

УДК 622:33.003.55:681.3

В.Г. Сынков¹, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,В.Г. Гринев², д-р техн. наук, проф.,А.А. Хорольский², аспирант¹Красноармейский индустриальный институт ДонНТУ²Институт физики горных процессов НАН Украины, Днепропетровскandrey.khorolskiy@mail.ru

Оценка уровня взаимосвязи очистного оборудования в составе механизированного комплекса

В данной работе впервые предложено производить оценку уровня взаимосвязи очистного оборудования на основе обобщенного критерия желательности Харрингтона и теории графов. Построение альтернативного графа позволило на начальном этапе проектирования исключить наиболее неблагоприятные сочетания типов очистного оборудования. Дальнейшую оценку предложено производить на основе разработанного и адаптированного к условиям горной промышленности критерия желательности Харрингтона, с этой целью были выбраны основные критерии оценки качества оборудования в составе технологической цепочки «крепь-комбайн-конвейер». Как альтернатива, уже существующим методикам выбора оборудования, могут быть использованы базовые алгоритмы оптимизации – сети и графы.

Ключевые слова: очистное оборудование, граф, критерий Харрингтона, крепь, комбайн, конвейер, алгоритм Дейкстры, алгоритм Флойда.

Актуальность исследования

В настоящее время известно несколько методик выбора оборудования для механизации очистных работ [1,2], но все они достаточно трудоемки, а полученный результат не всегда соответствует действительности. Это обусловлено тем, что производительность комплексного механизированного забоя (КМЗ) не коррелируется с длиной очистного забоя и мощностью пласта [3]. Поэтому возникла необходимость в разработке комплексной оценки уровня взаимосвязи типов очистного оборудования.

Под взаимосвязью следует подразумевать совокупность множества связей между предметами (объектами), которые зависят друг от друга. Применительно к поставленной задаче под взаимосвязью следует понимать связь между оборудованием в составе технологической цепочки «крепь-комбайн-конвейер», которая выражается уровнем суточной нагрузки на очистной забой. Максимальная производительность соответствует высокому уровню взаимосвязи, низкая производительность – недостаточному. Общий уровень взаимосвязи КМЗ это интегральная величина, включающая в себя:

- взаимодействие очистного комбайна с массивом;

- одновременное взаимодействие механизированной крепи с очистным комбайном, характеризующееся согласованностью с шириной захвата комбайна и шагом передвижки;

- взаимодействие механизированной крепи с породами кровли (коэффициент затяжки кровли, номинальное сопротивление крепи горному давлению, обеспечение контакта перекрытия с массивом) и породами почвы (схема передвижки, номинальное давление на почву, конфигурация основания);

- обеспечение конвейером пропускной способности;

Помимо общего уровня взаимосвязи следует учитывать ряд оптимизационных параметров:

- уровень энергозатрат на тонну добытого полезного ископаемого;

- уровень энергозатрат на транспортировку 1м³ насыпного груза;

Постановка задачи

Поиск наиболее благоприятного сочетания оборудования усложнен тем, что существующая номенклатура горно-шахтного оборудования достаточно разнообразна (12 типов механизированных крепей, 11 типов очистных комбайнов, 14 типов конвейеров). Поэтому необходимо разработать комплексную (обобщенную) оценку уровня взаимосвязи типов очистного оборудования в составе механизированного комплекса. Помимо экономических показателей (уровень энергозатрат и производительность) она должна включать эксплуатационные характеристики (максимальный шаг передвижки крепи, обеспечение пропускной способности конвейера, максимальная скорость разрушения массива).

Существующие методики не могут в полном объеме оценить уровень взаимосвязи оборудования в составе механизированного комплекса.

Анализ исследований

Оценка эффективности комплектации очистного механизированного забоя может быть выражена эксплуатационными (Брагин В.Е., Тащиенко В.П., Карин В.В., А.И. Коберник, Степанов В.М., Антипов И.В.), энергетическими (Клишин В.И., Морозов В.И.) и экономическими показателями (Линник В.Ю.).

