

АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕПОЧЕК ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*В.Г. Гринев, Институт физики горных процессов НАН Украины
П.П. Николаев, Донецкая облгосадминистрация, Украина*

Впервые обосновано применения классической теории графов для решения задачи эффективного выбора очистного оборудования на угольных шахтах Донбасса.

Современный уровень угледобычи предъявляет высокие требования к инженерному обеспечению подземных горных работ и обоснованности принимаемых инженерных решений. Если по определению параметр - это величина характеризующее какое-либо свойство процесса, явления или системы, машины, прибора, то технологических параметров имеющих отношение к добыче угля насчитывается не менее двух десятков.

Область, которая определяется всеми проектными параметрами – это пространство проектирования. Оно не столь велико, как может показаться, поскольку оно обычно ограничено рядом условий, связанных с физической сущностью задачи. Ограничения могут быть столь сильными, что задача не будет иметь ни одного удовлетворительного решения.

Для горных задач еще в 90-е годы прошлого столетия введено понятие области рационального проектирования. Как пример деятельности вне области рационального проектирования - это результаты программы технического переоснащения очистных забоев, реализация которой начата в начале XXI века. Программой предполагалось увеличение нагрузки на очистной забой с 500 до 1500 т/сут., но, несмотря на явный прогресс в создание комплексов нового поколения, получить среднюю нагрузку в 1500 т/сут. не удалось[1]. Таким образом, механизированный комплекс без эффективной технологии ведения горных работ не может гарантировать позитивный эффект от технического перевооружения, а также безопасное увеличение нагрузки на забой.

В настоящей работе решена актуальная задача изучения фактических условий применения комплексов и обоснования рациональной области эксплуатации наиболее распространенного отечественного очистного оборудования.

Характерной особенностью таких задач (если только они правильно отображают реальную ситуацию) является большая размерность, обуславливающая необходимость поиска бо-

лее эффективных алгоритмов оптимизации. О значительном количестве альтернатив вариантов выбора оборудования в настоящее время говорит факт существования чрезвычайно большого количества типов очистного оборудования: механизированных крепей - 10, выемочных машин - 11 и забойных конвейеров - 19 [2]. Плодотворной основой для построения таких алгоритмов могут служить их представление на сетях и графах [3].

Таким образом, эта проблема может быть сформулирована как задача теории графов. В данных исследованиях необходимо следовать от физического смысла задачи к алгоритмическим построениям.

Этот раздел математики имеет широкое практическое приложение, так как довольно хорошо разработаны алгоритмы оптимизации на сетях и графах.

Для наглядности масштаба реальных альтернатив при добыче угля в Донбассе был построен универсальный альтернативный граф фактической области применения комплексов очистного оборудования [2], на котором представлены варианты взаимодействия всего очистного оборудования используемого в настоящее время на шахтах Донбасса, а так же некоторые условия их применения.

Данный граф построен на базе отдельных графов фактической области применения всех типов механизированных крепей, которые используются на данный момент шахтами Донбасса.

Вторым шагом на пути к решению задачи экспертной оценки области рационального оборудования было построение альтернативных графов эффективности фактических связей крепь-комбайн-конвейер на шахтах Донбасса отдельно по годам за период 2008-2010 гг. затем были отобраны лучшие и худшие варианты работы по критерию уровня суточной добычи по каждому году [1, 4].

Граф с максимальными результатами комплексов горного оборудования явился основой для построения графа выбора рациональных технологических цепочек, в которых на рис. 1 представлены варианты эффективной разработки угольных пластов для диапазона мощности пласта от 0.8 до 2.2 м с разбивкой на 7 отдельных областей.

