

2. Известны многие способы воздействия на залежи газовых гидратов для их разложения и выделения газа: механические, физико-химические и др., однако в настоящее время все эти методы не нашли промышленного применения из-за технической сложности их реализации, отсутствия технологий, предполагающих воздействие на продуктивный пласт комплекса различных методов.

3. Предложена новая технологическая схема для подводной разработки газогидратных месторождений, которая обеспечивает оперативное перемещение оборудования для добычи газа по площади месторождения, его разработку по всей толще гидратосодержащих пород, применение комплекса методов разложения газовых гидратов.

Список литературы

1. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Рос. хим. журн.–2003.–Т. XLVII, №3.–С. 70–79.

2. Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства Черного моря.–К.: ОМГОР НАН Украины, 2004.–280 с.

3. Бондаренко В.И., Ганушевич К.А., Сай Е.С. К вопросу скважинной подземной разработки газовых гидратов // Науковий вісник НГУ.–2011.–Т. 1.–С. 60–66.

4. Пат. РФ 2403379, МПК E21B 43/01. Способ добычи газа из придонных скоплений газовых гидратов/ Т.В. Матвеева, В.А. Соловьев, Л.Л. Мазуренко. – Заявл. 24.06.2009; Оpubл. 10.11.2010; Бюл. № 31.

5. Пат. 82371 Украина, МПК E21B 43/16; 43/25. Спосіб локального спрямованого гідророзриву пласта/ Б.М. Васюк. – Заявл. 07.03.2013; Оpubл. 25.07.2013, Бюл. № 14.

6. Пат. 2370642 РФ, МПК E21B 43/22. Добыча свободного газа конверсией газового гидрата/ Арне Грзуэ и др. – Заявл. 16.09.2005; Оpubл. 20.10.2009.

7. Пат. 65280 Украина, МПК E21B 43/00. Спосіб добування газу метану з морських газогідратних родовищ/ В.І. Бондаренко та ін. – Заявл. 05.07.2011; Оpubл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

8. Пат. 100522 Украина, МПК E21B 43/01. Універсальний спосіб підводного видобутку газу зі скупчень газових гідратів в осадовій товщі/ Б.М. Васюк. – Заявл. 27.02.2015; Оpubл. 27.07.2015, Бюл. №14

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ОСНОВЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА КОМПЛЕКТАЦИЙ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, ИФГП НАН Украины, Украина

В.Г. Сынков, Красноармейский индустриальный институт ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина

В данной работе проведен анализ фактических технологических цепочек «крепь-комбайн-конвейер» в очистных забоях Западного Донбасса. Предложен новый метод оценки эффективности взаимосвязи оборудования сопоставлением фактических связей с конкретными показателями их работы. Использование теории графов и классических алгоритмов оптимизации позволило разработать методологию рационального выбора оборудования.

Современный уровень угледобычи предъявляет ряд требований к инженерному обеспечению горных работ и обоснованности принятых инженерных решений. Наряду с газовым одним из главных факторов снижающим эффективность технологии угледобычи является проблема нерационального выбора комплектаций горно-шахтного оборудования. В

качестве примера можно рассмотреть ряд шахт объединения «Селидовоуголь» («Россия», «Украина», «Кураховская»), на которых все очистные забои были укомплектованы крепями КД90, комбайнами 1К101, конвейерами СП26. Проведенный анализ установил, что средняя суточная нагрузка на очистной забой не превышала 800 т/сут., что свидетельствует о низкой эффективности использования данной комплектации.

Анализ результатов работы аналогичных комплексов в других очистных забоях (например, на шахтах «Холодная балка» и им. Кирова в г. Макеевка) показывает такую же нерациональность комплектации, т.к. уровень суточной нагрузки составлял 300-800 т/сут. Данные факты подтверждают выводы, что суточная нагрузка на комплекс при использовании одного и того же оборудования будет идентична, а при его выборе следует учитывать эффективность взаимосвязи технологической цепочки «крепь-комбайн-конвейер» [1,2].

Изучение данной проблемы показывает, что задача выбора области рациональной эксплуатации горно-шахтного оборудования характеризуется линейной целевой функцией и линейными ограничениями. Для их решения успешно могли бы применяться известные методы линейного программирования, но в связи с большой размерностью таких задач необходим поиск более эффективных алгоритмов оптимизации.

