

Мухин Сергей Евгеньевич
аспирант кафедры ПРПМ
Московский Государственный
Горный Университет,
Россия, 119991, г. Москва,
Ленинский проспект, д. 6,
Тел. +7 (926) 5991388,
e-mail: mse.gdp@gmail.com

Mukhin Sergey Evgenyevich
Moscow State Mining University (MSMU),
postgraduate student of Underground Mining
of Flat Masses Department,
Russia, 119991, Moscow, Leninsky Ave, 6,
Tel. +7 (926) 5991388,
e-mail: mse.gdp@gmail.com

**ЭКОНОМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ ПО
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ
ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ ШАХТ К
ИНТЕНСИВНОЙ ОТРАБОТКЕ**

**ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL
SOLUTIONS TO IMPROVE THE MIN-
ING STOCKS PREPARATION TO IN-
TENSIVE DEVELOPMENT**

Аннотация:

В данной статье рассмотрены экономико-технологические решения по совершенствованию подготовки запасов к интенсивной отработке. Разработка длинными лавами является предпочтительным методом в угольной промышленности для максимизации производства и извлечения запасов угля. Проанализированы основные факторы, учитываемые для увеличения длины очистного забоя. На основе проведенного исследования автором определены условия, необходимые для оптимизации подготовки запасов длинными очистными забоями, позволяющие сократить количество углеотходов. В статье рассмотрены различные стороны для обоснования проектных решений и решения технических проблем.

Ключевые слова: длинный очистной забой, система разработки, Восточный Донбасс

Abstract:

This article considers economic and technological solutions to improve the efficiency of reserves recovery to intensive development. Longwall mining is the preferable method in coal mining to maximize production and reserves recovery. This article analyzes the main factors considered for increasing longwall panel width. In terms of performed research the author has identified the required condition for optimization reserves recovery by longwall faces, resulting in a reduced amount of coal wastes. This article discusses the aspects for design considerations and solutions of technical problems.

Keywords: longwall face, mining system, East Donbass

Как показывают исследования, проведенные на шахтах Восточного Донбасса [1], основное влияние на формирование углеотходов при подземной разработке месторождений оказывают очистные горные работы (65 – 70 %), подготовительные и ремонт выработок дают в сумме 30 – 35 %.

Одним из направлений снижения объема углеотходов является укрупнение размеров выемочных полей при их нарезке за счет увеличения длины очистных забоев. Это позволяет повысить коэффициент использования месторождения, при уменьшении числа подготовительных выработок, снизить потери, сократить потребности в площадях и вспомогательных шахтных сооружениях.

Проблемой увеличения длины очистного забоя ученые и производственники начали заниматься еще во второй половине XX века (СССР и другие угледобывающие страны). Технологическими схемами разработки пластов на угольных шахтах [2] предусматривалось изменение лавы в различных горно-геологических условиях в диапазоне 150 – 250 м. В СССР увеличение длины очистного забоя со 150 – 200 до 300 – 350 м имело место в отдельных случаях, не носило массового характера. Так, например, на шахте имени газеты “Социалистический Донбасс” увеличение длины лавы со 180 – 200 до 300 м позволило достичь роста нагрузки в 2 – 2,1 раза. Для условий Кузнецкого

бассейна (шахта “Распадская”) [3] увеличение длины очистного забоя до 250 – 300 м позволило:

- снизить объем проведения подготовительных выработок с 4,2 до 2,1 м на 1000 т запасов;
- сократить количество лав с трех до двух при сохранении объемов добычи угля;
- снизить зольность добываемого топлива и за счет этого уменьшить издержки производства на 10 – 15 %.

Тенденция увеличения длины очистных забоев отмечается во всех развитых угледобывающих странах. Так, на шахте “Твентимайл” (США) из одной лавы длиной 305 м было добыто 5,5 млн т угля за год с подвиганием лавы до 18,5 м в смену. В каменноугольной промышленности Германии освоение технологии отработки выемочных полей лавами длиной 350 – 400 м началось с 1990-х годов. На шахте “Фридрих Генрих/Рейнланд” в Ками-Лимпфорте была успешно испытана технология отработки угольного пласта в лаве длиной 430 м. При этом нагрузка в первые месяцы работы достигала 10000 т товарного угля в сутки [4]. Аналогичные технологии отмечены в угольной промышленности США, Австралии, ЮАР. Высокопроизводительные лавы работают и на предприятиях компании “Шеньхуа” в КНР, где длина лавы равняется 300 м при длине выемочных полей 3 – 6 км и мощности пластов до 6,5 м.

