

УДК 622: 33.003.55: 681.3

В.Г. Гринев¹, П.П. Николаев²

ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВЫБОРА ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ШАХТАХ ДОНБАССА

¹ИФГП НАН Украины

²Донецкая облгосадминистрация

Впервые предложено для решения задачи эффективного выбора очистного горного оборудования применить теорию графов. Этот раздел математики имеет широкое практическое применение, поскольку довольно хорошо разработаны алгоритмы оптимизации на сетях и графах.

Эффективность технологии добычи угля в значительной степени обусловлена рациональным выбором горно-шахтного оборудования.

Технологию добычи угля невозможно описать функцией с одной переменной, поэтому для выбора рациональных вариантов горно-шахтного оборудования целесообразно использовать методы оптимизации в многомерном пространстве.

Существует понятие «область рационального проектирования» [1]. Отрицательным примером деятельности вне области рационального проектирования являются неудовлетворительные результаты технического перевооружения отечественной угольной отрасли.

Изначально предполагалось, что создание очистных механизированных комплексов нового поколения обеспечит стабильно высокие нагрузки на лавы в сложных горно-геологических условиях, но несмотря на прогресс в области создания очистной техники, объемы добычи угля на шахтах Украины продолжают снижаться. Например, в Донецкой области за период с 2005 года добыча угля уменьшилась на 4,3 млн. тонн, или на 12%. В настоящее время на пологом падении среднесуточная нагрузка на очистные забои предприятий государственной формы собственности составляет 603 т, а средняя нагрузка на комплексно-механизированные забои уменьшилась с 724 т/сут. до 648 т/сут. С 2005 года до настоящего времени объем суточной добычи угля из комплексно-механизированных очистных забоев снизился на 12 тыс. тонн или на 20%.

Без эффективной технологии ведения очистных работ механизированные комплексы нового поколения не могут обеспечить эффективность технического перевооружения и безопасное увеличение нагрузки на очистные забои. Поэтому принципиально важным является несоответствие высокого

качества отечественных механизированных комплексов их низкой производительности. Следствием этого являются два важных вывода:

1) применение очистной техники нового поколения является обязательным условием перевооружения угольной отрасли, но недостаточным для значительного повышения уровня угледобычи. Изучение условий и результатов эксплуатации современного горно-шахтного оборудования свидетельствует о необходимости разработки методики выбора определенного типа очистного оборудования для конкретных горно-геологических условий с учетом газообильности угольных пластов;

2) из-за низкой экономической эффективности эксплуатации дорогостоящего оборудования комплексная механизация очистных забоев привела к повышению убыточности угледобычи вследствие скачкообразного роста себестоимости добычи угля.

В связи с этим актуальной задачей является разработка рекомендаций по выбору области рационального проектирования очистного оборудования на основе изучения эффективности применения отечественных механизированных комплексов.

Задача выбора области рационального проектирования и эксплуатации горно-шахтного оборудования может быть решена с помощью сетевых моделей. Сетевые и графовые модели охватывают широкий класс задач, встречающихся при проектировании сложных систем, планировании работ, распределении продукции, организации транспортных перевозок, размещении различных центров обслуживания населения и конкретных систем [2]. Характерной особенностью таких задач, если они адекватно отображают реальную ситуацию, является большая размерность, обуславливающая необходимость поиска эффективных алгоритмов оптимизации. Перспективным направлением построения таких алгоритмов может служить их представление на графах и сетях.

Для наглядности масштаба реальных альтернатив при добыче угля в Донбассе был построен универсальный альтернативный граф фактической области применения комплексов очистного оборудования, приведенный в работе [3]. На этом графе была показана структура механизированных комплексов на шахтах Донецкой и Луганской областей, которая свидетельствует о большом количестве типов очистного оборудования, применяемого на практике, – 10 типов механизированных крепей, 11 типов выемочных машин и 19 типов забойных конвейеров. Большое количество вариантов сочетания между собой этих типов оборудования при различной длине очистных забоев усложняет задачу выбора рациональной технологической цепочки для определенных горно-геологических условий.

Известно, что рациональная эксплуатация горно-шахтного оборудования обуславливается качественным взаимодействием звеньев технологической цепочки и его соответствием конкретным горно-геологическим условиям залегания угольного пласта.