Обработка статистических данных по работе механизированных забоев [3] позволила установить существующий уровень взаимосвязи между различными типами очистного оборудования, что в дальнейшем может быть использовано как материал для экспертной оценки или при выборе приоритетов на изготовление нового оборудования отечественного производства для шахт Западного Донбасса.

В качестве объекта исследования была выбрана работа комплексов на шахте «Россия» («Селидовоуголь»). Задача состояла в установлении рациональных комплектаций очистного оборудования применительно к условиям эксплуатации [4]. Для выработки соответствующих рекомендаций необходимо было исследовать показатели фактического применения комплексов и обосновать область рациональной эксплуатации наиболее распространенного отечественного оборудования.

Для решения поставленной задачи были проанализированы данные о работе комплексных механизированных забоев за 2010 год (по данным Донецкой областной государственной администрации). Была рассмотрена работа 56 забоев Западного Донбасса. При этом учитывались очистные забои с идентичными технологическими параметрами и горно-геологическими условиями: мощность пласта 1,01-1,40 м, длина лавы 220-300 м, угол залегания до 10^0 . По критерию обрушаемости породы основной кровли были средней обрушаемости, непосредственной – неустойчивые и малоустойчивые, почвы – малоустойчивы и устойчивы.

Проведенный анализ установил, что для 56 очистных забоев Западного Донбасса существует 16 альтернатив оборудования. Для добычи угля применялись комплексы 1КД90, КД80, ДМ, Ostroj, эффективность комплектации которых можно продемонстрировать на альтернативных графах.

Анализ альтернативного графа на рис.1 позволил установить, что наиболее рациональными в составе комплекса 1КД90 являются сочетания на шахте «Терновская» – комбайна УКД200 и конвейера СП251, шахте им. Героев Космоса – КА80 и СП251. Неблагоприятными являются сочетания на шахтах «Россия», «Украина и «Кураховская» – комбайна 1К101 и конвейера СП26, шахте «Стаханова» – УКД200 и СП26. Стоит отметить, что применение конвейера СП26 независимо от типа комбайна не позволяет обеспечить значение суточной нагрузки более 900 т/сут.

Аналогичные графы для комплексов КД80, ДМ, Ostroj представлены на универсальном альтернативном графе на рис.2.

Для комплекса ДМ рациональными являются сочетания комбайн-конвейер на шахте «Краснолиманская» – УКД200-СП326, шахтах «Добропольская», им. Н.И. Сташкова и «Терновская» – РКУ10-СП251.

Опыт эксплуатации комбайна МВ410, конвейера СЗК190 в составе комплекса ДМ в ШУ

«Покровское» показывает о нецелесообразности применение заграничных аналогов в рассматриваемых условиях. Комплектация очистных забоев на шахтах «Степная», «Павлоградская» и «Благодатная» такими аналогами оборудования обеспечивало величину суточной нагрузки в диапазоне 2000-2300 т/сут.