В.Е. Брагин [4] рассматривает ряд параметров, которыми следует руководствоваться при выборе очистного оборудования среди которых, скорость продвижения очистного забоя. Данный параметр может быть использован только в качестве экспресс- анализа.

В.В. Карин [5] в качестве оценки при выборе очистного оборудования предлагает учитывать коэффициент снижения производительности, зависящий от пород кровли. Однако есть ряд недостатков, среди которых неподтвержденность математической моделью, учитываются только породы кровли.

А.И. Коберником [6] предложено для оценки уровня производительности использовать специальные горно-геологические коэффициенты являющиеся производными от деления нормативных экономических показателей (производительность труда одного рабочего в сложных горно-геологических условиях и себестоимость добычи угля в аналогичных условиях) на максимально возможную добычу при благоприятных условиях.

В.М. Степанов [7] предлагает в качестве основного критерия использовать надежность механизированной крепи, при этом необходимо учитывать и коэффициент готовности очистного оборудования. Вместе с тем коэффициент готовности очистного оборудования рассчитывается на основе табличных значений временных затрат на выполнение технологических операций и не учитывает условия эксплуатации.

В.П. Тащиенко [8] считает, что в качестве основного показателя, которым следует руководствоваться, при выборе очистного оборудования является коэффициент сложности поддержания выработанного пространства. Данный показатель является интегральным и учитывает свойства пород кровли с учетом тектонических деформаций.

И.В. Антипов [9] предложил проводить оценку работы механизированного комплекса на основе временных затрат на обслуживание и ремонт оборудования. Этот комплексный показатель учитывает взаимосвязь крепи,

комбайна и конвейера. К существенным недостаткам можно отнести то, что показатель строится на основе табличных показателей.

В работах В.И. Морозова [10] и В.И. Клишина [11] предлагается в качестве комплексного показателя учитывать полезную работу механизированного комплекса. Полезная работа механизированного комплекса затрачивается на поддержание призабойного пространства, передвижку секции крепи, разрушение массива.

В.Ю. Линник [12] предлагает в качестве показателя, характеризующего уровень угледобычи, использовать затраты на производство 1 тонны сырья. При этом общие затраты представляют сумму затрат на транспортировку, добычу полезного ископаемого и поддержание массива.

Оценка взаимосвязи оборудования, технологической схемы, процесса может выражаться не только экономическими и эксплуатационными показателями, но и критериальной оценкой.

Мамайкин А.Р. [13] использует метод интегральной оценки технологической схемы, выражающейся коэффициентом внутреннего потенциала. В качестве оптимизационных параметров приняты: протяженность выработок, производительность рабочего, себестоимость тонны угля, годовое продвижение линии очистного забоя. Технологические схемы с максимальным коэффициентом внутреннего потенциала – принято считать оптимальными. Однако не учтен уровень очистного оборудования, которое эксплуатируется. Невозможно проводить оценку технологической схемы и оценивать ее потенциал применяя в качестве оценки себестоимость, продвижение линии очистного забоя, если не рассматривать само оборудование.

Вместе с тем в работах [4–13] не в полной мере учтен характер взаимосвязи типов очистного оборудования входящего в состав КМЗ.

На основе анализа работ возник ряд задач:

- 1) установить основные критерии оценки качества очистного оборудования;
- 2) разработать комплексный показатель оценки горно-шахтного оборудования, приведя его к обобщенному безразмерному значению.

Рациональный выбор состава механизированного комплекса на основе обобщенного критерия желательности Харрингтона

Как вариант для оценки компоновки механизированного комплекса может быть

использован критерий желательности Харрингтона [14]. Идея состоит в том, что оценка механизированного комплекса выражается безразмерной функцией желательности, которую можно построить преобразованием измеренных значений «у» в безразмерную шкалу желательности «d». Шкала устроена так, что наиболее предпочтительному значению соответствует более высокая оценка функции желательности. Полученное значение является характеристикой объекта, т.е. соответствием полученного значения к требуемому (желаемому).