Если технологическую задачу возможно представить графовыми или сетевыми моделями, то это значительно упрощает её решение, поскольку из-

вестно много алгоритмов оптимизации таких сетей. При этом успешно могут применяться методы линейного программирования, а в определенных случаях - и динамического программирования [4].

Фактические результаты работы лав, оснащенных механизированными комплексами, являются значимыми исходными данными для оценки эффективности эксплуатации различных вариантов сочетания очистного оборудования и разработки рекомендаций по рациональной области применения определенного набора оборудования в конкретном очистном забое. При этом следует переходить от физического содержания задачи к алгоритмическим построениям.

В начале были построены и проанализированы альтернативные графы эксплуатации всех применяемых в настоящее время механизированных крепей. В 2010 году на шахтах Донбасса наиболее часто встречались следующие типы отечественного оборудования: КД80 – 43 очистных забоя, 2КД90Т – 26, 1КД90 – 25, 3КД90 – 25, ДМ – 25, 3КД90Т – 13, 2КД90 – 11, 2МКД90 – 6, 1МКД90 – 4. Остальные забои оснащены единичными образцами отечественного или импортного оборудования. Таким образом, наиболее распространенными являются семь типов механизированных крепей – КД80, 2КД90Т, 1КД90, 3КД90, ДМ, 3КД90Т и 2КД90.

На рис. 1 представлен пример графа фактических вариантов горного оборудования с механизированной крепью 1КД90. Такие графы были построены для всех типов крепей, применяемых в настоящее время.

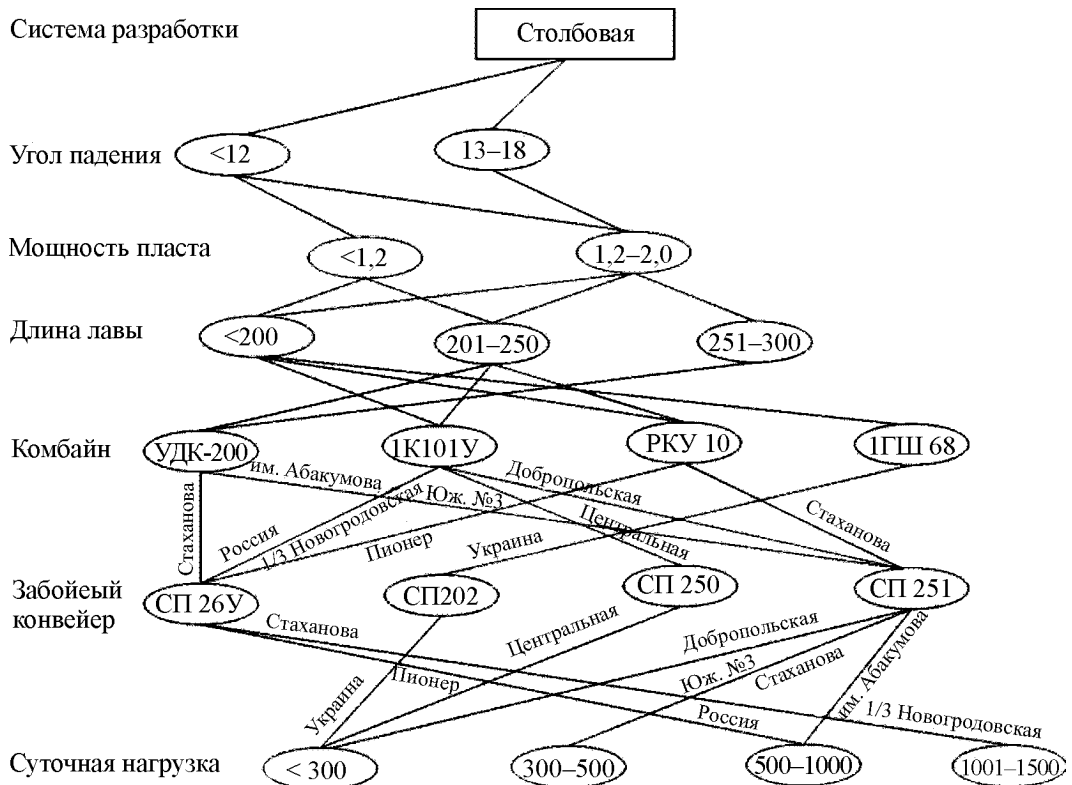


Рис. 1. Альтернативный граф фактической области применения крепи 1КД90

Далее был проведен анализ работы комплексов очистного оборудования за последние три года, отобраны лучшие и худшие варианты работы по критерию уровня суточной добычи по каждому году.