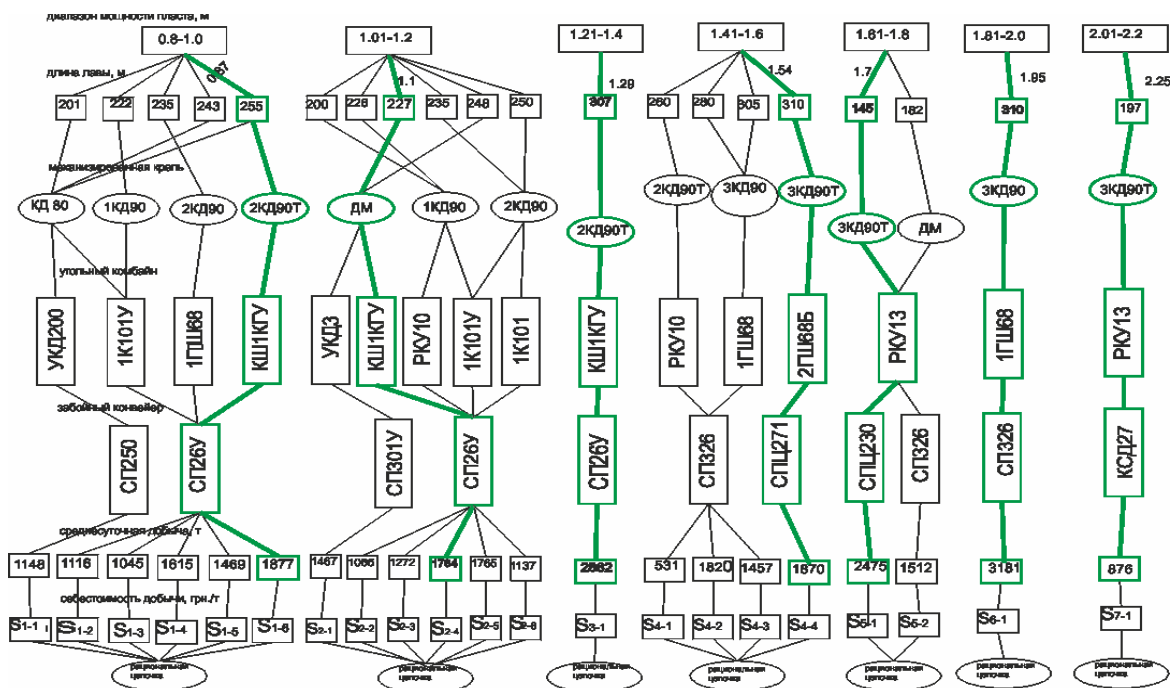


Рис. 1. Граф выбора рациональных технологических цепочек разработки угольных пластов мощностью от 0,8 до 2,2 м.

Данный граф G является не связным, поскольку число его компонент связности равно $s(G) = 7$. Каждая компонента графа $s_i(G)$ соответствует области диапазона мощности через

20 см от 0.8 м до 2.2 м и, в свою очередь, представляет из себя связный подграф, который графически описывает технологические процессы, связанные с добычей угля. Их начальные вершины (мощность пласта) и конечные вершины (себестоимость добычи угля) связаны отношением достижимости.

Проведенная экспертная оценка области рациональной эксплуатации очистного оборудования показала, что для мощностей пласта 1,21-1,4 м, 1,81-2,0 м, 2,01-2,2 м существует только по одному варианту цепочки крепь-комбайн-конвейер, которые показывают максимальный результат. В рассматриваемых условиях Донбасса конкурентов среди отечественных механизированных крепей нет.

С представленным графом уже можно работать по выбору горно-шахтного оборудования в конкретной области рационального проектирования. Если выбрать вариант по критерию максимальной добычи, то это можно сделать графо-аналитическим способом. Лучшие варианты цепочек выделены на рисунке жирной линией.

Если же выбрать область рационального проектирования с учетом капитальных затрат и себестоимости добычи угля, то такую задачу можно решить путем применения алгоритмов оптимизации графов Дейкстры и Флойда.

Данная задача может быть решена на базе исследования компонент графа G. В качестве примера поставленной задачи может служить, приведенная в работе [1], сетевая модель выбора очистного оборудования для мощности 0,8-1,0 м, которая получена путем формализации соответствующего графа.

Пусть компонент для мощности 0,8-1,0 м исходного графа выбора G (X, A), состоит из множества X с m вершин в количестве 29, а множество A упорядоченных пар вершин включает n дуг в количестве 38. В данном компоненте вершинам будут соответствовать значения следующих параметров:

m_1 - мощность пласта;

$l_5, l_6, l_9, l_{10}, l_{13}$ - длина лавы;

$t_2 \dots t_5$ - 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;

$s_{11} \dots s_{16}$ - себестоимость добычи рассматриваемых вариантов.

$v_1 \dots v_6$ - объемы суточной добычи рассматриваемых цепочек

$g_1 \dots g_7$ - рациональная цепочка компонента цепи.

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

Пусть G - матрица, состоящая из 29 строк, каждая из которых соответствует определенной вершине и 38 столбцов, каждый из которых соответствует определенной дуге.

Если задать для данной матрицы величину каждого ее элемента (i, j), равной длине соединяющий вершину i с вершиной j, а затем, применив стандартные алгоритмы поиска кратчайшего пути или максимального или минимального потока, можно решить задачу выбора очистного оборудования для рациональной эксплуатации угольных месторождений Донбасса.

Таким образом, для каждого диапазона мощности пласта строится матрица, которая оптимизируется, например, по критерию приведенных затрат $S_{пр} = S E_n K$, где S - эксплуатационные расходы при варианте технологической цепочки, грн/т; K - удельные капитальные вложения по вариантам оборудования, грн/т; E_n - норматив сравнительной эффективности, принимается в соответствии с отраслевой инструкции.

