

УДК622: 33.003.55

А.А. ХОРОЛЬСКИЙ (мл. науч. сотр.)

В.Г. ГРИНЕВ (д-р техн. наук, проф.)

Институт физики горных процессов НАН Украины, Днепропетровск

В.Г. СЫНКОВ (д-р техн. наук, с.н.с.)

Красноармейский индустриальный институт ГВУЗ ДонНТУ, Красноармейск

## РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШАХТ ДОНБАССА

В работе проанализировано состояние угледобывающей отрасли Украины и предложен новый подход к выбору очистного оборудования на основе теории графов. Выбор горно-шахтного оборудования проведен на основе функциональной взаимосвязи применительно к условиям эксплуатации. Исследована фактическая взаимосвязь типов очистного оборудования в составе технологической цепочки «крепь – комбайн – конвейер», которая позволяет выбрать и определить область механизированной добычи угля с максимальной нагрузкой. Построение альтернативного графа и анализ его маршрутов на начальном этапе проектирования исключили наиболее неблагоприятные сочетания типов забойного оборудования. В тот же момент поиск наиболее рациональной комплектации сведен к анализу 2-3 технологических цепочек «крепь–комбайн–конвейер».

**Ключевые слова:** очистное оборудование, крепь, комбайн, конвейер, мощность пласта, длина очистного забоя, граф.

Уголь – единственное энергетическое сырье, которым наше государство обеспечено в полном объеме. Если в структуре мировых запасов энергетических ресурсов доля угля составляет 67%, то в Украине 94,5% [1,2,3]. В Украине по объемам добычи уголь был всегда доминирующим энергоносителем, в разные годы доля его в производстве электроэнергии составляла от 47,5% (1975г) до 30,1% (1990 г.). Среднемировой показатель угля в топливно-энергетическом балансе составляет 39,6%. Для Украины уголь остается стратегическим источником электроэнергии, так в соответствии с финальным вариантом (от 15.05.15 г.) «Энергетической стратегии развития Украины до 2035 года» [3] его доля будет составлять 34%, что немногим меньше газа (37%). На данном этапе и вплоть до 2025 года в переводе на нефтяной эквивалент страна будет нуждаться в 35 млн т. высококачественного полезного ископаемого.

В Украине наблюдается падение темпов проведения подготовительных выработок и, как следствие, сокращение фронта работ и снижение объемов добычи угля в 2 раза. Вместе с падением темпов подготовки очистных забоев происходит одновременное «старение» производственных фондов, количество переоснащения комплексных забоев (КМЗ) не превышает 15 очистных забоев в год [4]. Наряду с экономическими проблемами существенное влияние на производительность оказывают горно-геологические условия.

По мнению авторов [5,6] основным направлением повышения нагрузки на очистной забой является внедрение оборудования третьего поколения. Однако исследования, проведенные [7,8] показали, что применение такого оборудования, в частности иностранных аналогов, экономически целесообразно при суточной нагрузке на очистной забой более 8000 т/сут. Помимо высокой стоимости иностранные аналоги оборудования имеют еще один недостаток; в случае выхода из строя срок непроизводительной работы значительно больший по отношению к отечественным аналогам (70 дней против 25).

Одним из факторов, снижающих производительность комплексов, являются горно-геологические условия. Основными горно-техническими факторами, которые влияют на производительность комплекса, являются мощность пласта, угол наклона выработки, длина очистного забоя. Статистическая обработка результатов работы комплексных механизированных забоев (по данным Донецкой областной государственной администрации за декабрь 2010 года) установила, что статистические графики не несут информационной ценности, поскольку мощность пласта и длина лавы не оказывают значимого влияния на производительность комплексов. В качестве примера иллюстрация влияния мощности угольного пласта на производительность добывающего комплекса 1КД80 (рис.1).