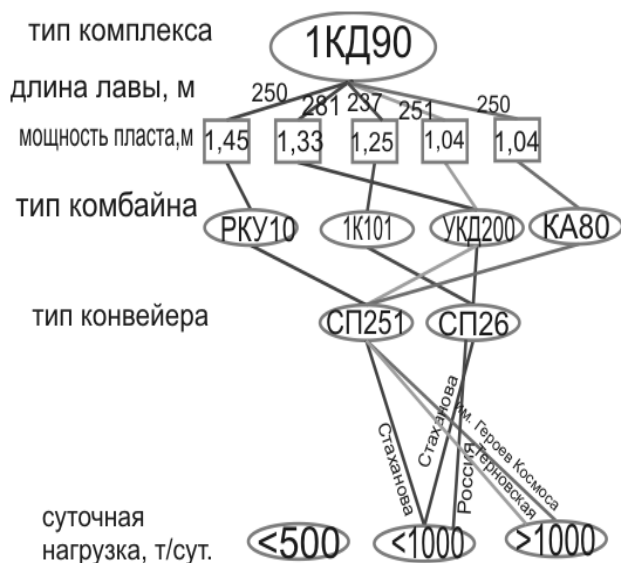


Рис. 1. Альтернативный граф комплекса 1КД90

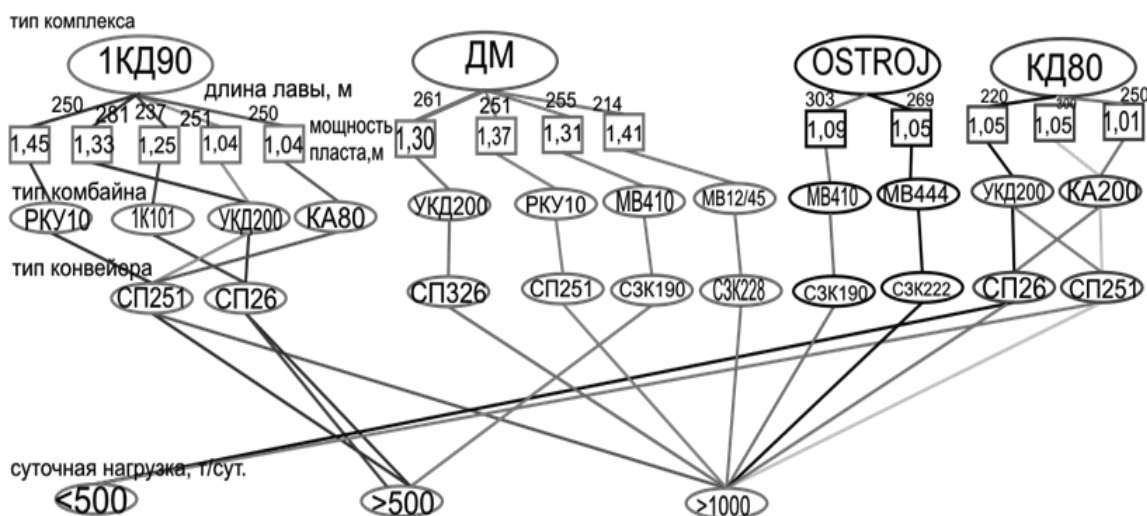


Рис. 2. Универсальный альтернативный граф

Однако в случае комплектации комплексов иностранными аналогами следует учитывать ряд факторов:

- иностранное оборудование в 3-4 раза дороже отечественных аналогов, что в ближайшей перспективе отразится на себестоимости готовой продукции;
- в случае поломки срок простоя значительно больший по отношению к отечественным аналогам (70 дней против 25), что снижает эффективность использования импортного оборудования в 1,8-2,2 раза.

Комплекс КД80 использовался практически во всех очистных забоях Днепропетровской области. Наиболее благоприятными являются сочетания комбайн-конвейер на шахтах «Юбилейная» и «Самарская» – КА200-СП251, шахта «Герновская» – КА80-СП26. На шахтах «Западно-Донбасская», «Днепровская» и им. Стаханова сочетание УКД200-СП251 в большинстве случаев обеспечивало производительность на уровне 200-600 т/сут.

Нерациональным также является сочетание УКД200-СП26 в составе комплекса КД80 на шахте «Павлоградская».

Графическая интерпретация сочетаний типов оборудования позволяет проанализировать фактические взаимосвязи очистного оборудования в составе комплекса и рекомендовать рациональные сочетания. Применительно к поставленной задаче были установлены рациональные комплектации крепей с комбайнами и конвейерами. Рациональной рекомендуется считать комплектацию, у которой уровень суточной нагрузки на очистной забой более 1000 т/сут. В случаях, когда производительность одной и той же комплектации существенно отличается для различных предприятий, данные требуют уточнений и в графах не рассматриваются.

Граф альтернатив технологических цепочек был построен для пластов с мощностями от 1,01 до 1,40 м. (рис. 3). В графе приведены технологические параметры (мощность пласта, длина очистного забоя), средства механизации очистного забоя (крепь, комбайн, конвейер), данные о фактической производительности. Полученный материал может быть использован в качестве рекомендаций при проектировании очистного забоя.