На рис.1 изображен алгоритм вычисления обобщенного критерия желательности для механизированного комплекса.



Рисунок 1- Алгоритм вычисления обобщенного критерия желательности для механизированного комплекса

Основными характеристиками очистного комбайна являются: энергетические затраты на добычу 1т угля, энергетические затраты на производство 1м³ угля, эталонные энергетические затраты на выемку 1т угля, относительная эффективность процесса [15,16].

Основными оптимизационными параметрами механизированной крепи являются: тип связи с решетчатым ставом забойного конвейера, вид связи с подсистемами кровли пласта и обрушенных пород, возможность

последовательного закрепления обнаженной части кровли, взаимодействие перекрытия при передвижке секций крепи, взаимодействие с почвой пласта, тип взаимосвязи ограждения с основанием и перекрытием, эксплуатационные характеристики (надежность, безопасность, простота обслуживания), вероятные компоновочные схемы расположения гидростоек в секциях крепи, компоновочные схемы расположения гидродомкратов передвижки и решетчатого става, тип устройств, обеспечивающих направление секции крепи при передвижке, тип механизма, обеспечивающего активную корректировку положения секции крепи в поперечной плоскости, тип основания секции механизированной крепи, коэффициент затяжки кровли, согласованность с шириной захвата очистного комбайна, маневренность [17–19].

В зависимости от горно-геологических условий к механизированной крепи могут предъявляться дополнительные требования (рис.1).

Для оценки качества забойных конвейеров были приняты: удельные энергозатраты на транспортировку угля, обеспечение пропускной способности, максимальная производительность, отношение погонной массы транспортирующих частей к линейной [20–22].

После определения основных параметров, характеризующих работу очистного комбайна, необходимо полученные значения перевести в частные функции отклика. Это реализуется следующим приемом: худшему значению присваивается значение 0,2, а лучшему 0,8. Для перехода от измеренного значения к частной функции отклика используется формула:

$$d = \exp[-\exp(b_0 - b_1 y)]$$

где d – частная функция желательности;

y – измеренное значение;

b_0, b_1 – коэффициенты, которые могут быть определены из системы уравнений:

$$\exp[-\exp(-y)] = 0,8 \text{ отсюда } y = 1,51$$

$$\exp[-\exp(-y)] = 0,2 \text{ отсюда } y = -0,46$$

Система уравнений позволяющая определить коэффициенты b_0, b_1 имеет вид:

$$b_0 + b_1 y_{max} = 1,51$$

$$b_0 + b_1 y_{min} = -0,46$$

где y_{max} – максимальное значение;

y_{min} – минимальное значение;

После этого можно вычислить обобщенную функцию желательности. Она определится по формуле:

$$D_G = \sqrt[q]{\prod_{i=1}^q d_i}$$

где q – количество частных функций желательности;

d_i – частные функции желательности;

Эффективность комплектации механизированного комплекса можно оценить обобщенным критерием желательности Харрингтона, который равен среднегеометрическому произведению частных критериев желательности крепи, комбайна, конвейера.

В качестве объекта исследования были рассмотрены комплексы 1КД90, ДМ, 3КД90. Для каждого возможного сочетания «крепь – комбайн – конвейер» были определены обобщенные критерии желательности.

В таблице 1 приведены наиболее благоприятны сочетания типов очистного оборудования.

