

УДК 622.342.13

А.Н. Петров, Л.А. Никифоров

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ЗОЛОТОСУРЬМЯНОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕНТАЧАН**

Семинар № 15

Месторождение Сентачан представлено системой крутопадающих кварц-антимонитовых жил, размещенных в линейно-вытянутых минерализованных зонах.

Первоочередным объектом эксплуатации является рудное тело №2. Мощность рудного тела колеблется от 0,1 до 6,93 м, угол падения от 50° до 60° , составляя в среднем 55° . По лежащему боку жилу сопровождает зона развальцованных пород мощностью от 0,5 до 3,0 м.

Трещиноватость руд и пород характеризуется наличием на 1 м^2 от 5 до 40 трещин. Особенно густая сеть трещин фиксируется в развальцованных породах лежащего бока и в меньшей степени в рассланцованных алевролитах висячего бока в зоне мощностью 1-2 м. В целом трещиноватость возрастает по мере приближения к кварц-антимонитовой жиле. Средняя пористость руды составляет 3,2 %, алевролитов – 3,67 %, алевролитистых песчаников 3,94 %.

Месторождение расположено в зоне многолетней мерзлоты. Мощность многолетнемерзлых пород по данным бурения и термометрии составляет в среднем 247 м. Глубина вскрытия подмерзлотных вод изменяется от 223 до 320 м составляя в среднем 256 м. Пьезометрические уровни устанавливаются в интервалах 41,5-170 м, в среднем 158 м. На

поры колеблются от 128 до 146 м составляя в среднем 136,4 м.

Согласно проекту месторождение Сентачан отрабатывается с применением системы разработки с магазинированием руды. Однако первый опыт применения системы показал, что вмещающие породы месторождения склонны к интенсивному вывалообразованию. В связи с этим на месторождении были проведены исследования по обоснованию параметров очистных камер.

На первом этапе были проведены исследования прочностных свойств пород в натуральных условиях.

Определение пределов прочности на сжатие и растяжение производилось по ГОСТ 24941-81 на гидравлическом прессе МС-500 при помощи нагрузочно-устройства БУ-54. Контактная прочность определялась по ГОСТ 12288-66 при помощи устройства ДМ-30 (УВС). Были выполнены три серии опытов, из них две для пород в мерзлом состоянии и одна серия с оттаявшими породами.

Как показали исследования, в мерзлом состоянии вмещающие породы и руда имеют довольно высокие пределы прочности на растяжение и сжатие. Однако при оттайке милонитизированные алевролиты из зоны развальцевания полностью теряют прочность и образцы разламываются рукой; трещиноватые алевролиты висячего бока теряют прочность в 5 раз, а антимонитовая руда не

Таблица 1
Размеры допустимых обнажений по горизонтам месторождения

Отметка горизонта, м	Эквивалентный пролет, м	Реальные размеры допустимых обнажений, м	
		периметр	площадь
+500	28,28	230	3250
+452	15,34	120	900
+410	12,83	100	625
+375	9,99	80	400
+335	7,62	60	225
+295	5,74	44	120
+235	2,89	24	35
+155	2,55	20	25

изменяет своих прочностных характеристик.

Вторым этапом работы была подготовка исходных данных для расчетов. Исходные данные определялись на основании фактических пределов прочности на растяжение и сжатие пород в мерзлом и талом состоянии, влажности, пористости и упругих свойств по известным методикам и корреляционным зависимостям [1; 2; 3]. Для определения механических характеристик пород при изменении температуры массива было использовано аналитическое описание зависимости механических характеристик скальных пород от температуры, приведенное в работе [3].

На третьем этапе исследований по известным методикам были рассчитаны допустимые параметры обнажений и целиков по горизонтам месторождения, при применении камерных систем разработки. Расчет допустимых обнажений производился по методике предложенной в работе [4].

Результаты расчетов допустимых пролетов обнажений по горизонтам месторождения приведены в табл. 1.