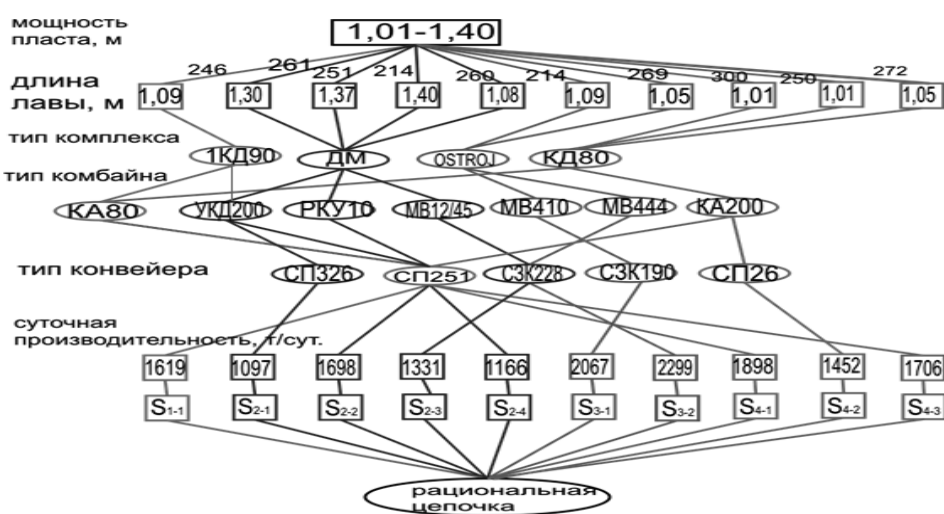


Рис. 3. Граф альтернатив технологических цепочек забойного оборудования для шахт Западного Донбасса

На рисунке показано 16 альтернатив забойного оборудования. Построение и анализ маршрутов альтернативного графа позволило сократить их количество до 10. Задача заключается в выявлении одной наиболее рациональной комплектации применительно к условиям функционирования. Выбранное оборудование должно отвечать ряду требований:

- уровень суточной нагрузки на очистной забой должен быть максимальным;
- затраты на приобретение оборудования минимальны (критерию не соответствует комплекс Ostroj, комбайны MB12/45, MB444, MB410, поэтому в дальнейшем технологические цепочки с данной техникой не рассматривались);
- на шахте «Россия» применение очистных комбайнов с барабанным исполнительным органом типа КА80 и КА200 нецелесообразно из-за сложных горно-геологических условий (невыдержанная мощность пласта, наличие породных включений, возможность работы с присечкой боковых пород).

На рис. 4 представлен отредактированный граф альтернатив технологических цепочек, в котором исключены маршруты с неэффективными технологическими цепочками оборудования. Более того, исключение данной техники из расчетов обусловлено еще и тем, что применение комбайнов MB12/45, MB444, MB410 и крепи Ostroj являются единичными случаями, а комбайны КА80 и КА200 на данный момент серийно не выпускаются.