Кроме того, можно задавать в качестве ограничения верхнюю границу на капитальные расходы для приобретения оборудования, учитывать предельные границы по участковой себестоимости, газовому фактору, транспортной цепи, вводить ограничения с графа худших вариантов эффективности технологических цепочек и т.д.

Рассмотрим алгоритм Дейкстры, поиска на графе кратчайшего пути между двумя выделенными вершинами.

Прежде, чем представлять алгоритмы, необходимо ввести некоторые обозначения и сделать правки. Вершины графа выбора рациональных технологических цепочек, которые имеют отношение к мощности угольного пласта m_i и длине лавы l_i , относятся к параметрам определяющим выбор рабочего компонента исходного графа G и не участвуют в алгоритме оптимизации.

Вершины v_i , которые фиксируют конечный результат эксплуатации комплекса оборудования по суточному нагрузкой очистного забоя, также не участвуют в алгоритме поиска кратчайшего пути, поскольку они участвуют в выборе варианта технологической цепочки по критерию максимальной добычи графо-аналитическим способом.

В качестве исходного графа необходимо продолжить исследования первого компонента s_1 (G) исходного графа G . На рис. 2 представлен отредактированный в требуемом формате первый компонент несвязной исходного графа.

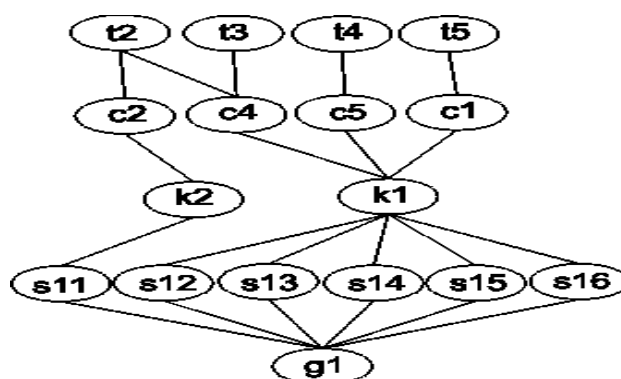


Рис. 2. Отредактированная модель выбора очистного оборудования для диапазона мощности 0.8-1.0 м в условиях шахт Донбасса

Алгоритм Дейкстры поиска кратчайшего пути включает несколько шагов [5]:

Шаг 1. Перед началом выполнения алгоритма все вершины и дуги не окрашены. Каждой вершине в ходе выполнения алгоритма присваивается число $d(x)$, равную длине кратчайшего пути из s в x , включает только окрашенные вершины.

Положить $d(s) = 0$ и $d(x) = \infty$ для всех x , отличных от s . Окрасить вершину s и положить $y = s$ (y - последняя из окрашенных вершин).

Шаг 2. Для каждой неокрашенной вершины x следующим образом перечислить величину $d(x)$:

$$D(x) = \min \{d(x), d(y) \text{ а } (a, x)\}$$

Если $d(x) = \infty$ для всех неокрашенных вершин x , закончить процедуру алгоритма: в исходном графе отсутствуют пути с вершины s в неокрашенные вершины. В противном случае окрасить ту из вершин x , для которой величина $d(x)$ является наименьшей.

Шаг 3. Если $y = t$, закончить процедуру: кратчайший путь из вершины s в вершину t найден (это единственный путь из s в t , составленный из окрашенных дуг). В противном случае перейти к шагу 2.

Поскольку на всех этапах алгоритма Дейкстры окрашенные дуги образуют исходном графе ориентированное дерево, алгоритм можно рассматривать как процедуру наращивания ориентированного дерева с корнем в вершине s . Когда в этой процедуре наращивания достигается вершина t , процедура может быть остановлена, так как кратчайший путь между вершинами найден.

Далее рассмотрим алгоритм Флойда, поиска на графе кратчайший путей между всеми парами вершин.

В алгоритме допускаются отрицательные значения длин дуг, но не допускается наличие контуров отрицательной длины [6].

Продолжаем исследовать первый компонент $c_1(G)$ исходного графа G . Перенумеруем вершины первого компонента несвязного исходного графа, который был отредактирован в необходимом формате целыми числами от 1 до N . Рабочая модель графа для применения алгоритма Флойда приведена на рис. 3.

