

- выявленные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния позволяют выбрать оптимальный вариант анкерного крепления, когда в результате совместной работы анкера и породы характеристика крепи будет соответствовать деформационной характеристике приконтурного массива.

Практическая значимость. Заключается в разработке прогрессивных технологических решений по способам и средствам анкерного крепления выемочных

УДК 622.272:624.191.5

А.Н. Роечко¹, д-р техн. наук, проф.,
С.А. Харин², д-р техн. наук, доц.

выработок, адаптивных к различным горнотехническим условиям эксплуатации.

Ключевые слова: области крепления и поддержания горных выработок, деформирования породного массива, проведение горной выработки, горно-геологические и горнотехнические условия эксплуатации выработок

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Ф.К. Нізаметдіновим. Дата надходження рукопису 10.05.14.

1 – Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина
2 – Областное коммунальное высшее учебное заведение „Институт предпринимательства „Стратегия“, г. Желтые Воды, Украина

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ТЕМПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫРАБОТОК

A.N. Royenko¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
S.A. Kharin², Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine
2 – Regional Municipal Higher Educational Institution “Institute of Business “Strategy”, Zhovti Vody, Ukraine

AUTOMATION OF THE RESEARCH OF THE DRILLING EQUIPMENT PERFORMANCE IMPACT ON THE OPENINGS CONSTRUCTION PACE

Цель. Разработать программное обеспечение и исследовать вопросы организации проходки стволов глубоких шахт под влиянием изменения параметров бурового оборудования и горно-геологических условий, изменения темпов строительства.

Методика. Использован комплексный подход, который включает обобщение и анализ литературных источников, теоретические исследования, базирующиеся на методах математического моделирования, применение языка программирования C++.

Результаты. Разработано программное обеспечение для проведения исследований. Проведены исследования организационно-технологических параметров проходки выработок для различных условий. Установлен характер изменения темпов проведения горных выработок при меняющемся коэффициенте крепости пород, диаметре ствола и различных значениях эксплуатационной производительности бурового оборудования.

Научная новизна. Установлено, что скорость проходки выработки логарифмически зависит от производительности бурового оборудования. Определен характер изменения соотношения скорости проходки стволов различного диаметра при изменении коэффициента крепости пород. Установлено, что при росте коэффициента крепости пород отношение скоростей проходки выработки при различной эксплуатационной производительности бурового оборудования увеличивается. При росте эксплуатационной производительности бурового оборудования и увеличении коэффициента крепости пород соотношение скоростей проходки ствола одинакового диаметра снижается. При увеличении диаметра ствола соотношение скоростей проходки выработки растет с увеличением эксплуатационной производительности бурового оборудования.

Практическая значимость. Предложена программа расчета организационно-технологических параметров проходки горных выработок, что позволяет автоматизировать процессы проектирования сооружения шахт на больших глубинах разработки.

Ключевые слова: алгоритм, программа, горная выработка, параметры, скорость, производительность, оборудование, организация, шахта

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Устойчивое функционирование горного производства является условием эффективного развития экономики Украины. Задача реконструкции производственных мощностей в условиях значительных глу-

бин разработки должна сопровождаться интенсивными усилиями в направлении исследований, направленных на совершенствование всех технологических процессов, которые требуют соответствующей автоматизации для обеспечения достоверности результатов.

Анализ исследований и публикаций. Проблеме строительства горных выработок на больших глуби-

нах уделяется значительное внимание в части, например, исследования проявлений горного давления, крепления выработок, что отражено, в частности, в работах [1–3]. Анализ ранее опубликованных результатов исследований и современного состояния практики проектирования и строительства горных выработок указывает на необходимость более широкого использования компьютерных технологий для детального учета различных особенностей сооружения подземных объектов и обеспечения оптимальных параметров ведения работ.

Постановка задачи. Разработать соответствующее программное обеспечение и исследовать вопросы организации проходки стволов глубоких шахт под влиянием изменения параметров бурового оборудования и горно-геологических условий, в частности, изменение темпов строительства.

Изложение материала. Дефицит различных видов ресурсов становится ключевым фактором, сдерживающим развитие мировой экономики. В значительной степени это относится к железорудному сырью, активным экспортером которого традиционно является Украина [4].

Истощение существующих месторождений на сравнительно доступных глубинах заставляет искать способы решения проблемы развития сырьевой базы горной промышленности. К числу таких способов в Криворожском бассейне, в частности, могут быть отнесены: добыча магнетитовых кварцитов в полях действующих шахт, совершенствование системы разработки полезного ископаемого на карьерах, где возможно применение комбинированного открыто-подземного способа, обогащение ранее не использовавшихся окисленных руд, запасы которых весьма велики. Не вызывает сомнения, что, в той или иной степени, все эти направления будут рано или поздно задействованы, несмотря на необходимость привлечения в этом случае больших энергетических ресурсов.