По данным геологоразведки висячем боку рудного тела расположена зона рассланцованных трещиноватых алевритов мощностью 1-2 м, а ниже горизонта +350 м непосредственная кровля

представлена зоной развалцевания мощностью до 2-3 м. Эти зоны представляют собой так называемую «ложную кровлю», которая не несет нагрузки от вышележащих пород и склонна к вывалообразованию.

Расчет устойчивых обнажений по условию исключения вывалообразования ложной кровли проводился по методике С.В. Ветрова для трещиноватых пород [5]. Расчеты величин пролетов

естественного равновесия породных блоков показали, что при отработке запасов гор. +472 м вывалообразование из зоны рассланцованных трещиноватых алевритов висячего бока, при расстоянии между трещинами 20-30 см, возможно при обнажениях превышающих 2,8-3,0 м. Аналогичные расчеты для горизонта +422 м дают величину обнажения, исключающую вывалообразование, равную 1,0-1,5 м. Для горизонта +372 м эта величина меньше 1,0 м. Также были рассчитаны минимально допустимые размеры междукамерных целиков. Для залежей недостаточно крутого падения расчет междукамерных целиков, при расположении камер по простиранию, осуществляется по методике ВНИМИ [6]. Эта методика базируется на гипотезе Турнера-Ше-вякова с использованием поправочных коэффициентов. Особенностью ее является учет ослабляющего влияния пройденных в целиках выработок – восстающих, просечек, ходков. Расчеты проводились для центрального расположения блокового восстающего в целике. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

На заключительном этапе исследований были даны рекомендации по рациональным параметрам систем разработки.

Таблица 2
Минимально допустимые размеры «ножки» целика по горизонтам

Отметка горизонта м	Длина камеры, м				
	20	30	40	50	60
+452	1,82	1,92	1,98	2,04	2,08
+410	2,20	2,36	2,48	2,62	2,72
+372	2,56	2,78	2,98	3,18	3,32
+335	2,72	3,0	3,22	3,42	3,60
+295	3,30	3,72	4,06	4,36	4,64
+235	4,12	4,70	5,20	5,64	6,04

Как показали результаты расчетов параметров обнажений, отработка месторождения подземным способом камерными системами разработки будет сопровождаться трудностями, связанными с устойчивостью вмещающих пород.

На основании выполненных исследований, при выемке запасов гор. +422 м при системе с магазинированием руды, рекомендовано принимать длину блока по простиранию 25-30 м.

При выемке запасов гор.+372 м при длине блока не более 30 м рекомендуется применение системы разработки подэтажного магазинирования, с разбив-

кой блока по середине высоты на два подэтажа и нарезкой дополнительного днища с подэтажного штрека.

Для исключения вывалообразования рекомендовано также, опробовать в данных условиях систему разработки с магазинированием и использованием отбитой руды в качестве временной закладки.

Рекомендованные варианты систем разработки были разработаны в институте ВНИИ-1 и успешно применялись на ряде рудников Северо-востока.

Ниже гор.+422 м ввиду слабой устойчивости пород зоны дробления, при применении системы разработки с магазинированием руды, предотвратить вывалообразование не представляется возможным. В связи с этим в данных условиях необходима разработка новых технических решений, основанных на результатах целенаправленных научных исследований и опыта отработки верхней части месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шехурдин В.К., Несмотряев В.И., Федоренко П.И. Горное дело: Учебник для техникумов. – М.: Недра, 1987. – 440 с.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 360 с.
3. Изаксон В.Ю. Вопросы механики многолетнемерзлых горных пород. – Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. – 172 с.
4. Баранов А.О. Расчет параметров технологических процессов подземной добычи руд. – М.: Недра, 1985. – 224 с.
5. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М.: Наука, 1975.
6. Методические указания по установлению размеров камер и целиков при камерных системах разработки руд цветных металлов / Г.Т. Нестеренко, Б.С. Скозобцов, В.Д. Палий, и др. – Л.: ВНИМИ, 1972.

Коротко об авторах

Петров Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» Горного факультета Якутского государственного университета им. М.К. Амосова,
 Никифоров Леонид Алексеевич – горный инженер, горный мастер ЗАО «Звезда».