Таблица 1 Наиболее благоприятные сочетания оборудования в составе комплексов 1КД90, ДМ, 3КД90

Комплекс	Благоприятное сочетание		Значение критерия желательности
	комбайн	конвейер	
1КД90	1К101	СП326	0,64
	1К101	СП26	
ДМ	УКД200	СП326	0,75
	РКУ10	СП251	0,61
3КД90	1ГШ68	СП326	0,76

В таблице 2 приведены наиболее неблагоприятные сочетания оборудования в составе комплексов 1КД90, ДМ, 3КД90

Таблица 2 Наиболее неблагоприятные сочетания оборудования в составе комплексов 1КД90, ДМ, 3КД90

Комплекс	Неблагоприятное сочетание		Значение критерия желательности
	комбайн	конвейер	
1КД90	УКД200	СПЦ163	0,60
	УКД200	СПЦ271	0,61
ДМ	УКД200	СПЦ163	0,66
	УКД200	СП26	0,62
3КД90	1ГШ68	СП250	0,62
	РКУ10	КСД26	0,60

Как показывает анализ табл. 1,2 производительность очистного комплекса и критерий желательности взаимосвязаны. К примеру, производительность комбайна УКД200 в составе комплекса 1КД90 и ДМ всегда была меньше 1000т/сут. при любых сочетаниях с забойными конвейерами; только при сочетании с конвейером СП326 производительность составила 1097т/сут. (шахта «Краснолиманская»), о чем и свидетельствует высокий показатель критерия

Харрингтона (порядка 0,75). Производительность очистного забоя укомплектованного комбайном 1К101 совместно с конвейером СП326 и механизированной крепью 1КД90 составила 1064т/сут. (ш/у Глубокое), что соответствует показателю функции желательности 0,64 (наивысший показатель для комплекса 1КД90). Из табл. 1 следует, что при максимальном показателе критерия желательности суточная нагрузка на очистной забой всегда превышала 1000т/сут. Производительность комплекса 3КД90 составила 3181т/сут. при комплектации комбайном 1ГШ68 и конвейером СП326, это объясняется тем, что пропускная способность конвейера максимальная среди рассмотренных аналогов, а эффективность процесса выемки комбайна максимальная среди всех типов очистных машин. Для комплексов в составе которых есть комбайн РКУ10 максимальная суточная нагрузка составила 1697т/сут. (ш. «Добропольская») при значении критерия желательности 0,61; столь низкие показатели для комбайна РКУ10 объясняются высокими энергозатратами на разрушение массива и эксплуатацией вне зоны рационального использования по мощности пласта (менее 1,5м); также мощность привода комбайна наибольшая среди всех типов очистных комбайнов.

Несмотря на все преимущества методики с использованием критерия желательности Харрингтона(информативность, комплексный подход к оценке взаимосвязи типов очистного оборудования, возможность учета уровня энергозатрат) есть и ряд недостатков: большое количество расчетов, – для каждого очистного комплекса существует свой предел критерия желательности; так, к примеру, для комплекса 1КД90 максимальное значение критерия 0,64, а для комплекса ДМ при том же уровне производительности показатель критерия 0,75.

В качестве альтернативы может быть использована методика подбора очистного оборудования на основе теории графов [23].

Применение теории графов для эффективного выбора 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 для комплекса проанализировать эффективность комплектации; при этом смежные вершины графа должны соответствовать забоям с одинаковыми параметрами (мощность пласта, длина лавы). На рис.2 изображен альтернативный граф для комплекса 1КД90, который отражает номенклатуру используемого оборудования, технологические параметры, производительность.