Как представляется, в Криворожском бассейне, имеет перспективы развития и подземная добыча природно-богатой руды на больших глубинах при ступенчатом вскрытии месторождения. В последние годы объемы добычи руды на шахтах бассейна остаются стабильно высокими. Поскольку имеющиеся темпы добычи полезного ископаемого определяют интенсивное понижение горных работ, видимо, в не столь недалекой перспективе горизонты на глубине до полутора километров будут в основном отработаны. Поскольку действующие сегодня на шахтах Кривбасса подъемные машины не рассчитаны на глубины свыше 1500 м, а также и по другим соображениям, вскрытие месторождения на большую глубину целесообразно производить с помощью ступенчатой схемы. Нуждаются в развитии и вопросы оптимального проектирования глубоких шахт, организации их работ, поддержания заданных темпов строительства различных выработок.

Современный этап функционирования железорудной промышленности Украины характеризуется, в частности, следующим:

1. Истощенностью богатых легкодоступных месторождений полезных ископаемых.

2. Большой глубиной ведения работ на карьерах, проблемами, связанными с масштабами и темпами вскрышных работ.

3. Экологическим ущербом, связанным с деятельностью горнообогатительных комбинатов.

4. Возрастанием себестоимости продукции при открытом способе разработки бедных руд и их последующем обогащении ввиду применения энергозатратных технологий и высокой стоимости энергоносителей на мировом рынке. Кроме того, следует подчеркнуть постоянный характер роста мировых цен на энергетические ресурсы, что позволяет прогнозировать дальнейшее возрастание себестоимости продукции.

5. Значительной потребностью металлургических предприятий Украины в железорудном сырье.

6. Необходимостью обеспечения критически важных экспортных поставок металлургической и железорудной продукции, что усиливается невозможностью экспорта высокотехнологичной продукции.

7. Близостью к исчерпанию запасов природно-богатых железных руд, разрабатываемых в настоящее время подземным способом и вскрытых с помощью одной ступени вскрытия.

8. Очевидной невозможностью возобновления попыток строительства Криворожского государственного комбината окисленных руд.

Для своевременного вскрытия нижележащих горизонтов обеспечение заданных темпов проходки горных выработок является важной задачей, связанной с ритмичной организацией работ. Поскольку на скорость проходки выработок, в большинстве случаев, особенно в крепких породах и при значительной площади поперечного сечения, заметное влияние оказывают буровые работы, актуальным, как представляется, может быть исследование зависимости скорости проходки стволов от производительности бурового оборудования.

В этой связи представляет интерес разработка методов исследований, соответствующего программного обеспечения, которые могли бы служить в качестве инструментов для изучения вопросов организации строительства. Для проведения исследований нами разработаны алгоритм (рис. 1) и компьютерная программа на языке C++ для расчета параметров проходки (рис. 2).

Рассмотрим зависимость скорости проведения стволов, при прочих равных условиях, от эксплуатационной производительности бурового оборудования при следующих условиях: проходка осуществляется обычным способом с применением буровзрывных работ по совмещенной схеме; стволы закреплены монолитным бетоном.

Для ствола диаметром в проходке $D = 6$ м, при площади поперечного сечения $S = 28,3$ м², проходимого в породах с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова $f = 12$ и эксплуатационной производительности (обозначим ее P) бурового оборудования 6 м/ч, имеет место скорость проходки горной выработки 14,1 м/мес. (примем ее за базовую для данных

условий). Переход к большей производительности средств бурения, при неизменных прочих условиях увеличивает темпы проходки выработки. Так, например, при эксплуатационной производительности 8 м/ч скорость проходки выработки возрастает до 15,84 м/мес., при эксплуатационной производительности 12 м/ч скорость увеличится до 18,04 м/мес. Высокие уровни производительности бурового оборудования способствуют достижению заметно бóльших темпов проходки. Так, при $P = 24$ м/ч скорость возрастет до 20,9 м/мес. Характер зависимости v от P для ствола $D = 6$ м при $f=12$ может быть описан логарифмическим выражением $v = 4,3027Ln(P) + 7,111$. Аналогичным образом рассмотрим зависимость v от P для данного