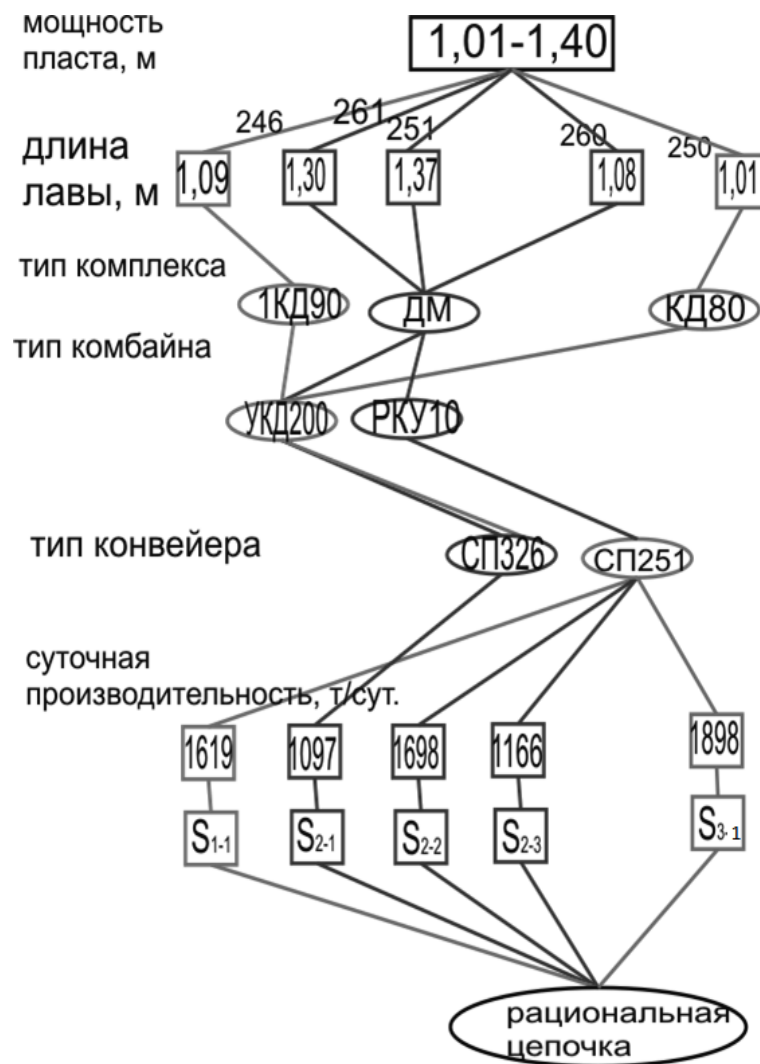


Рис. 4. Отредактированный граф альтернативных цепочек очистного оборудования

Поиск наиболее рациональной комплектации очистного оборудования сводится к анализу существующих 5 альтернатив. Решение поставленной задачи может быть реализовано применением классических алгоритмов оптимизации (Дейкстры, Флойда) [5].

На первоначальном этапе необходимо построить сетевую модель, в качестве вершин приняты типы очистного оборудования, в качестве веса ребер – параметр удельной себестоимости очистного оборудования. Под удельной себестоимостью следует понимать отношение затраченных средств на приобретение к ресурсу оборудования.

В табл.1 представлены альтернативы очистного оборудования.

Таблица 1. Альтернативы очистного оборудования на шахтах Западного Донбасса

№	Оборудование в составе механизированного комплекса		
	крепь	комбайн	конвейер
1	1КД90	УКД200	СП251
2	ДМ	УКД200	СП326
3	ДМ	РКУ10	СП251
4	ДМ	УКД200	СП251
5	КД80	УКД200	СП251

Для оборудования была рассчитана удельная себестоимость (табл.2).

Показатели ресурса для очистных комбайнов и конвейеров можно взять из руководства по эксплуатации, ресурс крепи рассчитывался по формуле Б.К. Мышляева [6].

Поиск рациональной комплектации очистного оборудования сводится к оптимизации технологической цепочки «крепь-комбайн-конвейер» по критерию наименьших значений удельных затрат. Применительно к теории графов задача сводится к поиску кратчайшего пути между вершинами. Решение данной задачи состоит в применении алгоритма Дейкстры [3].

Таблица 2. Удельная себестоимость очистного оборудования

№	Тип оборудования	Стоимость (единицы), тыс. грн.	Ресурс, тыс. т (для комбайна), для крепи (тыс. циклов)	Удельная себестоимость, грн./т
1	1КД90	218	7,8	28
2	ДМ	340	18,9	18
3	КД80	175	6,3	28
4	УКД200	5300	600	9
5	РКУ10	3600	600	6
6	СП251	4400	1500	3
7	СП326	11536	2200	5

Задача выбора горного оборудования сводится к исследованию компонент графа G , при этом вершинам или дугам могут соответствовать числа. Применительно к поставленной задаче длина дуги графа численно равна себестоимости. Формализация графа, представленного на рис. 4, может быть сведена к процедуре перевода его в определенную сеть (рис.5).

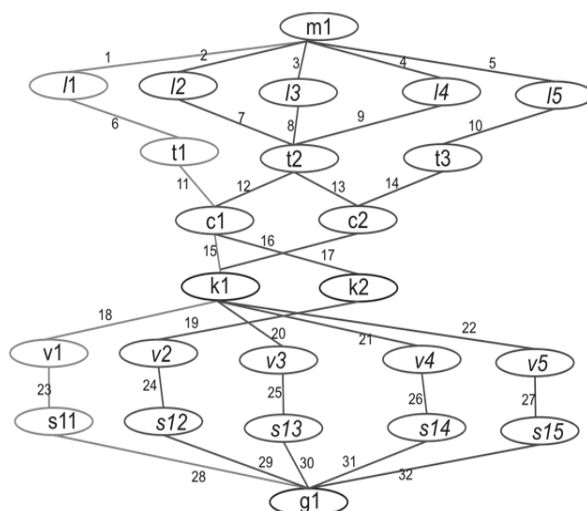


Рис. 5. Сеть для выбора рациональных технологических цепочек очистного оборудования

Как видно из рис. 5 исходный компонент графа выбора альтернатив состоит из множества X с m вершин, в количестве 24, и множества A упорядоченных пар вершин, которые включают n дуг в количестве 32. В данном компоненте вершинам будут соответствовать следующие значения технологических параметров: m — мощность пласта, l — длина очистного забоя, $t1 \dots t3$ — стоимостные параметры механизированной крепи, $c1 \dots c2$ — стоимостные параметры очистных комбайнов, $k1 \dots k2$ — стоимостные параметры забойных

конвейеров, $v_1 \dots v_5$ — объемы добычи рассматриваемых цепочек; $s_{11} \dots s_{16}$ — удельная себестоимость; g_1 — рациональная цепочка компонента цепи.