© Г.Г. Литвинский, 2006

Вот уже более века обобщенные показатели работы отечественной горной промышленности не улучшаются. Если в начале прошлого века добыча угля на одного занятого в промышленности работника была 1-2 т/сут., то таковой она осталась и донныне, проявляя явную тенденцию к понижению [1]. Это объясняется не только существующим структурно-финансовым кризисом в стране, и даже не столько сложными горно-геологическими условиями разработки и их ухудшением с понижением глубины работ, сколько глубокими научно-техническими противоречиями, присущими горной промышленности. К сожалению, эта сторона проблемы до настоящего времени специалистами и руководством отрасли полностью не осмыслена.

В ретроспекции основными этапами развития горной промышленности следует считать периоды качественного изменения горной техники и технологии, скачком завершающие постепенное накопление изменений количественных показателей основных производственных процессов [2]. Так, за весь период своего развития угольная промышленность прошла несколько этапов: ручной технологии с применением простейших инструментов и приспособлений (доисторический начальный вплоть до конца XIX столетия), механизированного разрушения угля врубовыми машинами (1920-1940), широкого использования добычных комбайнов (1940-1960) и

стругов (1950-2000). В 1960 -70-х гг. была поставлена задача полной механизации подземных работ и появились первые, не всегда удачные попытки разработать безлюдную технологию добычи угля. XXI век на первый план выдвинул проблему создания автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) в горной промышленности и качественно нового поколения горных машин и оборудования, основанных на принципах механики и передовой технологии.

В угледобывающей промышленности в последний период ее развития появилась тенденция снижения угледобычи комбайновым способом из-за истощения технически доступных по мощности запасов угольных пластов (более 0,8 м). Поэтому в достаточно близкой перспективе придется обрабатывать тонкие и сверхтонкие (от 0,3 м) пласты угля, балансовые запасы которых превышают 220 млрд. т до глубины 1800 м, что примерно равно 2/3 от всех балансовых запасов угля Донбасса [1]. Это заставляет пересмотреть традиционные подходы и разрабатывать альтернативные технологии добычи угля.

В настоящее время общепризнано, что развитие технологии угледобычи шло по пути механизации производственных процессов, которые копировали сущность ручной исходной технологии добычи угля. Такой „консерватизм” в развитии горной технологии обусловлен объективными причинами ее историче-

ского развития и весьма трудно преодолевается. Проведенный ретроспективный анализ тенденций развития горной технологии выявил следующие ее недостатки: периодичность и многооперационность работ, технологические перемены и частые остановки забоя, большой удельный объем выработок, низкое качество добываемого угля (зольность достигает 40-50 %); дискомфортность и опасность труда; низкая производительность и надежность оборудования, высокие энергозатраты, низкая экономическая эффективность, невозможность осуществления безлюдной добычи и автоматизации работ. Поэтому добыча угля из тонких и сверхтонких пластов при существующем уровне технологии оказывается экономически неоправданной и даже технически невозможной.

Существующие технические решения стационарных горных машин, а в особенности шахтного подъема и водоотлива, также накопили в себе ряд нерешенных технических противоречий, которые вылились в серьезные принципиальные недостатки. Это ставит под сомнение возможность использования существующих стационарных комплексов для горных предприятий будущего [7]. В частности для комплекса канатного подъема характерно:

- циклический режим работы и динамические нагрузки, сложность автоматического регулирования и управления;
- неэффективность использования каната как тягового органа для больших глубин; его недостаточная несущая способность;
- высокие удельные затраты энергии на единицу поднимаемого груза, превышающие теоретически необходимые в 2,2–2,4 раза;
- большая масса и сложность конструкции, высокая стоимость оборудования и строительных работ.

Очевидно, что присущие канатному подъему недостатки уже сейчас стали серьезным препятствием для развития горной технологии. Их преодоление следует искать на пути отказа от главной составляющей вектора инерции конструирования шахтного подъема, которая до сих пор казалась незыблемой, – каната.