Затем результаты были представлены отдельно двумя графами с вариантами технологических цепочек горно-шахтного оборудования, эксплуатация которых обеспечила максимальный или минимальный уровни суточной добычи угля с применением конкретных механизированных крепей.

На рис. 2 приведен граф лучших вариантов эксплуатации различных типов механизированных крепей. В отличие от универсального альтернативного графа, в этом графе сконцентрирована информация об эффективных вариантах технологических цепочек очистного оборудования в горно-геологических условиях шахт Донбасса за последние три года.

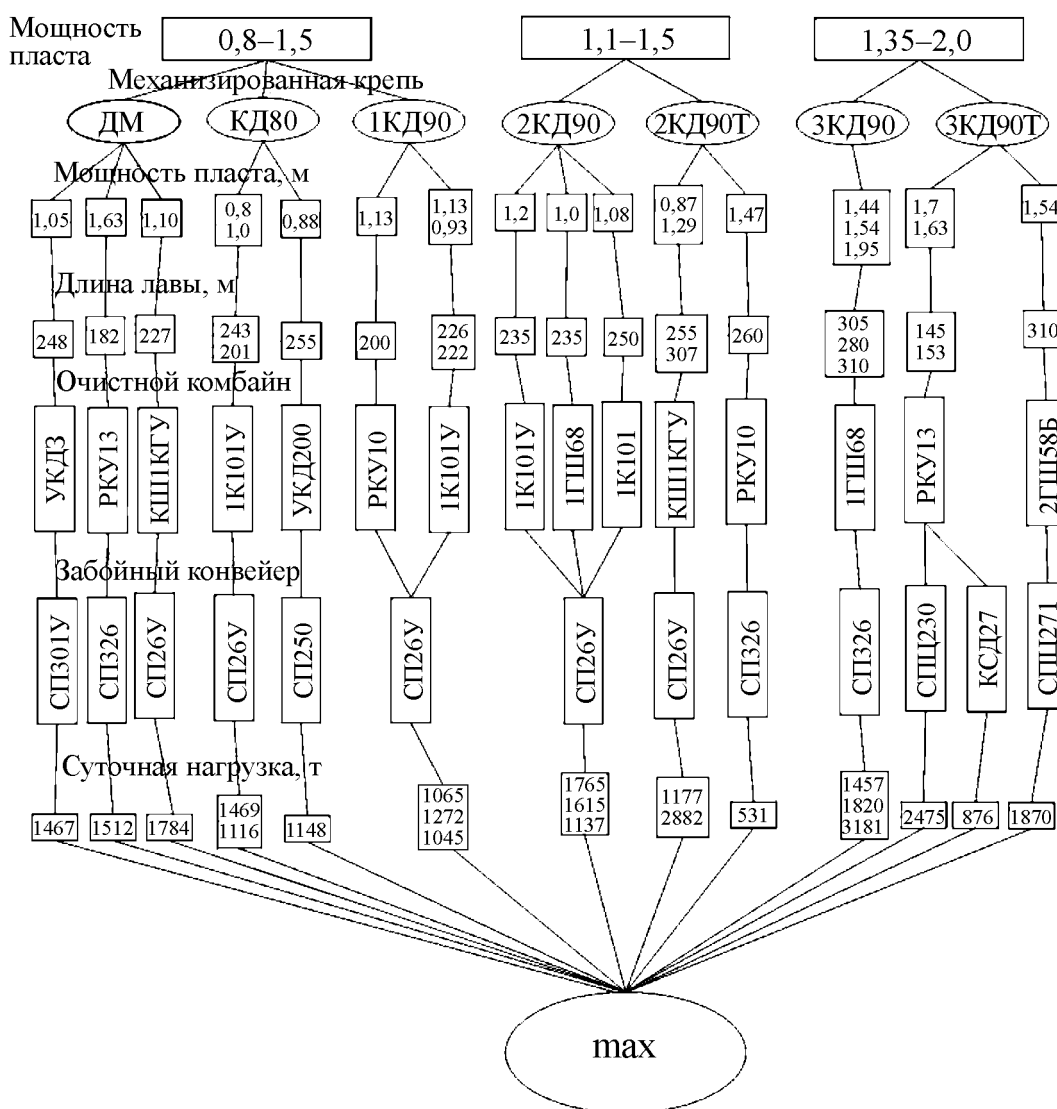


Рис. 2. Альтернативный граф эффективности фактических связей горного оборудования на шахтах в 2008–2010 гг. (лучшие варианты)

Данный граф стал основой для построения графа выбора рациональных технологических цепочек, в которых представлены варианты разработки угольных пластов мощностью от 0,8 до 2,2 м с разбивкой на 7 отдельных областей через 20 см. Для каждой области эксплуатации оборудования был построен свой компонент исходного графа.