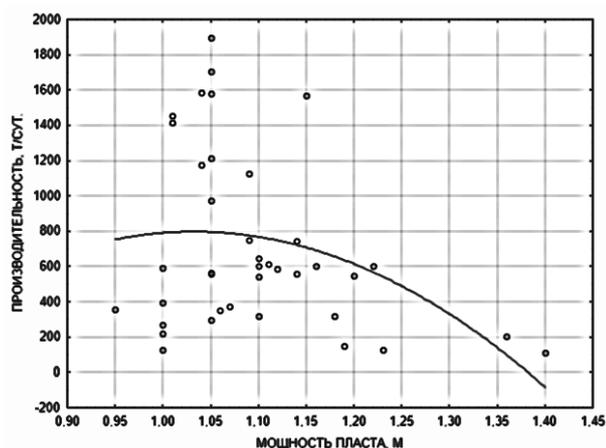


Рис.1. Зависимость производительности от мощности пласта для комплекса КД80

Степень влияния мощности пласта на объем суточной добычи угля для рассматриваемых комплексов можно оценить по приведенным в таблице 1 коэффициентам  $\gamma$  и  $\rho$ . В таблицу помещены выражения корреляционных связей производительности комплекса от мощности угольного пласта. Связь по мощности пласта наиболее всего аппроксимируется полиномом второй степени.

Таблица 1. Корреляционные связи объемов добычи от мощности пласта для наиболее распространенных типов механизированных комплексов

Комплекс	Функция	Выражение	x	Коэффициенты	
				$\gamma$	$\rho$
КД80	Полином 2-й степени	$Q = -6468,5984 + 12279,7599x - 5431,5287x^2$	m	0,0013	0,9943
КД90		$Q = -5355,5162 + 9398,8987x - 3651,6135x^2$		0,1591	0,4794
2КД90		$Q = 9695,9447 - 12511,4456x + 4212,0137x^2$		-0,275	0,4739
2КД90Т		$Q = 667,3214 + 791,5121x - 416,7169x^2$		-0,099	0,6598
3КД90		$Q = -1677,2385 + 2672,8371x - 648,8162x^2$		0,1556	0,5125
3КД90Т		$Q = -1620,738 + 2980,3019x - 832,4393x^2$		0,0210	0,9541
ДМ		$Q = -5283,4166 + 8811,415x - 3034,6458x^2$		0,4027	0,0511

Производительность комплекса КД80 составила 800 т/сут. при мощности пласта 0,95–1,15 м при этом в диапазоне мощности 1,2–1,4 м происходило падение производительности до 200 т/сут.

В диапазоне от 0,8 до 1,2 м наблюдалось стабильное наращивание производительности комплекса 1КД90 с 200 до 800 т/сут., при большей мощности происходило падение производительности.

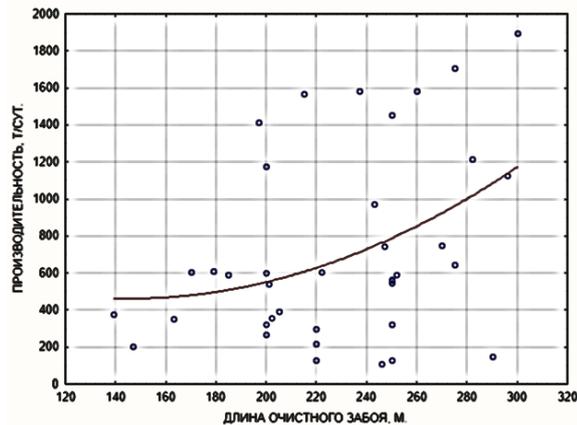
Для комплекса 2КД90 характерно падение производительности в диапазоне с 1,1 до 1,5 м, максимальное значение было зафиксировано при мощности пласта 1,1–1,2 м, далее в диапазоне 1,5–1,7 м происходит рост производительности до 800 т/сут.

Производительность комплекса 2КД90Т не имеет привязки к мощности пласта, так на пластах мощностью от 1,1 до 1,7 м производительность составляла 800–1000 т/сут., однако в диапазоне 1,3–1,4 м зафиксировано наибольшее количество точек с максимальной производительностью (порядка 1600–2000 т/сут.).

Суточная нагрузка комплексов 3КД90 и 3КД90Т возрастала в диапазоне 1,1–2,4 м; с увеличением мощности пласта происходит и увеличение производительности (с 500 до 1200 т/сут. – комплекс 3КД90 и с 800 до 1200 т/сут. – комплекс 3КД90Т).