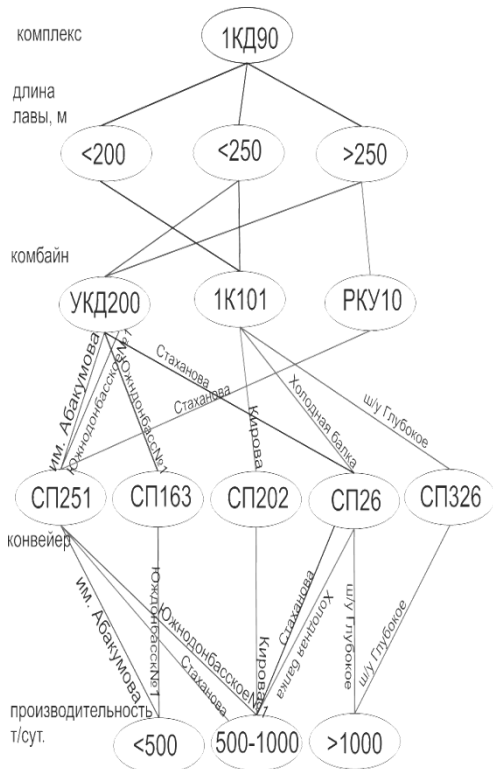


Рисунок 2 – Альтернативный граф очистного оборудования для комплекса 1КД90

Из альтернативного графа на рис. 2 видно, что один и тот же комбайн при взаимодействии разных типов конвейеров обеспечивают различную производительность. Так, например, производительность комбайна РКУ-10 при длине лавы 250 м и мощности пласта 1,2 м при работе с конвейером СП251 составила 646 т/сут. (показатель критерия желательности 0,58), а в комплекте с СП26У порядка 1300 т/сут. (показатель критерия желательности 0,62). То же наблюдается по другим видам оборудования.

Анализируя маршруты альтернативного графа, которые демонстрируют технологические цепочки добычи угля в различных очистных забоях, можно выбрать рациональный состав очистного оборудования в составе механизированного комплекса на основе эффективности фактической взаимосвязи [3, 23].

Результаты исследований фактической взаимосвязи очистного оборудования «крепь-комбайн-конвейер» на шахтах Западного Донбасса на базе теории графов позволяют рекомендовать рациональные параметры функционирования механизированных комплексов.

Помимо задач выбора оборудования и поиска области рациональной эксплуатации существует ряд задач когда необходимо минимизировать себестоимость и затраты на приобретение нового оборудования. Для этих целей могут быть использованы алгоритмы Дейкстры [24] и Флойда [25].

Каждой вершине из V сопоставляется метка — минимальное известное расстояние от этой вершины до соседней точки. Алгоритм работает пошагово — на каждом шаге он «посещает» одну вершину и пытается уменьшать метки. Работа алгоритма завершается, когда все вершины посещены. В качестве расстояния могут быть использованы такие параметры как себестоимость, стоимость единицы оборудования, энергетические характеристики и др.

Алгоритм реализуется следующим способом – метка исходной вершины полагается равной 0, метки остальных вершин — бесконечности. Это отражает то, что расстояния от вершины 1 до других вершин пока неизвестны. Все вершины графа помечаются как непосещенные. Если все вершины посещены, алгоритм завершается. В противном случае, из ещё не посещенных вершин выбирается вершина u , имеющая минимальную метку. Для каждого соседа вершины u , кроме отмеченных как посещенные, рассмотрим новую длину пути, равную сумме значений текущей метки u и длины ребра, соединяющего u с этим соседом. Если полученное значение длины меньше значения метки соседа, заменим значение метки полученным значением длины. Рассмотрев всех соседей, пометим вершину u как посещенную и повторим шаг алгоритма [26,27].

На рисунке 3 представлен алгоритм Дейкстры.