К основным научно-техническим противоречиям и нерешенным проблемам современной горной промышленности следует отнести:

- технологические схемы вскрытия, подготовки и добычи узкофункциональны, плохо адаптированы к изменению горно-геологических условий, требуют большого разнообразия горных машин и механизмов, предусматривают большую долю ручного труда;

- выемочные машины и комплексы оборудования (комбайны, струги, механизированные крепи, забойные конвейеры) непригодны для тонких пластов угля, не отвечают принципам фронтального воздействия на забой, поточности организации работ и автоматизации;

- низкий уровень безопасности работ: необходимость пребывания рабочих в очистном забое, высокая температура, выбросы угля, породы и газа, пожароопасность, неэффективность проветривания, частые катастрофы (взрывы газа и пыли, обрушения пород) и др.

- высокая экологическая вредность производства: загрязнение поверхности шахтными водами, выбросами метана, породой в терриконах, большие площади отчуждения земли и пр.

Как доказывает история развития техники и подтверждает мировой опыт, попытки решить эти проблемы на основе традиционных подходов не могут увенчаться успехом. Следует изменить основные принципы создания шахты будущего, перейти к горной технике и

технологии нового уровня. Особенно это относится к добыче угля на тонких и сверхтонких пластах, где сосредоточено более 80 % всех запасов угля в Донбассе. Это доказывает актуальность проблемы формулирования и разработки новой научной доктрины развития горной техники и технологии «Шахта XXI века».

К основным научным направлениям развития горной промышленности согласно новой концепции [4] следует отнести разработку:

- фронтального проходческого комбайна, способного обеспечить поточную технологию и проходить горизонтальные и наклонные выработки со скоростью 50-100 м/сут по породам произвольной прочности с параметрическим регулированием и оптимизацией, отвечающих принципам мехатроники [3];

- очистного фронтального агрегата, исключая пребывание человека в лаве, обеспечивающего в автоматическом режиме выемку тонких и сверхтонких угольных пластов (от 0,4 до 1,4 м) произвольного угла падения со скоростью 50-70 м/сут при поточной схеме организации работ и добыче 4-6 тыс. т/сут из лавы [5];

- стационарных горных машин нового поколения, в первую очередь объединенного комплекса бесканатного подъема и беструбного водоотлива, непрерывно работающих независимо от глубины рабочего горизонта с производительностью 700 – 1000 т/час в автоматическом режиме с использованием роторных линий загрузки и разгрузки сыпучего или рудничной воды [6];

- системы энергообеспечения подземных потребителей, основанной на новой идее использования индивидуальных двигателей внутреннего сгорания на метане («метан-дизель») для ка-

ждой единицы оборудования при отказе от центрального электроснабжения [7];

- системы безопасности и комфортности труда на рабочем горизонте в условиях искусственного создания нейтральной газовой среды (метан) при индивидуальном обеспечении воздухом и охлаждением каждого из горняков и отказе от обычной схемы вентиляции, основанной на устаревшей идее разбавления поступающего метана до безопасных концентраций [7];

- новой комбинированной системы подготовки и выемки высокогазоносных тонких и сверхтонких угольных пластов, пригодной для большинства горно-геологических условий, предусматривающей совмещение проходческих и очистных работ, полное оставление породы в шахте, работу в нейтральной газовой среде, использование гравитационных сил в транспорте, сокращение длины и числа подготовительных выработок в 1,5-2 раза;

- околоствольного двора новой конфигурации с уменьшенным строительным объемом горных выработок в 2-3 раза, с упрощенными схемами транспорта, подъема, водоотлива, энергообеспечения и газообмена;

- генерального плана поверхности шахты в виде одного блока площадью до 0,2 га, с отказом от внешнего водо- и электроснабжения, с автоматической непрерывной загрузкой угля в ж/д вагоны, выдачей из шахты и использованием излишков газа метана для энергетических целей, очисткой воды фильтрами для ирригации окружающей территории (500-1000 га и более).