Для комплекса ДМ характерен рост производительности на промежутке 1,0–1,4 м (с 400 до 1100 т/сут.) далее происходит падение темпов с 1100 до 1000 т/сут. (мощность более 1,4 м). Максимальные значения производительности, порядка 1200–1400 т/сут., зафиксированы при мощности 1,2–1,4 м.

На рис. 2 представлены график зависимости производительности от длины очистного забоя, которая также как и мощность пласта не оказывает заметного влияния на производительность.



**Рис.2.** Зависимость производительности от длины очистного забоя для комплекса КД80

Проанализировав влияние мощности пласта и длины лавы на производительность механизированного комплекса (рис. 1.2) можно прийти к выводу, что эти параметры очистных забоев не оказывают заметного влияния на производительность механизированных комплексов.

Степень влияния длины очистного забоя на объем суточной добычи для рассматриваемых комплексов можно оценить по приведенным в таблице 2 коэффициентам  $r$  и  $p$ . В таблицу помещены выражения корреляционных связей производительности от длины очистного забоя. Связь по длине очистного забоя наиболее всего аппроксимируется полиномом второй степени.

**Таблица 2.** Корреляционные связи объемов добычи от длины лавы для наиболее распространенных типов механизированных комплексов

Комплекс	Функция	Выражение	x	Коэффициенты	
				r	p
КД80	Полином 2-й степени	$Q = 1282,1275 - 10,0158x + 0,0323x^2$	1	0,3573	0,0202
КД90		$Q = -1900,1041 + 19,4822x - 0,0335x^2$		0,4986	0,0352
2КД90		$Q = -12021,8835 + 99,4407x - 0,1935x^2$		0,4164	0,4116
2КД90Т		$Q = 1547,1579 - 12,8991x + 0,0446x^2$		0,4804	0,0699
3КД90		$Q = 2716,4686 - 24,1036x + 0,0653x^2$		0,5734	0,0202
3КД90Т		$Q = 6159,2664 - 54,7088x + 0,137x^2$		0,2043	0,7418
ДМ		$Q = 3495,3999 - 27,1123x + 0,0699x^2$		0,2293	0,3929

При работе комплекса КД80 наблюдалось повышение производительности с 800 до 1200 т/сут. при длине очистного забоя с 200 до 300 м, рассматривать диапазон менее 200 м нет необходимости, т.к. это преимущественно очистные забои с ручной механизацией вспомогательных работ.

При работе комплекса 1КД90 также не наблюдалось ощутимого изменения производительности в диапазоне длин 200–300 м (с 800 до 950 т/сут.).

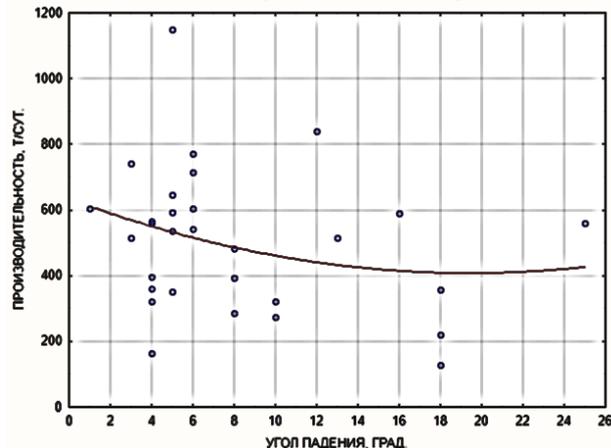
При работе комплекса 2КД90 наблюдался рост производительности на участке 200–250 м (с 500 до 700 т/сут.), с увеличением длины очистного забоя, более 250 м, произошло падение производительности (до 600 т/сут.).

Из всего представленного горного оборудования только у комплекса 2КД90Т был устойчивый рост производительности в диапазоне 200–300 м (с 800 до 1600 т/сут.

При работе комплекса 3КД90Т также был рост производительности в диапазоне 200–300 м (с 500 до 1300 т/сут.), случаев снижения не зафиксировано.

У комплекса ДМ незначительный рост производительности наблюдался на участке 200–300 м (с 1100 до 1400 т/сут.), однако существенного влияния длина очистного не оказывает.