На рис. 3 в качестве примера показан фрагмент этого графа для угольного пласта мощностью 1,4–1,8 м в виде двух компонентов исходного графа. Этот граф можно применять для выбора горно-шахтного оборудования в конкретной области рационального проектирования. Выбор варианта по критерию максимальной добычи может быть сделан графо-аналитическим способом. Лучшие варианты цепочек выделены на рис. 3 жирной линией.

Если задать определенные значения вершинам и дугам графа, то такие сети можно рассчитывать с помощью известных алгоритмов.

Примером такой сети может служить компонент исходного графа для мощности 0,8–1,0 м (рис. 4), в котором вершинам или дугам могут быть поставлены в соответствие численные значения. Формализация такого графа может быть сведена к процедуре перевода его в определенную сеть.

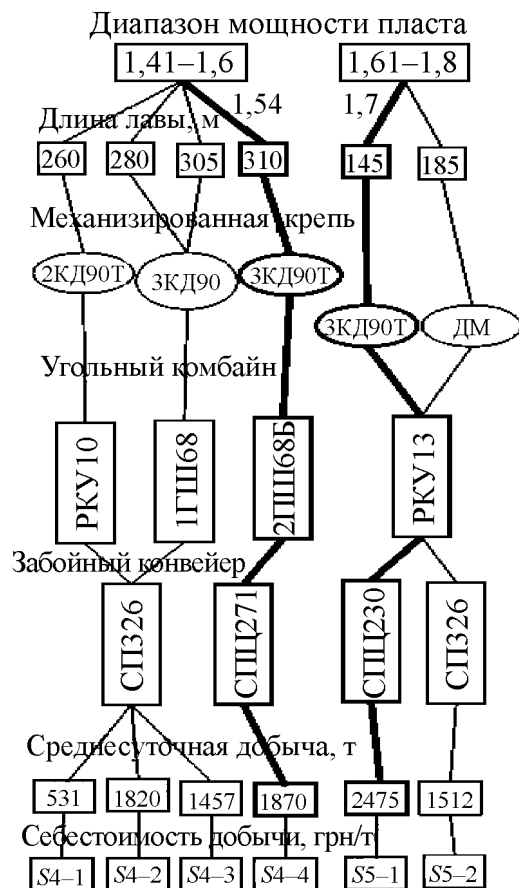


Рис. 3. Два компонента исходного графа выбора оборудования для диапазонов мощности 1,41–1,6 и 1,61–1,8 м

Пусть компонент исходного графа выбора $G(X, A)$ состоит из множества X с m вершинами в количестве 29, а множество A упорядоченных пар вершин включает n дуг в количестве 38. При этом вершинам будут соответствовать значения следующих технологических параметров: m_1 – мощность пласта; $l_5, l_6, l_9, l_{10}, l_{13}$ – длина лавы; t_2-t_5 – стоимостные параметры механизированной крепи из графа выбора; c_1, c_2, c_4, c_5 – стоимостные параметры угольных комбайнов из графа выбора; k_1, k_2 – стоимостные параметры забойных конвейеров из графа выбора; v_1-v_6 – объемы суточной добычи угля рассматриваемых технологических цепочек оборудования; $s_{11}-s_{16}$ – себестоимость добычи угля по рассматриваемым вариантам.

Дальнейшая формализация осуществляется путем матричного представления и выбора алгоритма оптимизации предложенных сетей и графов.