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

Перед тем, как использовать алгоритм Дейкстры, необходимо провести предварительную работу над сетевой моделью выбора альтернатив очистного оборудования, т.е. необходимо удалить вершины и дуги, которые не применяются в алгоритмах оптимизации. Вершины $m_1, l_1 \dots l_5$ необходимо исключить, т.к. они являются технологическими параметрами и непосредственно относятся к компонентам графа выбора очистного оборудования. Необходимо также исключить вершины $v_1 \dots v_5$, которые фиксируют значения суточной нагрузки на очистной забой. На рис. 6 представлена отредактированная сетевая модель выбора очистного оборудования.

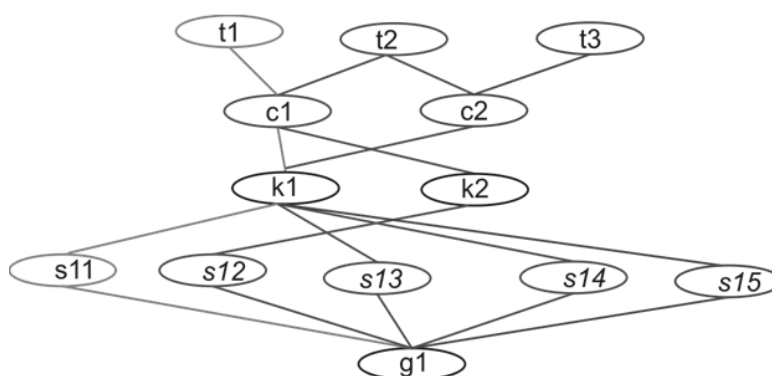


Рис. 6. Отредактированная модель выбора очистного оборудования

Если задать значения вершинам и дугам, кратчайший путь можно найти при помощи алгоритма Дейкстры.

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 значение 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 не посещенные. 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, помечим вершину u как посещенную и повторим шаг алгоритма [5,7].

На рис. 7 представлена сетевая модель выбора альтернатив очистного оборудования после применения алгоритма Дейкстры.

Как видно из рис. 7 кратчайшим является путь, проходящий через вершины «1-3-6-7-11» т.к. значение удельной себестоимости численно равно 27 грн/т.

Для реализации алгоритма Дейкстры была разработана программа в среде Dew-C++. На рис. 8 представлено окно программы.

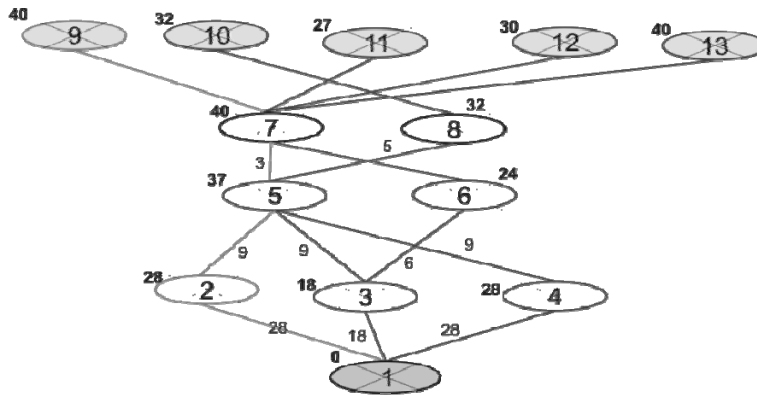


Рис. 7. Сетевая модель выбора альтернатив очистного оборудования после применения алгоритма Дейкстры