В особенности следует остановиться на проблеме подземного энергообеспечения. Высокие скорости подготовительных и очистных забоев на шахте XXI века, достигающие 100 м/сут, порождают сложную проблему

энергоснабжения, требующую частых подключений и смены длины силовых кабелей, что не поддается автоматизации. Эта проблема решается лишь за счет применения автономного энергообеспечения с помощью метан-дизелей, у которых в качестве топлива служит газ метан, до 100 % заполняющий горные выработки. Метан, как газообразное топливо, обладает целым рядом ценных свойств: он полностью безопасен при концентрации более 16-17 % и обладает высокой теплотворной способностью, равной 36 МДж/кг (около 20 МДж/м³), что превышает энергию антрацита примерно в два раза.

Предварительные подсчеты показывают, что при одновременной работе всех подземных потребителей новой шахты (около 2000 кВт) потребуется 300–360 м³/с метана из шахтной атмосферы. При суточной добыче угля 6 Гт/сут (1 Гт = 1 тыс. т) достаточно, чтобы метанообильность месторождения была более 0,9-1,2 м³/т. Этому условию удовлетворяет подавляющее число угольных пластов, у которых выход метана доходит до 10-15 и более м³/т. Излишек метана, не использованный метан-дизелями в шахте, будет выдан на поверхность для утилизации. Этот вариант подземного энергоснабжения является наиболее безопасным, технически эффективным, экономически выгодным и экологически чистым. Для негазовых шахт следует перейти на обычные дизели (предпочтительно на биотопливе).

Следовательно, концепция использования метана для энергоснабжения в

шахте имеет вполне реальную основу, дает значительные экономические выгоды и позволяет исключить многие сложные, небезопасные и дорогостоящие процессы, сопровождающие использование электроэнергии в шахте.

Эти основные требования были реализованы в разработанной в ДонГТУ научной доктрине «Шахта XXI века» [7], которая обладает рядом принципиальных отличий от традиционных подходов, что позволило обеспечить следующие прогнозные параметры новой горной технологии (таблица).

Приведенные сопоставительные данные по основным технико-экономическим показателям работы сравниваемых вариантов шахт доказывают неоспоримое преимущество предлагаемой научной доктрины подземной разработки угля, основанной на принципиально новых технических решениях. Некоторые из этих решений нуждаются в конкретизации и более тщательной конструкторской проработке, большинство из них требует дополнительных исследований и опытно-промышленных испытаний, что может быть под силу большому и нетрадиционно мыслящему творческому коллективу ученых, проектировщиков и производителей, работающих в рамках будущей государственной программы, которая, по мнению автора настоящей статьи, должна быть неотложно принята как приоритетное научно-производственное направление для горной промышленности.

До настоящего времени господствовала (не всегда вполне осознанная) научная доктрина консерватив-

Технико-экономические показатели шахты XXI века

Показатели технического уровня шахты	Шахта XX в.	Шахта XXI века
Горно-геологические		
1. Средневзвешенная мощность пластов, м	0,7-1,5	0,5-1,5
2. Угол падения пластов, град	до 25	до 50-60
3. Газоносность пластов, м ³ /т сут. д.	до 10	любая
4. Глубина разработки, тыс. м	до 1	до 3-5
5. Водообильность, м ³ /час	до 500	любая
6. Размеры шахтного поля, км	4x2	4x2
Общешахтные		
7. Суточная мощность шахты, Гг.*)	1-3	5-10
8. Нагрузка на очистной забой, Гг/сут	0,5-1	4-7
9. Длина горных выработок, м/Гг добычи	12-15	6-8
10. Срок строительства шахты, мес.	48-70	12-16
11. Энерговооруженность, кВт/чел	5-7	50-100
12. Срок службы шахты, лет	30-50	10-15
13. Производительность труда, т/чел-см	1-3	60-80
14. Всего персонала в смену, чел/см	300-400	15-20
15. Приведенные затраты, грн/т	30-50	4-6
16. Себестоимость, грн/т	200-250	25-30
17. Зольность угля, %	40-50	5-15
Технические участковые		
18. Скорость очистного забоя, м/сут	2-4	70-90
19. Персонал на добыче угля, чел/см	20-25	2-3
20. Число проходческих забоев, шт	3-5	1
21. Персонал на проходке, чел/см	20-25	3-4
22. Скорость проходки, м/сут	5-10	70-90
23. Срок окупаемости оборудования, лет	2-4	0,3-0,5
24. Стоимость оборудования лавы, млн. грн	5-15	1-2
25. Стоимость прох. Оборудования, млн. грн	5-9	1-2
26. Проветривание	общее	нет
27. Участковый транспорт	рельс	ПТА
28. Энергоснабжение	Электр.	Метан
29. Подъем	канат	ГДПВ
30. Водоотлив	Труб.	ГДПВ
31. Уровень экологии, безопасности и комфортности работ	-	+
Примечание: 1 Гг = 10 ⁹ г = 1 тыс. т		