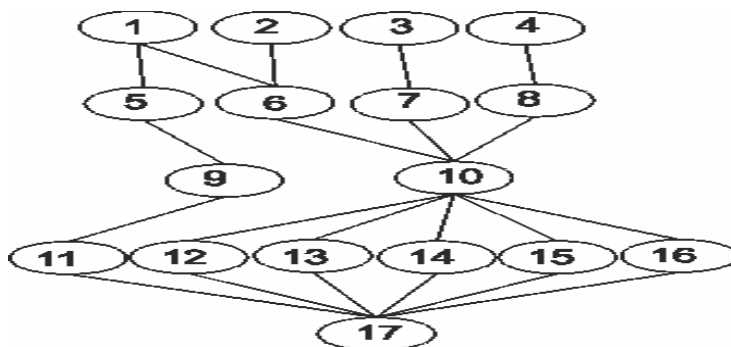


Рис. 3. Рабочая модель графа для применения алгоритма Флойда

Алгоритм Флойда поиска кратчайшего пути включает несколько шагов:

Шаг 1. Перенумеровать вершины исходного графа целыми числами от 1 до N . Определить матрицу 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 $d_{ij}^0 = 0$.

Шаг 2. Для целого m , последовательно принимающего значения $1, 2, \dots, N$, определить по величинам элементов матрицы D^{m-1} величины элементов матрицы D^m , используя рекурсивное соотношение, т.е. 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 .

В качестве примера выбора структуры очистного оборудования выступает ОП «Шахта «Трудовская» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания», где ставится задача подбора оборудования для нового участка по пласту l_4 мощностью 1,55 м.

После выбора компонента графа выбора рациональной технологической цепочки, построения соответствующей сетевой модели и ее матричного представления был реализован алгоритм Дейкстры для выбора кратчайшего пути.

В результате решения алгоритма сетевой модели выбора очистного оборудования получена сеть, представленная на рис. 4.

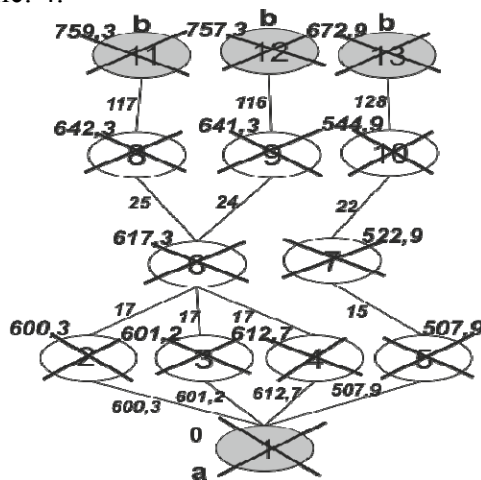


Рис. 4. Сетевая модель выбора очистного оборудования путем поиска кратчайшего пути алгоритмом Дейкстры

Кратчайший путь от вершины а к b11 пролегает через вершины 2-6-8-11 и составляет 759,3; к b12 по маршруту 2-6-9-11 и равна 757,3; b13 через вершины 5-7-10-13 , равный 672,9. Поскольку $757,3 > 672,9 < 759,3$, то кратчайшим путем сетевой модели выбора очистного оборудования является путь из а в b13 через вершины 5-7-10-13.

После перевода данной сети в натуральный граф, полученная визуализация рациональной цепочки очистного оборудования: Лл = 310 м - ЗКД90Т - 2ГШ68Б - СПЦ271, с ожидаемым добычей 1870 т / сутки и себестоимостью 508 грн / т. Годовой доход от реализованного угля составит более 18 млн. грн.

Вывод. Обоснована методология решения задачи рационального выбора очистного оборудования на угольных шахтах Донбасса путем применения классических алгоритмов оптимизации графов Дейкстры и Флойда для нахождения кратчайшего пути между двумя вершинами сетевых моделей полученных при формализации графов с максимальными результатами конкретных технологических цепочек типов оборудования.

Список литературы

1. Гринев В. Г., Николаев П. П. Приложение теории графов для эффективного выбора очистного оборудования на шахтах Донбасс ИФГП НАНУ: Физико-технические проблемы горного производства. - № 14 . – Донецк, 2011. – с. 166
2. Николаев П. П. Исследование области рациональной эксплуатации очистного оборудования на шахтах Донбасса с помощью теории графов и программы STATISTICA. Материалы международной конференции «Форум горняков 2012» - Днепропетровск, 2012. – с. 56.
3. Оре О Теория графов [Текст]. – 2-е изд – М.: Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – с. 336
4. Гринев В.Г., Стариков Г.П., Дегтярь С.Е., Николаев П.П. Обоснование безопасных технологических параметров выемки угля на углегазовых месторождениях. Материалы II между. Конф. «Подземные катастрофы: модели, прогноз, предупреждение», НГУ, Днепропетровск. 2011.- с. 24.
5. Dijkstra E.W., A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, Numer Math., 1, pp/ 269-271, 1959.
6. Floyd R.Z., Algorithm 97, Shortest Path, Comm. ACM, 5, p.345, 1962.