Вместе с тем широкому внедрению высокопроизводительных лав значительной длины препятствует ряд нерешенных практических вопросов горнотехнического и экономического характера. Неисследованными остаются вопросы влияния горно-геологических условий на длину очистного забоя, основными из которых являются:

- динамика изменения напряженно-деформированного состояния пород (нагрузки на крепь) по длине забоя в зависимости от мощности и глубины залегания пласта;
- изменение условия залегания пластов – угла падения, нарушенности шахтного поля.
- к технологическим факторам необходимо отнести прежде всего параметры выемочной техники:
- несущую способность механизированной крепи;
- производительность главного конвейера и очистного комбайна;
- скорость отработки запасов по площади выемочного столба;
- параметры выемочных штреков и оборудования, установленного в них для обслуживания очистных работ.

Влияние изменения длины очистного забоя на напряженно-деформированное состояние пород кровли впервые было исследовано в трудах проф. В.Д. Слесарева [5]. В этих работах, ввиду сложности происходящих в кровле процессов, им было предложено заменить расчет фактической устойчивости зависающих пород на фиктивную задачу об определении предельного пролета эквивалентной балки (эквивалентный пролет). Это позволяет существенно упростить решение задачи, не искажая физической сути происходящих в кровле пластов геомеханических явлений. В случае если зависающие породы кровли, не имеют опоры в выработанном пространстве, то для эквивалентного пролета (l_3) при трехстороннем закреплении плиты пород используется следующая зависимость:

$$l_3 = \frac{2ab}{a + 2b},$$

где a и b – стороны обнажения кровли, м (длина и ширина лавы).

Расчеты, произведенные в соответствии с указанной зависимостью, показали, что при увеличении длины очистного забоя от 40 – 60 м, при котором поведение пород кровли отличается от ее поведения в коротком забое, до 350 – 400 м изменение эквивалентного пролета имеет характер, представленный на рис. 1. Из анализа следует, что

увеличение длины лавы свыше 170 – 300 м практически не оказывает влияния на изменение величины эквивалентного пролета. Это свидетельствует о том, что устойчивость пород кровли при достижении предельных пролётов не зависит от длины лавы, а определяется свойствами пород и способом управления горным давлением. При этом увеличение длины очистного забоя способствует более “эластичному” смещению и обрушению пород, более равномерному распределению нагрузки на крепи вдоль забоя.

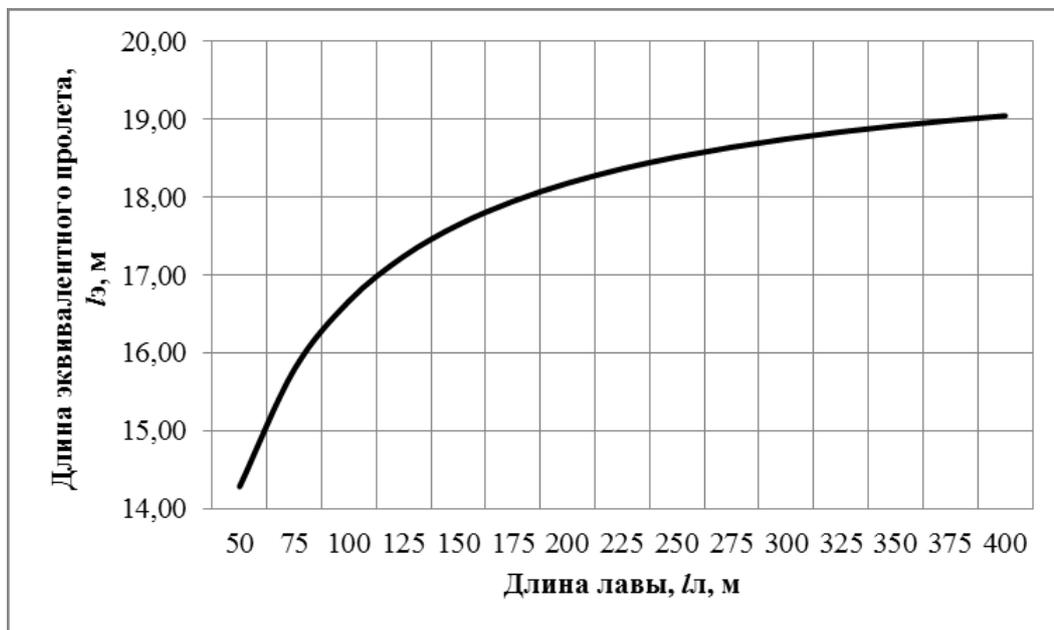


Рис. 1 – График зависимости размеров эквивалентного пролета от длины очистного забоя