Помимо мощности пласта и длины очистного забоя еще одним немаловажным параметром очистного забоя является угол залегания пласта. На рис.3 представлена зависимость производительности комплекса от угла залегания угольного пласта.



**Рис.3.** Зависимость производительности от угла падения очистного забоя (комплекс КД80)

Степень влияния угла залегания пласта на объем суточной добычи для рассматриваемых комплексов можно оценить по приведенным в таблице 3 коэффициентам  $\gamma$  и  $\rho$ .

**Таблица 3.** Корреляционные связи объемов добычи от угла залегания для наиболее распространенных типов механизированных комплексов

Комплекс	Функция	Выражение	x	Коэффициенты	
				$\gamma$	$\rho$
КД80	Полином 2-й степени	$Q = 793,2052 - 2,8996x - 0,7728x^2$	$\alpha$	0,2122	0,1773
КД90		$Q = 1810,6861 - 261,5586x + 13,5719x^2$		0,3749	0,1253
2КД90		$Q = 2043,6416 - 255,495x + 9,918x^2$		0,7914	0,0607
2КД90Т		$Q = 1469,1619 - 64,0153x + 0,7995x^2$		0,3525	0,1806
3КД90		$Q = 2589,6463 - 329,7245x + 13,466x^2$		0,5897	0,2953
3КД90Т		$Q = 1469,1619 - 64,0153x + 0,7995x^2$		0,3525	0,1806
ДМ		$Q = 866,3135 + 54,6233x - 2,491x^2$		0,1696	0,5302

Угол залегания практически для всех типов комплексов (КД80, 1КД90, 2КД90, 2КД90Т, 3КД90, 3КД90Т) оказывает влияние на уровень суточной нагрузки на очистной забой. В диапазоне  $2^0 - 10^0$  происходит плавное, незначительное снижение производительности, при угле падения более  $10^0$  происходит резкое снижение суточной нагрузки. Это связано с тем, что отечественное оборудование предназначено для эксплуатации на пластах с малым углом залегания (до  $10^0$ ), а с увеличением угла появляется необходимость во вспомогательном оборудовании.

На основе проведенного анализа можно сформировать область рационального использования для каждого типа механизированного комплекса. Под областью рационального использования следует понимать совокупность горно-технических факторов, при котором оборудование покажет максимальную производительность. В таблице 4 приведены рациональные параметры функционирования комплексов.

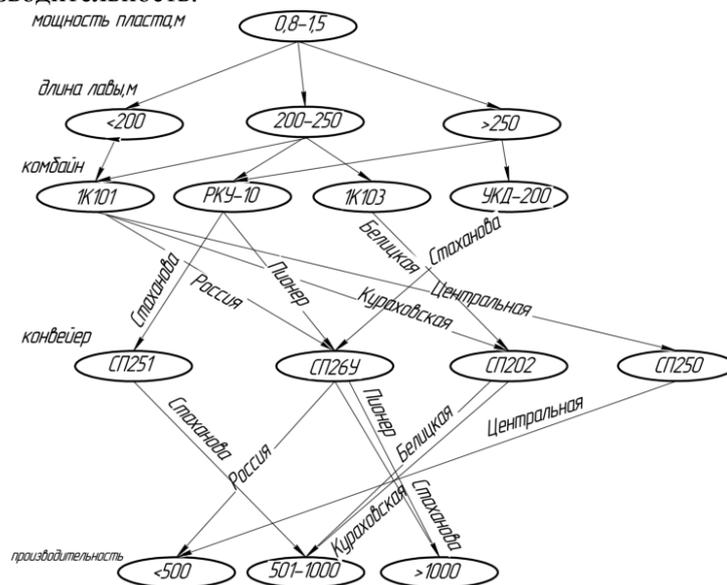
**Таблица 4.** Рациональные параметры функционирования для комплексов, которые эксплуатируются на шахтах Донбасса