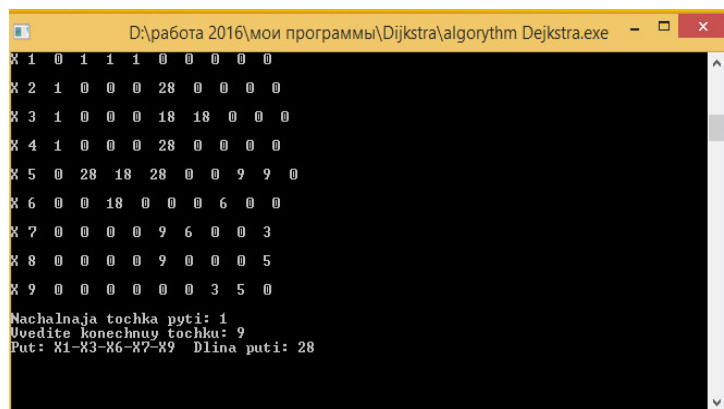


Рис. 8. Окно программы, реализующей алгоритм Дейкстры

В ходе выполнения работы было установлено наиболее рациональное сочетание очистного оборудования для условий шахты «Россия» с позиции максимизации уровня суточной нагрузки на очистной забой и снижения удельной себестоимости. При длине очистного забоя до 260 м, выемочной мощности пласта 1,2 м рациональной является технологическая цепочка, состоящая из крепи ДМ, комбайна РКУ10, конвейера СП251.

Применение альтернативных графов позволило установить наиболее рациональные сочетания очистного оборудования (см. табл.1), дальнейшее использование алгоритма Дейкстры дало возможность определить наиболее оптимальную комплектацию с позиции минимизации себестоимости. В таблице 3 приведены значения себестоимости для различных комплектаций очистного оборудования.

Анализ данных в табл. 3 установил, что суточная нагрузка на очистной забой не зависит от капиталовложений на приобретение оборудования. Уровень суточной нагрузки на очистной забой более 1600 т/сут. возможен как при комплектации более современными комплексами (ДМ) так и при комплектации «морально устаревшими» (КД80). Практика эксплуатации очистного оборудования подтверждает предположение о целесообразности комплектации забоев техникой отечественного производства.

В процессе выполнения работы применительно к условиям функционирования горного предприятия было установлено, что выбор наиболее рациональных комплектаций очистного оборудования можно осуществлять с применением теории графов. Также реализована возможность применения классических алгоритмов оптимизации сетей для выбора наиболее рациональной технологической цепочки очистного оборудования с позиции максимизации уровня суточной нагрузки на очистной забой и снижения удельной себестоимости. Альтернативные графы технологических цепочек могут служить справочным материалом при проектировании выемочного участка.

Таблица 3. Значения удельной себестоимости для различных комплектаций очистного оборудования

№	Оборудование в составе механизированного комплекса			Маршрут	Удельная себестоимость цепочки, грн./т	Суточная нагрузка, т/сут.
	крепь	комбайн	конвейер			
1	1КД90	УКД200	СП251	1-2-5-7-9	40	1619
2	ДМ	УКД200	СП326	1-3-5-8-10	32	1097
3	ДМ	РКУ10	СП251	1-3-6-7-11	27	1698
4	ДМ	УКД200	СП251	1-3-5-7-12	30	1166
5	КД80	УКД200	СП251	1-4-5-7-13	40	1898

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что максимальная суточная нагрузка на очистной забой достигается не за счет применения зарубежной или более современной техники, а в большей мере зависит от эффективности взаимосвязи оборудования в составе комплекса в конкретных условиях.

Список литературы

1. Хорольский А.А. Рациональный выбор очистного оборудования для шахт Донбасса/ А.А.Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Известия Донецкого горного института – Красноармейск. – 2015. – №1,2(36). – С. 90-96.
2. Хорольский А.А. Обоснование возможности применения классической теории графов для выбора комплексов горного оборудования/А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков// Материалы международной конференции «Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2016». – Днепропетровск. – 2016 г. : Национальный горный университет. – С. 57-64.
3. Сынков В.Г. Оценка уровня взаимосвязи очистного оборудования в составе механизированного комплекса/ В.Г. Сынков, В.Г. Гринев, А.А. Хорольский // Научный вестник ДонНТУ. Серия «Информатика, кибернетика, вычислительная техника». – 2016. – №1. – С. 127-135.
4. 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. – Днепропетровск. – 2015 г.: Национальный горный университет, Т1 – С. 58-68.
5. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 323 с.
6. Мышляев Б.К., Титов И.В. Технико-экономический анализ современных механизированных крепей // Горное оборудование и электромеханика, 2008 №12. – С. 20-25
7. Зыков А.А. Основы теории графов. – М. Наука, 1987. – 384 с.