Это подтверждается исследованиями, проведенными на моделях и в шахтных экспериментах [3]. Показано, что с увеличением длины очистных забоев изменение потенциальной энергии пород в направлении движения лавы и параллельно забою снижается относительно увеличения длины лавы (рис. 2). Расчеты выполнялись для наиболее тяжелых горнотехнических условий, когда размеры выработанных пространств приближались к длине лавы. Отмечено, что при увеличении длины лавы в два раза – от 100 до 200 м накопленная потенциальная энергия возросла только на 12 – 15 % с тенденцией к дальнейшему снижению ее относительной величины по мере увеличения длины забоя.

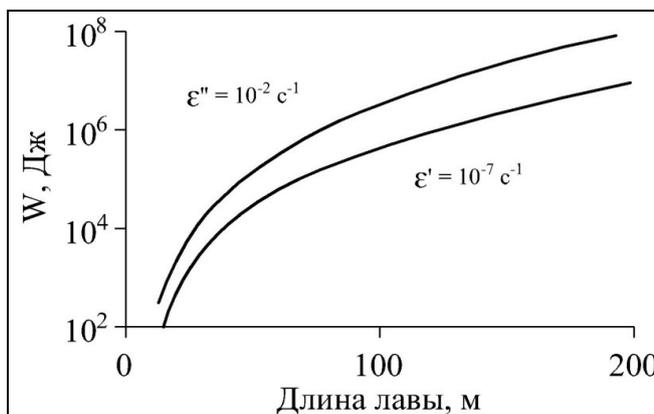


Рис. 2 – График зависимости потенциальной энергии зависающих пород кровли от длины лавы и скорости относительных деформаций основной кровли [6]

Таким образом, можно утверждать, что возрастание длины очистных забоев до 400 – 450 м с точки зрения происходящих в кровле геомеханических процессов не является осложняющим фактором ведения очистных работ, т. е. не приводит к росту нагрузки на крепи. Вместе с тем, рост длины лавы при аналогичных сравниваемых параметрах работы, технических средствах вызывает ряд негативных последствий. Это, прежде всего, снижение скорости подвигания забоя, что, несомненно, отразится на устойчивости кровли.

Исследованиями, проведенными на шахтах Восточного Донбасса [3], показано, что увеличение длины очистных забоев со 150 до 300 м неоднозначно влияет на разубоживание (зольность) горной массы в лаве. Так, при устойчивых породах кровли зольность практически не изменяется (снижение на 3 %), а при неустойчивых увеличивается на 68 %.

По вопросу влияния скорости движения лавы на устойчивость кровли существуют различные мнения учёных и практиков. Часть ученых [1, 3, 6, 7] утверждает, что повышение скорости подвигания лавы от 3 – 4 м/сут до 20 вызывает увеличение концентрации сжимающих напряжений и приближает место концентрации напряжений к забою. При этом возрастают прочностные характеристики прилегающих пород, снижается их способность к расслоению. В связи с ростом прочностных характеристик пород возрастает пролет обрушения зависающих консолей с 16 до 36,5 м. Осадки основной кровли переносятся далее в сторону выработанного пространства. Все исследователи отмечают, что с увеличением скорости движения забоя нагрузка и интенсивность на механизированные крепи снижаются, соответственно возможным решением может быть применение существующих типов крепей без усиления их несущей способности.

