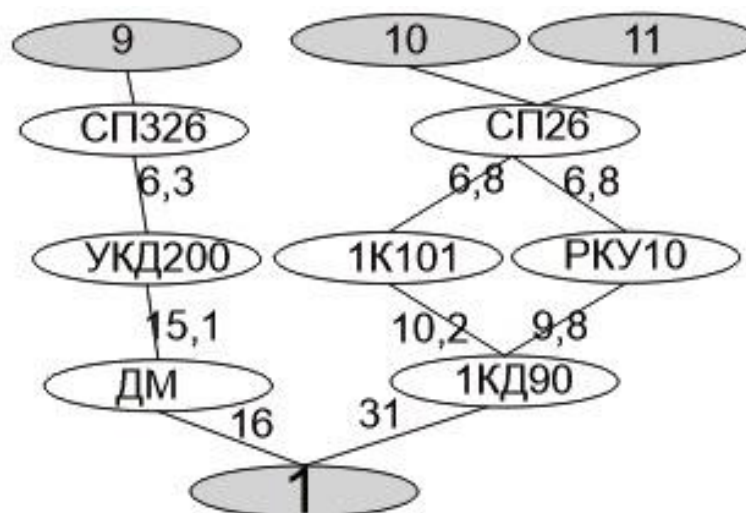


Рис. 2. Сетевая модель

Для решения поставленной задачи была разработана компьютерная программа позволяющая находить кратчайший путь между вершинами при помощи алгоритма Дейкстры и кратчайший путь между парой вершин (алгоритм Флойда) (рис. 3).


```

D:\system\мои программы\Dijkstra\algorith Deijkstra.exe
X 3 31 0 0 0 10 10 0 0 0 0 0
X 4 0 15 0 0 0 0 6 0 0 0 0
X 5 0 0 10 0 0 0 0 7 0 0 0
X 6 0 0 10 0 0 0 0 7 0 0 0
X 7 0 0 0 6 0 0 0 0 1 0 0
X 8 0 0 0 0 7 7 0 0 0 1 0
X 9 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1
X 10 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
X 11 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0

Nachalnaja točka pyti: 1
Uvedite konechnyy točku: 9 10 11
Put: X1-X2-X4-X7-X9 Dlina puti: 38

```

Рис. 3. Фрагмент программы и результат выполнения

Применение алгоритма Дейкстры позволило установить, что наиболее рациональной комплектацией оборудования, с позиции минимизации себестоимости является комплекс состоящий из крепи ДМ, комбайна УКД200 и конвейера СП326. Однако алгоритм Дейкстры применим только для функционирующих технологических цепочек «крепь – комбайн – конвейер».

Использование алгоритма Флойда позволяет решить задачу поиска кратчайшего пути между парой вершин. Применительно к данной работе задачу можно сформулировать, как поиск наиболее рационального варианта комплектации в независимости от того существует цепочка или нет.

В этом случае кратчайший путь проходит по маршруту «1-2-5-7-9», что соответствует комплектации комплекса в составе крепи ДМ, комбайна РКУ10 и конвейера СП326. Замена комбайна УКД200 на комбайн РКУ10 позволяет снизить удельную себестоимость, так удельная себестоимость базового варианта 38 грн/т. в результате замены оборудования себестоимость составит 33,1 грн/т.

На основе проведенного исследования для условий Западного Донбасса можно рекомендовать механизированный комплекс в составе крепи ДМ, комбайна РКУ10, конвейера СП326.

Выводы

В работе описана методология выбора очистного оборудования на основе теории графов и базовых алгоритмов оптимизации. На основе применения теории графов и алгоритмов оптимизации удалось максимизировать величину суточной нагрузки на очистной забой и минимизировать удельную себестоимость. Это позволило рекомендовать рациональную комплектацию оборудования применительно к условиям функционирования месторождений Западного Донбасса.

Было установлено, что максимальные показатели производительности достигаются не за счет приобретения дорогостоящего оборудования, а в большей мере зависят от уровня взаимосвязи оборудования в составе комплекса.

Список использованной литературы

1. Енергетична стратегія розвитку України до 2035 року [Електронний ресурс] // Міністерство палива та енергетики України. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244979237>.
2. Олевська, Т.В. Сировинна база твердих горючих копалин України [Текст] / Т. В. Олевська, М. О. Канар. // Вісник НТУУ "КПІ". Серія "Гірництво". – 2015. – №28. – С. 62–70.
3. Бузило, В.И. Анализ влияния технологии и элементов системы разработки на энергосбережение в угольных шахтах [Текст] / В. И. Бузило, С. Н. Пойманов, В. П. Расстрига. // Разработка месторождений: – ежегодный научн.-техн. сборник. – 2013. – С. 115-120.
4. Литвинский, Г.Г. О методике и критериях оценки технического уровня горной техники [Текст] / Г. Г. Литвинский. // Вестник академии строительства Украины. – 2003. – С. 62-67.
5. Казакидис, В.Н. [Kazakidis V.N.] Планирование гибкости производства в производственных системах подземной угольной шахты [Planning for flexibility in underground mine production systems]. – Technical papers.— Advances in Futures and Options Research, JAI Press Inc., Vol. 4, pp. 153-164.
6. Хосейни, С.Х. [S. H. Hoseinie] Оценка надежности мер связанных со шнековыми очистными комбайнами, анализ примеров из практики [Assessment of Reliability-Related Measures for Drum Shearer Machine, a Case Study] – Mining Equipment Reliability, Maintainability and Safety. Springer, pp.55-62, 2008.
7. Линник, В.Ю. Методологические основы прогнозирования подземной разработки угольных месторождений с учетом показателей сырьевой базы [Текст]: автореф. дис. на соискание научн. степени доктора экономических наук: спец. 08.00.05 – «Экономика и управление народным хозяйством» (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами (промышленность)) / В.Ю. Линник – М., 2012. – 39с.
8. Антипов, И.В. Геомеханические и технологические основы создания нового уровня крепей очистных забоев тонких пологих пластов [Текст]: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.12.02. «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / И.В. Антипов – Донецк, 1996. – 39 с.
9. Хорольский, А.А. Совершенствование технологии механизированной добычи угля на основе оценки уровня взаимосвязи типов

очистного оборудования [Текст] / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Известия Донецкого горного института. – №1-2. – 2015. – С. 90-98.

10. Сынков, В.Г. Оценка уровня взаимосвязи очистного оборудования в составе механизированного комплекса [Текст] / В.Г. Сынков, В.Г. Гринев, А.А. Хорольский // Научные труды ДонНТУ. Серия «Информатика, кибернетика, вычислительная техника». – №1. – 2016. – С.127-135.

11. Мышляев, Б.К. Техничко-економический анализ современных механизированных крепей [Текст] / Б.К. Мышляев, И.В. Титов // Горное оборудование и электромеханика, 2008. – №12. – С. 20-25.

Стаття надійшла до редакції 27.05.2016 р.