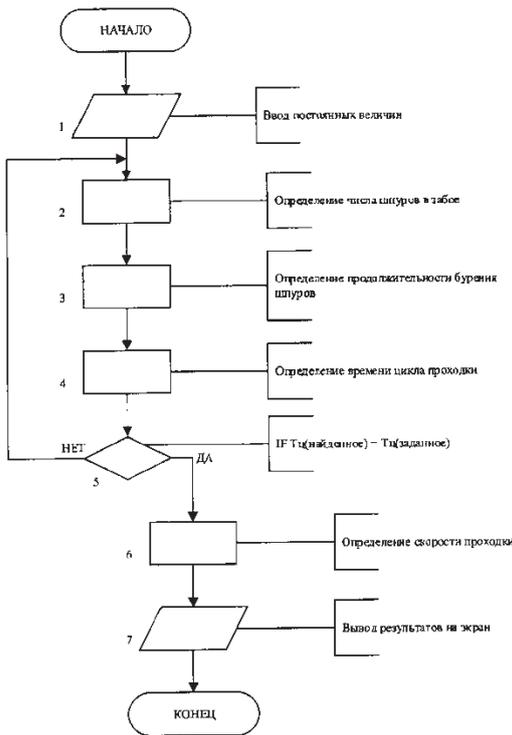


Рис. 1. Алгоритм разработанной программы

Характер зависимости v от P для ствола $D=8$ м при $f=12$ и $f=18$ может быть описан соответственно выражениями $v = 2,6461Ln(P) + 5,1791$ и $v = 3,0919Ln(P) + 2,8646$.

Рассмотрим теперь степень изменения скорости проходки (обозначим Δ) ствола $D = 6$ м при переходе от $f=12$ к $f=18$. При $P = 6$ м/ч скорость проходки ствола при $f=12$ будет в 1,205 раза выше, чем при $f=18$. Соотношение скоростей при более высоких значениях P будет постепенно уменьшаться. При достаточно больших значениях эксплуатационной производительности бурового оборудования соотношение скоростей проходки ствола существенно снизится, так, например, при $P = 30$ м/ч оно составит 1,06 раза.

В общем случае соотношение скоростей проходки ствола $D = 6$ м при $f=12$ и $f=18$ можно описать зависимостью $\Delta = -0,0879Ln(P) + 1,3549$. В случае же $D=8$ м при $P=6$ м/ч $\Delta=1,184$; при $P=30$ м/ч $\Delta=1,0598$. В общем виде

ствола, но при увеличении f до 18. В этом случае, при соответствующих значениях эксплуатационной производительности бурового оборудования, будут иметь место более низкие скорости проходки, а общий характер зависимости v от P примет вид $v = 5,1741Ln(P) + 2,8785$.

Исследуем далее аналогичным образом влияние эксплуатационной производительности бурового оборудования на скорость проходки ствола $D = 8$ м, имеющего площадь поперечного сечения $S = 50,2$ м² при $f=12$ и $f=18$. В этом случае в целом будут повторяться тенденции, отмеченные нами ранее для ствола $D = 6$ м, но при меньших уровнях v для данных значений P .

Рис. 2. Расчет параметров проходки

зависимость соотношения скоростей для ствола $D=8$ м выглядит как $\Delta = -0,0796Ln(P) + 1,3182$.

Исследуем изменение соотношения скоростей (обозначим Z) при $D = 6$ м и $D = 8$ м при соответствующих уровнях коэффициента крепости пород. В то время как соотношение площадей сечения рассматриваемых стволов составляет 1,77 соотношение скоростей при $f=12$ и $P = 6$ м/ч будет равно $Z=1,47$, а в случае $P = 30$ м/ч возрастет до $Z = 1,54$. Сходная картина наблюдается и для случая $f=18$.

В общем виде изменение соотношения скоростей может быть описано выражениями $Z=0,0028P + 1,4722$ в случае $f=12$ и $Z=0,0034P + 1,4431$ в случае $f=18$. Для наглядности сведем полученные ранее зависимости в таблицу.

Отношение скорости проходки ствола при данном значении эксплуатационной производительности v_{pj} к скорости проходки ствола при предыдущем значении

эксплуатационной производительности v_{pi} характеризует темп изменения скорости. Рост скорости проходки ствола $D = 6$ м при $f=12$ вначале происходит сравнительно интенсивно. Так, при увеличении производительности до 8 м/ч, по сравнению с предыдущим ее показателем, т.е. 6 м/ч (обозначим этот случай как v_8/v_6), скорость возрастает в 1,123 раза, при v_{10}/v_8 рост будет уже меньшим – 1,077. При больших параметрах эксплуатационной производительности бурового оборудования переход к каждому последующему ее значению приводит лишь к крайне незначительному увеличению скорости: при v_{30}/v_{28} оно составит 1,0084.