Механизированный комплекс	Угол падения, град.	Класс пород кровли	Класс пород почвы	Длина лавы, м	Мощность пласта, м
КД80	$\leq 6$	A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , Б <sub>3</sub> –Б <sub>5</sub>	П <sub>2</sub> –П <sub>3</sub>	>250	1,0–1,2
1КД90	$\leq 6$	A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> , Б <sub>3</sub> –Б <sub>5</sub>	П <sub>2</sub> –П <sub>3</sub>	>200	1,1–1,3
2КД90	$\leq 6$	A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , Б <sub>3</sub> –Б <sub>5</sub>	П <sub>2</sub> –П <sub>3</sub>	200–250	1,1–1,3
2КД90Т	$\leq 6$	A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> , Б <sub>3</sub> –Б <sub>5</sub>	П <sub>2</sub> –П <sub>3</sub>	>250	1,2–1,4
3КД90	$\leq 6$	A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> , Б <sub>3</sub> –Б <sub>5</sub>	П <sub>2</sub> –П <sub>3</sub>	>250	>1,8
3КД90Т	$\leq 6$	A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> , Б <sub>3</sub> –Б <sub>5</sub>	П <sub>2</sub> –П <sub>3</sub>	>250	1,6–2,0
ДМ	$\leq 6$	A <sub>2</sub> , A <sub>3</sub> , Б <sub>3</sub> –Б <sub>5</sub>	П <sub>2</sub> –П <sub>3</sub>	200–250	>1,0

Одним из параметров рационального выбора очистного оборудования является фактическая взаимосвязь цепочки «крепь–комбайн–конвейер», эффективность которой оценивается суточной производительностью по добыче угля [9].

В качестве объекта исследования было выбрано 26 комплексных механизированных забоев, которые эксплуатировались на шахтах Красноармейска, Димитрово, Селидово, Доброполье. В комплексных механизированных забоях, работали 9 типов механизированных крепей, 12 типов комбайнов, 11 типов конвейеров.

При такой номенклатуре ГШО, для всех 26 забоев, возникает проблема эффективности очистного оборудования. В качестве примера выбран комплекс 1КД90. Вначале покажется, что такая задача трудно решается, но используя теорию графов можно с помощью альтернативных графов очистного оборудования комплекса 1КД90 проанализировать эффективность комплектации – при этом смежные вершины графа должны соответствовать забоям с одинаковыми параметрами (мощностью пласта и длины лавы). На рис.4 изображен альтернативный граф для комплекса 1КД90, который отражает номенклатуру используемого оборудования, технологические параметры, производительность.



**Рис. 4.** Альтернативный граф очистного оборудования для комплекса 1КД90

Из альтернативного графа на рис. 4 видно, что один и тот же комбайн при взаимодействии разных типов конвейеров обеспечивают различную производительность. Так, например, комбайн РКУ-10 при длине лавы 250 м и мощности пласта 1,2 м при работе с конвейером СП251 имеет суточную производительность 646 т/сут., а в комплексе с СП26У порядка 1300 т/сут. То же самое наблюдается по другим видам оборудования.

Анализируя маршруты альтернативного графа, которые демонстрируют технологические цепочки добычи угля в различных очистных забоях, можно не только выбрать рациональное оборудование на основе эффективности фактической взаимосвязи, но и определить мощность пласта и длину лавы, как параметры очистного забоя, при которых комплекс будет иметь наивысшую производительность.

Результаты исследований фактической взаимосвязи очистного оборудования «крепь–комбайн–конвейер» на шахтах Западного Донбасса на базе теории графов позволяют рекомендовать рациональные параметры функционирования механизированных комплексов. В процессе выполнения работы было установлено:

- применение нового и дорогого оборудования не всегда приводит к повышению нагрузки на очистной забой;
- влияние на производительность комплексных механизированных забоев мощности пласта и длины лавы отсутствует; однофакторный подбор горно-шахтного оборудования применим только для сравнения забоев с одинаковой мощностью угольного пласта и длиной лавы;
- оценка эффективности рациональной взаимосвязи типов очистного оборудования с применением теории графов позволяет выбрать и определить область механизированной добычи угля с максимальной нагрузкой;
- на этапе проектирования КМЗ или его модернизации подбор оборудования следует вести на основе рациональной взаимосвязи оборудования, уровень которой оценивается величиной суточной нагрузки очистного забоя.