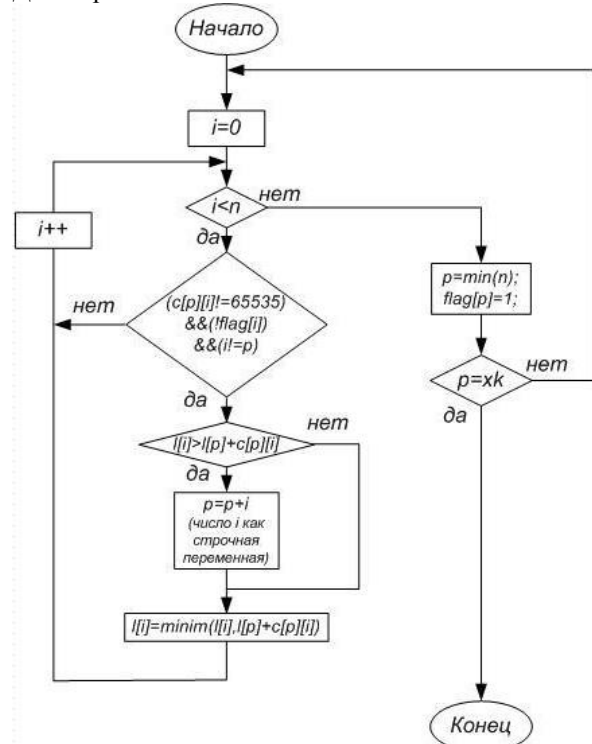


Рисунок 3 – Схема программной реализации алгоритма Дейкстры

Иногда возникает потребность найти не весь кратчайший путь, а только путь в некоторой паре цепочек (парой вершин) – применительно к условиям горной промышленности данная задача может возникнуть, когда существуют определенные ограничения на использование того или иного оборудования по газовому фактору, по технологии ведения работ, по диаметру исполнительного органа. Данную задачу можно решить с использованием алгоритма Дейкстры, однако чтобы сократить вычислительные возможности более целесообразно применить алгоритм Флойда.

Алгоритм Флойда позволяет найти кратчайшие пути между любыми двумя узлами сети. В этом алгоритме сеть представлена в виде квадратной матрицы с n строками и n столбцами. Элемент (i, j) равен расстоянию d_{ij} от узла i к узлу j , которое имеет конечное значение, если существует дуга (i, j) , и равен бесконечности в противном случае.

Основная идея алгоритма Флойда заключается в следующем. Пусть есть три узла i, j, k и заданы расстояния между ними (в нашем случае расстояние – оптимизационный параметр, который необходимо минимизировать). Если выполняется неравенство $d_{ij} + d_{jk} < d_{ik}$, то целесообразно заменить путь $i \rightarrow k$ путем $i \rightarrow j \rightarrow k$. Такая замена выполняется систематически в процессе выполнения алгоритма Флойда. Алгоритм реализуется следующим образом.

1. Необходимо пронумеровать вершины исходного графа целыми числами от 1 до N . После этого определим D^0 , задав величину каждого ее элемента (i, j) равной длине кратчайшей дуги, соединяющей вершину i с вершиной j . Если в исходном графе указанные вершины не соединяются дугами, положить $d_{ij}^0 = \infty$. Кроме того, для всех i положить $d_{ij}^0 = 0$.

2. Для целого m , последовательно принимающего значения 1, 2, ..., N , определить по величинам элементов матрицы D^{m-1} величины элементов матрицы D^m , используя соотношение $d_{ij}^m = \min \{ d_{im}^{m-1} + d_{mj}^{m-1}, d_{ij}^{m-1} \}$.

При определении величины каждого элемента матрицы D^m фиксировать соответствующий кратчайший путь.

По окончании данной процедуры величина элементам (i, j) матрицы определяет длину кратчайшего пути, ведущего из вершины i в вершину j .

При этом для всех i и m должно быть $d_{ij}^m = 0$. Кроме того, для всех $i=1, 2, \dots, N$ имеют место соотношения $d_{im}^{m-1} = d_{jm}^m$ и $d_{mi}^{m-1} = d_{mi}^m$. [28,29]

Принципиальное отличие алгоритма Флойда от алгоритма Дейкстры заключается в том, что в алгоритме Флойда находится кратчайший путь между всеми вершинами. Данный алгоритм целесообразно применить когда стоит задача наложить ограничение по уровню суточной добычи, по себестоимости, по капитальным затратам и др.

Выводы

В ходе выполнения работы было установлено, что критерий желательности Харрингтона и теория графов могут быть использованы в качестве инструмента для выбора очистного оборудования. В силу громоздкости расчетов рекомендуется на начальном этапе проводить подбор оборудования с использованием теории графов, затем на основе обобщенного критерия желательности Харрингтона проводить комплексную оценку механизированного комплекса. Построение альтернативного графа и анализ его маршрутов на начальном этапе проектирования позволит исключить наиболее неблагоприятные сочетания типов забойного оборудования, в тот же момент поиск наиболее рациональной комплектации сведется к анализу 2-3 технологических цепочек «крепь–комбайн–конвейер». Последующая оценка, с использованием критерия желательности, позволит выбрать наиболее благоприятное сочетание механизированного комплекса с позиции минимизации энергозатрат, обеспечения управления породами кровли при сложных горно-геологических условиях, максимальной пропускной способности средств транспортировки.