Исследуем вариант $D = 6$ м при $f=18$. В данном случае, как и в предыдущем, интенсивность возрастания

скорости проходки ствола вначале относительно высока. Так, при увеличении производительности до 8 м/ч по сравнению с предыдущим ее показателем скорость возрастает в 1,15 раза, при v_{10}/v_8 рост будет уже меньшим – 1,105. При значительных параметрах эксплуатационной производительности бурового оборудования переход к каждому последующему ее значению также приводит лишь к небольшому увеличению скорости: при v_{30}/v_{28} оно составит 1,013.

Сравнивая интенсивность роста скорости для $f=12$ и $f=18$, следует отметить, что в последнем случае она изменяется с более высоким темпом. Сходная картина имеет место и при $D = 8$ м.

Таблица

Зависимости скорости проходки ствола от производительности бурового оборудования

Параметры	Диаметр ствола в проходке, м	Коэффициент крепости пород, f	Зависимости	Диапазон изменения величин	Выводы
Зависимость v от P	6	12	$v = 4,3027Ln(P) + 7,111$	При $P=6$ м/ч $v=14,1$ м/мес.; при $P=30$ м/ч $v=21,56$ м/мес.; $v_{30}/v_6 = 1,529$	Скорость проходки логарифмически зависит от производительности бурового оборудования. При росте f снижается v . Отношение скоростей, например, v_{30}/v_6 при более высоком f выше
		18	$v = 5,1741Ln(P) + 2,8785$	При $P=6$ м/ч $v=11,7$ м/мес.; при $P=30$ м/ч $v=20,33$ м/мес.; $v_{30}/v_6 = 1,738$	
	8	12	$v = 2,6461Ln(P) + 5,1791$	При $P=6$ м/ч $v=9,59$ м/мес.; при $P=30$ м/ч $v=13,99$ м/мес.; $v_{30}/v_6 = 1,459$	
		18	$v = 3,0919Ln(P) + 2,8646$	При $P=6$ м/ч $v=8,1$ м/мес.; при $P=30$ м/ч $v=13,2$ м/мес.; $v_{30}/v_6 = 1,63$	
Соотношение скоростей при $f=12$ и $f=18$	6	-	$\Delta = -0,0879Ln(P) + 1,3549$	При $P=6$ м/ч $\Delta=1,205$; при $P=30$ м/ч $\Delta=1,061$	При росте P и увеличении f с 12 до 18 соотношение скоростей Δ снижается
	8	-	$\Delta = -0,0796Ln(P) + 1,3182$	При $P=6$ м/ч $\Delta=1,184$; при $P=30$ м/ч $\Delta=1,0598$	
Соотношение скоростей при $D = 6$ м и $D = 8$ м	-	12	$Z = 0,0028 P + 1,4722$	При $P=6$ м/ч $Z = 1,47$; при $P=30$ м/ч $Z = 1,54$	При увеличении D с 6 до 8 соотношение скоростей Z растет с увеличением P
	-	18	$Z = 0,0034 P + 1,4431$	При $P=6$ м/ч $Z = 1,44$; при $P=30$ м/ч $Z = 1,54$	

Анализируя темпы изменения скорости проходки ствола при переходе к каждому последующему значению производительности проходческого оборудования, следует указать, что для всех случаев темпы изменения скорости проходки падают по мере увеличения производительности. При одинаковом диаметре ствола такие темпы изменения скорости проходки выше при большем значении f . Отсюда вытекает вывод о том, что при большей крепости пород увеличение эксплуатационной производительности бурового оборудования способно в относительно большей степени влиять на скорость проходки и зона интенсивного влияния P на v в этом случае шире.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, в ходе исследования, на основе разработанного программного обеспечения, изменения скорости проходки ствола от эксплуатационной производительности бурового оборудования установлены соответствующие зависимости, охватывающие широкий круг условий. Отмечено также, что, начиная с определенного момента, рост производительности средств бурения практически не приводит к увеличению те-

мпов проходки ствола и дальнейшее наращивание усилий в этом направлении нецелесообразно. В ходе дальнейших исследований было бы полезно разработать соответствующие программы и рассмотреть вопросы зависимости оптимальных организационных параметров сооружения протяженных выработок от различных факторов.