ного направления развития горной технологии, которая опиралась на концепцию экстенсивного развития каждого из элементов горного производства, не затрагивая их сути (увеличение мощности, массы, размеров и т.д.). В целом старая док-

трина в свое время не получила концептуально четкой формулировки и исторически представляет собой совокупность поэтапных усовершенствований традиционных технических решений, направленных

в большинстве своем на экстенсивное развитие техники и технологии.

Предлагаемая здесь новая научная доктрина «Шахта XXI века» основана на использовании концепции интенсивного развития горной техники и технологии, основанной на кардинальном изменении давно сложившихся и повсеместно ставших общепринятыми воззрений. Методологически это требует выявления главных технических противоречий, вычленения и формулирования важнейших проблем и по-

иска их нетрадиционных решений. Реализация доктрины «Шахта XXI века» позволит отечественной горной промышленности не только выйти на достойное место в мировой системе разделения труда, но и заметно изменить сложившиеся стереотипы развития технических систем, существенно улучшить показатели работы народного хозяйства, что благоприятно скажется на социально-экономических условиях жизни всего общества.

Автор выражает благодарность Министерству просвещения и науки Украины за предоставление гранта на выполнение исследований в 2002-2004 гг., проф. *М.П. Зборщичу*, проф. *З.Л. Финкельштейну*, проф. *В.Г. Гуляеву*, проф. *А.К. Семенченко* и другим ведущим ученым-горнякам - свою признательность за проявленный интерес к работе, а г. *Онтеро Хакапаа* (Финляндия) - за его оригинальные идеи о принципах автоматизации горной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Garry G. Litvinsky*. Problem eksploatacji cienkich pokladow w ukraińskich kopalniach węgla kamiennego Zagłębia Donieckiego. Proceeding of the School of Underground Mining 2002/ - Intern. Mining Forum. - Polish Academia of Science. - Krakow: Nauka-Technica, 2002. - 343-363 pp.

2. *Литвинский Г.Г.* Настоящее и будущее проходческой техники. Proceeding of the School of Underground Mining 2003/ - Intern/ Mining Forum. - Polish Academia of Science. - Krakow: Nauka-Technica, 2003. - 234-243 pp.

3. *Литвинский Г.Г.* Комбайн проходческий фронтальный КПФ "MIR". - Уголь Украины, 2005, № 7. - С. 16-19.

4. *Литвинский Г.Г.* О методике и критериях оценки технического уровня горной техники. В сб.: Технология проектирования

подземного строительства/ - Вестник академии строительства Украины. - Донецк: Норд-Пресс, 2003, с. 62-67.

5. *Литвинский Г.Г.* Новая техника для поточной технологии добычи угля на тонких пластах. /Сб. науч. тр. ДГМИ: Перспективы развития угольной промышленности в 21 в. - Алчевск: ДГМИ, 2002. - С. 54-61.

6. *Garry Litvinsky*. Development Trends in Mine Hoisting and Drainage/ Proceeding of the Fifth Int. Mining Forum 2004. February 24-29/ - Cracow: A.A. Balcema, London, pp. 11-19.

7. *Литвинский Г.Г.* Научная доктрина «Шахта XXI века» / Сб. науч. тр. ДонГТУ: Исторические и футурологические аспекты горного дела. - Алчевск, 2005. - С. 190-231.

Коротко об авторах

Литвинский Г.Г. - доктор технических наук, профессор, Донбасский государственный технический университет.