Предложено производить выбор оборудования с использованием классических алгоритмов оптимизации Дейкстры и Флойда.

Список использованной литературы

1. ОСТ 12.44. 258-84 Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. Введен. с 01.01.86.
2. Топчиев А.В. Расчет производительности выемочных комплексов и агрегатов / А.В. Топчиев, В.И. Солод. – М.: Госгортехиздат, 1966.
3. Хорольский А.А. Рациональный выбор состава механизированных комплексов в условиях эксплуатации забоев Донбасса / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Материалы международной конференции «Форум горняков – 2015», 30 сентября – 3 октября 2015г., Днепропетровск. – Д.: Национальный горный университет, Т1 – С58–68.

4. Брагин В.Е. Повышение эффективности комплексно – механизированной разработки пологих и наклонных угольных пластов Кубасса: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.15.02. «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / В.Е. Брагин. – Кемерово, 1996. – 39с.
5. Карин В.В. Влияние зон с неустойчивыми породами кровли на уровень концентрации горных работ при выемке пологих угольных пластов на больших глубинах: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.15.02. «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / В.В. Карин. – Санкт-Петербург, 1995. – 24с.
6. Коберник А.И. Прогноз горно-геологических осложнений в угольных шахтах восточного Донбасса и оценка их влияния на работу очистных забоев: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 04.00.11 – «Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений; металлогения» / А.И. Коберник. – Новочеркасск, 1995. – 19с.
7. Степанов В.М. Обоснование технологических и конструктивных параметров гидрофицированных крепей на основе обеспечения надежности их работы: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины» / В.М. Степанов. – Тула, 1994. – 47с.
8. Тащиенко В.П. Научное обоснование и разработка технологических схем отработки пологих и наклонных угольных пластов короткими очистными забоями на шахтах Кузбасса: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 25.00.22. «Геотехнология (подземная, открытая, строительная)» / В.П. Тащиенко. – М., 2003. – 48с.
9. Антипов И.В. Геомеханические и технологические основы создания нового уровня крепей очистных забоев тонких пологих пластов: автореф. дис. на соискание уч. степени докт. техн. наук: спец. 05.12.02. «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / И.В. Антипов. – Донецк, 1996. – 39с.
10. Морозов В.И. Расчет полезной работы механизированной крепи, работающей в составе очистного механизированного комплекса по добыче угля / В.И. Морозов, К. Кристофер // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2000. – №3.
11. Клишин В.И. Адаптация механизированных крепей к условиям динамического нагружения – Новосибирск: Наука, 2002. – 200с.
12. Линник В.Ю. Повышение эффективности функционирования шнековых исполнительных органов очистных комбайнов в различных условиях применения: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.06. «Горные машины» / В.Ю. Линник. – М., 2003. – 22с.
13. 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.
14. Харрингтон Дж. Х. Управление качеством в американских корпорациях: сокр. пер. с англ. / авт. вступ. ст. и науч. ред. Л.А. Конарева. – М.: Экономика, 1990. – 272с.
15. Морозов В.И. Очистные комбайны: справочник / под общ. ред. В.И. Морозова. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. – 650с.: ил.;
16. Плотников В.П. Вывод формулы для расчета производительности очистных комбайнов со шнековыми, барабанными или корончатым исполнительным органом / В.П. Плотников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – №9. – С48–51.
17. ГОСТ 31561–2012. Крепи механизированные для лав. Основные параметры. Общие технические требования. [Текст]. – Введ. с 01.01.2014. – М.: Издательство стандартов, 2012 – 27с.
18. Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очистного оборудования для угольных шахт: [моногр.] / 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 общей редакцией Гребенкина С.С. и Косарева В.В. – Донецк: «ВИК», 2009. – 372с.
19. Горные машины для подземной добычи угля: учебн. пособ. / П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко, С.В. Павленко, В.В. Косарев; под общ. ред. П.А. Горбатова. – 2-е изд. перераб. и дополн. – Донецк: Норд Компьютер, 2006. – 669с.: ил.
20. Юрченко В.М. Критерии выбора шахтных транспортных средств / В.М. Юрченко // Вестник КузГТУ. – 2014. – С58–59.
21. ОНТП1-86 Общесоюзные нормы технологического проектирования подземного транспорта горнодобывающих предприятий ; Министерство угольной промышленности СССР 31.03.1986 г. Дата ввода документа в действие: 01.04.1986 г.
22. ГОСТ Р 55152-2012 "Оборудование горно-шахтное. Конвейеры шахтные скребковые передвижные. Общие технические требования и методы испытаний" [Текст] Введ. с 01.01.2014. – М.: Стандартинформ, 2012 – 8с.