Список литературы / References

1. Шашенко А.Н. Математическая модель огибающей виброакустического зондирующего сигнала неоднородного породного массива / А.Н. Шашенко, В.Н. Журавлев, М.С. Дубицкая // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2013. – № 1. – С. 57–61.
2. Шашенко А.Н., Zhuravlev, V.N., Dubitskaya, M.S. (2013), “Mathematical model of the envelope of vibroacoustic sounding of heterogeneous rock massif”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 1, pp. 57–61.
3. Шашенко А.Н. Критерии оценки устойчивости породпочвы горных выработок / А.Н. Шашенко, А.В. Со-

лодянкин // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2007. – № 1. – С. 44–49.

Shashenko, A.N. and Solodyankin, A.V. (2007), “Criteria of estimation of stability of rock of floor of the main working”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 1, pp. 44–49.

3. Мартовицький А.В. Обґрунтування комплексу ефективних заходів з підвищення стійкості виробок шахт ПАТ „ДТЕК Павлоградвугілля“ / А.В. Мартовицький // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – № 3. – С. 45–53.

Martovitskiy, A.V. (2012), “Substantiation of an effective set of measures aiming increase of mine workings stability in mines owned by Private Joint-Stock Company “DTEK Pavlogradugol””, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 1, pp. 45–53.

4. Паршин Ю.І. Економічний аналіз добувної галузі Дніпропетровської області: стан, динаміка, перспективи / Ю.І. Паршин // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2011. – № 3. – С.137–143.

Parshyn Yu.I. (2011), “Economic analysis of mining industry in Dnepropetrovsk oblast: state, dynamics, prospects”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 3, pp. 137–143.

Мета. Розробити програмне забезпечення та дослідити питання організації проходки стволів глибоких шахт під впливом зміни параметрів бурового обладнання й гірничо-геологічних умов, зміни темпів будівництва.

Методика. Використано комплексний підхід, який включає узагальнення та аналіз літературних джерел, теоретичні дослідження, що базуються на методах математичного моделювання, застосування мови програмування C++.

Результати. Розроблене програмне забезпечення для проведення досліджень. Проведене дослідження організаційно-технологічних параметрів проходки виробок для різних умов. Встановлений характер зміни темпів проведення гірничих виробок при мінливому коефіцієнті міцності порід, діаметрі ствола та різних значеннях експлуатаційної продуктивності бурового обладнання.

Наукова новизна. Встановлено, що швидкість проходки виробки логарифмічно залежить від продуктивності бурового обладнання. Визначено характер зміни співвідношення швидкості проходки стволів різного діаметру при зміні коефіцієнта міцності порід. Встановлено, що при зростанні коефіцієнта міцності порід відношення швидкостей проходки виробки при різній експлуатаційній продуктивності бурового обладнання збільшується. При зростанні експлуатаційної продуктивності бурового устаткування та збільшенні коефіцієнта міцності порід співвідношення швидкостей проходки

ствола однакового діаметра знижується. При збільшенні діаметра ствола співвідношення швидкостей проходки виробки зростає зі збільшенням експлуатаційної продуктивності бурового обладнання.

Практична значимість. Запропонована програма розрахунку організаційно-технологічних параметрів проходки гірничих виробок, що дозволяє автоматизувати процеси проектування будівництва шахт на великих глибинах розробки.

Ключові слова: алгоритм, програма, гірничі виробки, параметри, швидкість, продуктивність, обладнання, організація, шахта

Purpose. Development of the software and research of the organization problems of deep shaft sinking influenced by the variation of drilling equipment parameters, geological conditions and the change of the pace of construction.

Methodology. We used the integrated approach that includes the compilation and analysis of literary sources, theoretical studies based on the methods of mathematical modeling, and the use of the programming language C++.

Findings. We have developed the software for the research. The research of organizational and technological parameters of sink working under various conditions has been carried out. We determined the nature of the change of the pace of mining under varying coefficients of rock strength, holes diameters and different values of the operational productivity of the drilling equipment.

Originality. We have found that the rate of penetration depends logarithmically on the productive capacity of the drilling equipment. The character of changes in the rate of drilling of holes of various diameters under varying coefficient of rock strength was determined. When the coefficient of rock strength rises, the rate of drilling also rises at different operational performance of drilling equipment. With the growth of the operational performance of the drilling equipment and the increase of the coefficient of rock strength the rate of drilling of the holes of same diameter decreases. With the increase of holes diameter the rate of drilling rises with the drilling equipment productive capacity increase.

Practical value. The program for calculation of organizational and technological parameters of underground mining that allows us to automate the deep mines construction designing.

Keywords: algorithm, program, opening, parameters, speed, performance, equipment, organization, mine

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Солодянкиним. Дата надходження рукопису 10.04.14.