Отмечается, что снижение скорости движения забоя до 3 м/сут приводит к увеличению вывалообразования в лаве, повышается нагрузка на крепи [1]. Подобные явления объясняются снижением прочности и увеличением пластичности пород вследствие влияния фактора времени, приводящего к ползучести пород даже при постоянной величине напряжений. При повышении напряжений при развитии процессов роста размеров выработанных пространств и нарушенных пород в направлениях простирания (падения) и напластования может провоцировать процессы ползучести и даже текучести, что, несомненно, увеличит склонность к вывалообразованию пород в рабочее пространство лавы. Внешне явление ползучести схоже с пластическим явлением – текучестью. Однако последнее происходит только за пределами зоны упругости и при нарастающих напряжениях, в то время как первое может проявляться при напряжениях, не превышающих предела упругости, но при длительном воздействии нагрузок, что приводит к росту деформаций.

Как известно, деформации и разрушение боковых пород происходят в два этапа. Мгновенные (быстротечные), связанные с упругим восстановлением пород, которые в основном реализуются во время выемки угля, когда боковые породы получают возможность расширяться в освободившемся пространстве. Второй этап происходит за счет пластических деформаций пород, постепенно развиваясь во времени, и этот этап реализуется во время следующих за выемкой угля операций цикла от их продолжительности.

На упругую составляющую деформаций воздействовать очень сложно вследствие скоротечности ее реализации. Но вторую составляющую можно уменьшить за счет сокращения времени выполнения операций выемочного цикла, т.е. смещение и разрушение боковых пород можно существенно снизить, увеличив скорость подвигания забоя. Однако необходимо помнить, что при достижении определенной для данных горнотехнических условий скорости подвигания забоя зависающие в выработанном пространстве породы кровли увеличивают критическую длину консоли, которые при трансформации потенциальной энергии в кинетическую (динамическом обруше-

нии) могут вызвать деформацию крепи и даже завал лавы. Таким образом, скорость продвижения очистного забоя и его длина органически связаны, их пространственно-временное соотношение определяет степень проявления геомеханических процессов в зоне ведения очистных работ и, естественно, технико-экономические показатели работы участка, шахты в целом. Поэтому для повышения эффективности очистных работ необходимо сопоставить положительные и отрицательные стороны увеличения длины лавы.

К положительным сторонам увеличения длины лавы, в первую очередь, следует отнести сокращение числа подготовительных выработок на единицу запасов выемочного поля (горизонта, части шахтного поля). Снижение числа подготовительных выработок для отработки пластов средней мощности и маломощных означает уменьшение выхода породы, т. е. углеотходов. Зависимость снижения количества выхода породы при изменении длины лавы на единицу площади запасов представлена на графике (рис. 3) для типичных условий Восточного Донбасса (пологие пласты мощностью 1,25 м). Из анализа видно, что выход породы из очистных выработок гораздо выше, чем из подготовительных. Но, что более важно, удельный выход породы при увеличении длины лавы снижается.

В качестве положительных аспектов увеличения длины лавы также можно рассматривать сокращение времени подготовительно-заключительных операций и монтажно-демонтажных работ, отнесенного на единицу запасов, увеличение времени производительной работы комбайна, повышение коэффициента использования оборудования и, в конечном итоге, увеличение нагрузки на забой и производительности труда по участку и шахте в целом.

К отрицательным аспектам повышения длины очистного забоя нужно отнести увеличение времени цикла, снижение скорости продвижения лавы и, как следствие, снижение прочности пород, рост нагрузки на механизированные крепи и возможное повышение объема вывалообразования в лаву.