23. Хорольский А.А. Рациональный выбор очистного оборудования для шахт Донбасса / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Известия Донецкого горного института. – 2015. – №1(36). – С.90–96
24. Dijkstra E.W., A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, Numer Math., 1, pp/ 269-271, 1959.
25. Floyd R.Z., Algorithm 97, Shortest Path, Comm. ACM, 5, p.345, 1962.
26. Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений: моногр. / В.Г. Гринев, В.П. Зубков, В.Ю. Изаксон. – Новосибирск, Наука, 1999. – 215 с.
27. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: практическое руководство / Т. Шуп; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 238 с.
28. Асельдоров М. Представление и восстановление графов / М. Асельдоров, Г.А. Донец. – К.: Наукова думка, 1991. – 96 с.
29. Зыков А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков. – М.: Наука, 1987. – 384 с.

Надійшла до редакції 19.02.2016

В.Г. СИНКОВ¹, В.Г. ГРІНЬОВ², А.О. ХОРОЛЬСЬКИЙ²

¹Красноармейский индустриальный институт ДонНТУ

²Інститут фізики горних процесів НАН України

ОЦІНКА РІВНЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ОЧИСНОГО ОБЛАДНАННЯ В СКЛАДІ МЕХАНІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ

В роботі вперше запропоновано проводити оцінку рівня взаємозв'язку очисного обладнання за допомогою узагальненого критерію бажаності Харрінгтона та теорії графів. Побудова альтернативного графу дозволила на початковому етапі проектування виключити найбільш несприятливі поєднання типів очисного обладнання. Подальшу оцінку запропоновано проводити на основі розробленого і адаптованого до умов гірничої промисловості критерію бажаності Харрінгтона, з цією метою були обрані основні критерії оцінки якості обладнання у складі технологічного ланцюгу «механізоване кріплення-комбайн-конвеєр». Як альтернатива вже існуючим методикам вибору обладнання, можуть бути використані базові алгоритми оптимізації - мережі і графи.

Ключові слова: *очисне обладнання, граф, критерій Харрінгтона, механізоване кріплення, комбайн, конвеєр.*

V.G. SYNKOV¹, V. GRINOV², A.O. KHOROLSKIY²

¹Krasnoarmeysk Industrial Institute of Donetsk National Technical University

²Institute of Physics of Rock Processes of National Academy of Sciences of Ukraine

RATIONALE FOR STRUCTURE OF THE MECHANIZED COMPLEX ON THE BASIS OF ASSESSING THE LEVEL OF THE RELATIONSHIP TYPES

The article analyzes methods of choice of mining equipment. The paper provides a method of choice of mining machinery with the help of graph theory. We propose alternative methods of selection of mining equipment by functional connection. The rational parameters of the mechanized complex on the basis of actual intercommunication are considered. The nomenclature of mine equipment is analyzed and an alternative graph for complexes is provided.

Keywords: *cleaning equipment, graph, criterion Harrington, combine, mechanization support, conveyor.*