#### **Бібліографічний список**

1. Роль угля в економіці України. От огня и воды к электричеству. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/section-7-7-7>. – Загл. с экрана.
2. Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року. Міністерство палива та енергетики України. [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=222032>.
3. Енергетична стратегія розвитку України до 2035 року (Фінальний варіант від 15.05.15р.). Міністерство палива та енергетики України. [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245012706>
4. Угольная промышленность/ Даешь механизацию [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://uaenergy.com.ua/post/9302/daesh-mehanizatsiyu/>. – Загл. с экрана.
5. Косарев В.В. Комплексное техническое переоснащение шахт современным горно-шахтным оборудованием – радикальная мера в увеличении объемов добычи угля/ Горная техника// [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://library.stroint.ru/z-full/v-search/i-182.html?print=1>. – Загл. с экрана.
6. Конъюнктура оборудования угольных шахт. Игорь Деревлев: Альтернативы техническому перевооружению отрасли я не вижу// [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.koush.donetsk.ua/cgi-bin/koush/start.cgi?grp=0912&prn1=info1>. – Загл. с экрана.
7. Писаренко М.В. Эффективность угольных шахт с высокопроизводительными очистными забоями// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). –2002.
8. Писаренко М.В. Оптимизация основных параметров шахт типа «шахта-лава»// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). –2011.–№1.–С48–51.
9. Гринев В.Г. Алгоритмы оптимизации сетевых моделей для выбора рациональных технологических цепочек очистного оборудования /В.Г. Гринев, П.П. Николаев // материалы 3-й межд. науч.-техн. конф. «Техногенные катастрофы: модели, прогноз, предупреждение». – Днепропетровск. – 2013. - НГУ – с. 90 – 95.

*Надійшла до редакції 15.11.2015*

**А.О. Хорольський, В.Г. Грінюв,**

Інститут фізики гірничих процесів національної академії наук України, Дніпропетровськ

**В.Г. Синков**

Красноармійський індустріальний інститут Донецького національного технічного університету, Красноармійськ

## РАЦІОНАЛЬНИЙ ВИБІР ОЧИСНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ШАХТ ДОНБАСУ

У роботі проаналізовано стан вугледобувної галузі в Україні і запропоновано на основі теорії графів новий підхід до вибору очисного обладнання. Вибір гірничо-шахтного обладнання проведений на основі функціонального взаємозв'язку у відповідності до умов експлуатації. Досліджено фактичний взаємозв'язок типів очисного обладнання у складі технологічного ланцюгу «механізоване кріплення – комбайн- конвеєр», що дозволило обрати та визначити область механізованого видобутку вугілля з максимальним добовим навантаженням. Побудова альтернативного графу та аналіз його маршрутів на початковому етапі проектування дозволив виключити найбільш несприятливі поєднання типів забійного обладнання. В той же час пошук найбільш раціональної комплектації зводиться до аналізу 2-3 технологічних ланцюгів «механізоване кріплення – комбайн – конвеєр».

Ключові слова: очисне обладнання, механізоване кріплення, комбайн, конвеєр, потужність пласта, довжина очисного вибою, граф.

**A.A. Khorolskiy, V.G. Grinev**

Institute for Physics of Mining Processes the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk

**V.G. Synkov**

Krasnoarmeysk industrial institute Donetsk National Technical University, Krasnoarmeysk

## THE RATIONAL CHOICE MINING EQUIPMENT FOR COAL MINES OF THE DONBASS

In the article analyzed mining industry in Ukraine. The paper provides a method of choice mining machinery with the help of theory graph. To propose an alternative methods selection mining equipment by functional connection. The rational parameters of the mechanized complex on the base of actual intercommunication are considered «mechanization support -combine-conveyer» in cleansing longwall face of western Donbass. The nomenclature of mountain-mine equipment is analysed and an alternative graph for complexes. The article is devoted to the study of the level relationship types of purification equipment in the coal mines of the Donbass. This task has been formulated as a problem in graph theory and proposed a solution based on classical optimization algorithms for networks and graphs.

**Keywords: mining equipment, mechanized support, coal combine, conveyor, seam height, stope length, graph.**