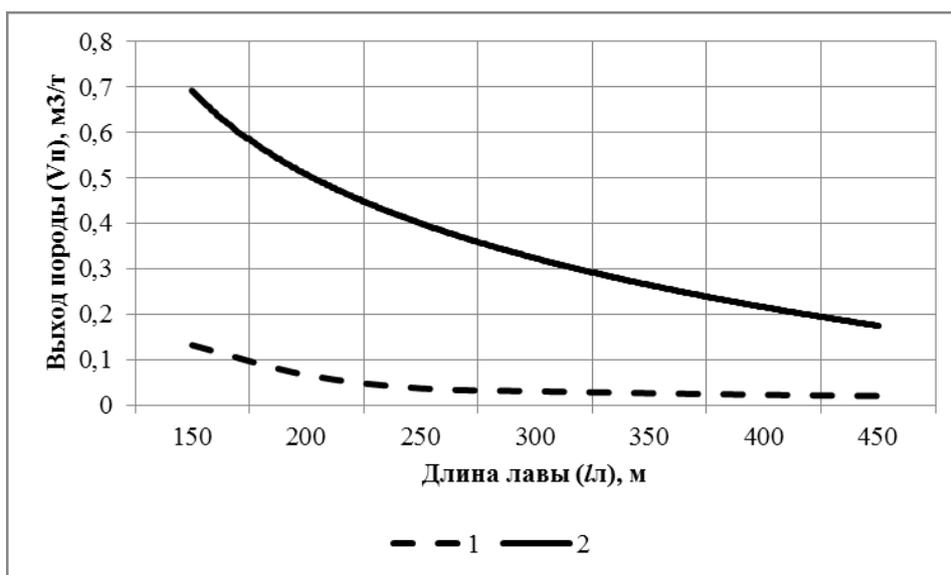


Рис. 3 – График зависимости выхода породы от длины лавы при $m=1,25$ м, $Z=2 \cdot 10^6$ т:
1 – из подготовительных выработок, 2 – из очистных

Длинные очистные забои можно применять только в благоприятных горно-геологических условиях с относительно малой нарушенностью выемочных полей. К тому же возникают вопросы с обеспечением безопасности и проветриванием лав, разработкой соответствующих этому технических средств выемки и транспорта в забое и на выемочном участке:

1. Повышение временной устойчивости и прочностных характеристик пород кровли происходит благодаря увеличению скорости подвигания очистного забоя. Для увеличения скорости подвигания применяются очистное оборудование нового технического уровня. Для обслуживания оборудования такого уровня необходимы универсальные знания работников современной формации и соответствующая этому новая организация труда.

2. Доставочные средства в лаве и транспортном штреке должны обладать повышенной несущей способностью, а также высокой ремонтпригодностью для уменьшения или устранения необходимости замены компонентов в середине панели в связи со значительным ростом нагрузки и ее неравномерностью во времени.

3. Рост грузопотока определяет увеличение габаритов транспортного оборудования в штреках, а это, в свою очередь, ведет к росту поперечного сечения подготовительных выработок и, следовательно, объема углеотходов.

Поэтому оценка возможности увеличения длины очистного забоя по геомеханическим признакам должна производиться для конкретных горнотехнических условий с учетом плюсов и минусов изменения параметров технологии и геомеханических процессов. Окончательно оптимальная длина лавы должна определяться в результате экономических расчетов, учитывающих совокупные затраты на добычу и обогащение угля, получаемую прибыль и вычеты за загрязнение окружающей среды углеотходами. Экономический эффект от увеличения длины лавы на единицу площади запасов выемочного поля можно получить из составляющих:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_л + \mathcal{E}_п + \mathcal{E}_р, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_л$ – затраты, приходящиеся на выход породы в лаве;

$\mathcal{E}_п$ – затраты, приходящиеся на выход породы из подготовительных выработок;

$\mathcal{E}_р$ – затраты, приходящиеся на ремонт подготовительных выработок.

При этом исследования [1] показали, что в процентном соотношении экономический эффект от увеличения длины очистного забоя можно условно разделить в следующих пропорциях:

- большая часть приходится на лавы около 40-60 %,
- 30 % приходится на подготовительные выработки,
- 10 % на ремонт подготовительных выработок.

Литература

1. Терентьев Б.Д. Проблема снижения зольности горной массы / Б.Д. Терентьев, В.Б. Артемьев, А.Т. Ецков // Уголь. - 2002. - № 2 – С. 63 – 65.
2. Технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах.
3. Белодедов А.А. Установление зависимости влияния длины лавы на основные технико-экономические показатели работы шахты / А.А. Белодедов, С.А. Шмаленюк. – ГИАБ. – 2008. – № 8. – С. 216-219.
4. Штенманс Карл-Хайнц. Техническое оснащение и достигнутая производительность 430-метровой лавы / Карл-Хайнц Штенманс. – Глюкауф. – 2000. – № 2 (3). – С. 7 – 14.
5. Слесарев В.Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна / В.Д. Слесарев. – М.: Углеиздат, 1952.
6. Коршунов Т.И. Геомеханика на угольных шахтах / Т.И. Коршунов и др. – М. – Изд-во “Горное дело”, 2011. – 388 с. (Серия “Библиотека горного инженера”, Т.3, кн. 6).
7. Михеев О.В. Управление состоянием массива горных пород / О.В. Михеев и др. – М.: МГГУ, 2004. – 399 с.