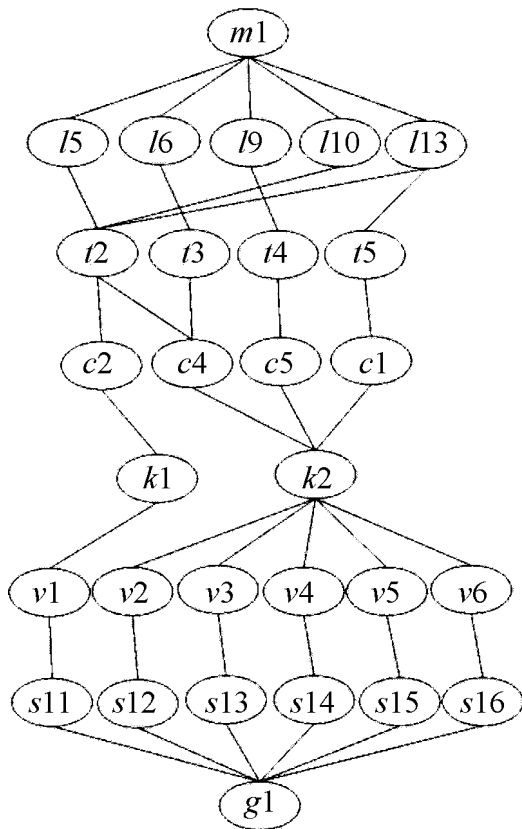


Рис. 4. Сетевая модель выбора очистного оборудования для диапазона мощности 0,8-1,0 м в условиях шахт Донбасса

В качестве ограничения можно задавать верхний предел на капитальные затраты для приобретения оборудования, учитывать граничные пределы по участковой себестоимости, газовому фактору, транспортной цепочке, вводить ограничения из графа худших вариантов эффективности технологических цепочек и т.д.

При подборе алгоритмов оптимизации решения этих задач следует также учитывать, что не существует универсального алгоритма, который позволял бы решать любые подобные задачи. При этом, решая сложные задачи оптимизации, целесообразно использовать разные методы, что позволит увеличить вероятность получения точных решений.

1. Амоша А.И. Комплексное освоение угольных месторождений Донецкой области [Текст]: монография / А.И. Амоша, В.И. Логвиненко, В.Г. Гринев. – Донецк: Ин-т экономики пром-сти НАН Украины, 2007. – 216 с.

Пусть G – матрица, состоящая из 29 строк, каждая из которых соответствует определенной вершине, и 38 столбцов, каждый из которых соответствует определенной дуге. Подробное описание формирования матрицы такого графа представлено в работе [4]. Если построить таким образом матрицу и задать величину каждого ее элемента (i, j) , равную длине, соединяющей вершину i с вершиной j , то можно применить стандартные алгоритмы поиска кратчайшего пути, то есть максимального или минимального потока [4].

Таким образом, для каждого диапазона мощности пласта строится матрица, которая оптимизируется, например, по критерию приведенных затрат:

$$S_{\text{пр}} = S + E_n K,$$

где S – эксплуатационные затраты по варианту технологической цепочки, грн/т; K – удельные капитальные вложения по вариантам оборудования, грн/т; E_n – норматив сравнительной эффективности, принимается в соответствии с отраслевой инструкцией.

2. *Оре О.* Теория графов [Текст]. – 2-е изд. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 336 с.
3. *Гринев В.Г.* Обоснование безопасных технологических параметров выемки угля на углегазовых месторождениях [Текст] / В.Г. Гринев, Г.П. Стариков, С.Е. Дегтярь, П.П. Николаев // материалы II межд. Конф. «Подземные катастрофы: модели, прогноз, предупреждение», НГУ, Днепропетровск, 2011.
4. *Майника Э.* Алгоритмы оптимизации на сетях и графах [Текст]: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 323 с.

В.Г. Грінюв, П.П. Ніколаєв

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ГРАФІВ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИБОРУ ОЧИСНОГО УСТАТКУВАННЯ НА ШАХТАХ ДОНБАСУ

Вперше запропоновано для вирішення задачі ефективного вибору очисного гірничого устаткування застосувати теорію графів. Цей розділ математики має широке практичне застосування, оскільки досить добре розроблені алгоритми оптимізації на мережах і графах.

V.G. Grinyov, P.P. Nikolaev

GRAPH THEORY APPLICATION FOR RATIONAL CHOICE OF STOPE EQUIPMENT IN DONETS BASIN COAL MINES

Application of the graph theory to solve the problem of rational choice of stope mine equipment is first proposed. This branch of mathematics has numerous practical applications due to well-developed algorithms of optimization in networks or graphs.