

УДК 622.232.71

## **ПОВЫШЕНИЕ СУТОЧНОЙ НАГРУЗКИ ЛАВЫ ПРИ ВЫЕМКЕ ТОНКИХ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ**

Бойко Н.Г., проф., докт. техн. наук, Зборщик М.П., проф.,  
докт. техн. наук, Бойко Д.Е., бакалавр,  
Донецкий национальный технический университет

*В работе рассмотрен один из возможных и эффективных способов повышения суточной нагрузки лавы на тонких, пологих пластах, а именно: переход на фронтально-волновую технологию добычи угля.*

*The article describes an effective method of increasing the daily load of a longwall in thin flat-lying seams which consists in applying frontal-wave mining technique.*

### ***Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.***

Созданные и серийно выпускаемые очистные комбайны, в том числе и для добычи угля из тонких (мощностью до 1,2 м) пологих пластов являются высоко энерговооруженными машинами, обеспечивающими суточную нагрузку порядка 1500 тонн. Добыча угля в Донбассе ведется в сложных условиях. Трудности разработки тонких пологих пластов обусловлены: наличием вмещающих пород в основном не выше средней устойчивости и высокой их температурой; большой газоносностью пластов и опасностью по внезапным выбросам угля и газа; взрывоопасностью угольной пыли и др. факторами. Примерно 80 % угля ныне добывается из тонких пластов. Добытый уголь – дорогой, а функционирование отрасли сопряжено с большими государственными дотациями.

В качестве средств механизации добычи угля используются механизированные комплексы с гидрофицированными крепями, очистными комбайнами которых являются в основном комбайны со шнековыми исполнительными органами. Это комбайны типа 1К-101У, К-103М, УДК-200, УДК-250, УДК-300, РКУ и др.

Одним из главных направлений улучшения технико-экономических показателей работы шахт – это повышение суточной нагрузки лав. Располагая достигнутым уровнем развития средств механизации и технологии добычи угля, рассмотрим возможные пути и способы увеличения суточной нагрузки лав примерно на порядок, т.е. в 10 раз при добыче угля из тонких пологих пластов.

**Анализ исследований и публикаций.** Вопросу повышения суточной нагрузки лав и производительности очистных комбайнов посвящено довольно много работ – см., например, [1 - 3]. Следует отметить, что практически все работы, в которых рассматривается этот вопрос, относятся к лавам, выемочной машиной которых является очистный комбайн с традиционной технологией добычи угля – разрушение угля производится в одной движущейся по лаве «точке».

**Постановка задачи.** В предлагаемой работе вопрос повышения суточной нагрузки лавы при добыче угля из тонких пологих пластов поставлен в другой форме. Во-первых, до какой максимальной величины может быть доведена суточная нагрузка лавы при комбайновой выемке, во-вторых, какими средствами механизации и технологией выемки угля можно увеличить суточную нагрузку лавы примерно на порядок?

**Изложение основного материала.** При комбайновом способе разрушения пласта (добыча угля с помощью механизированных комплексов, оснащенных указанными выше очистными комбайнами) для обеспечения суточной нагрузки лавы 20 тыс. тонн минутная производительность комбайна должна быть

$$Q_k = \frac{Q_{сут}}{60 n_{p.c} k_m T_{p.c}}, \quad (1)$$

где  $n_{p.c}$ ,  $T_{p.c}$  – число рабочих смен в сутки и продолжительность смены соответственно,  $k_m$  – коэффициент машинного времени (при современной организации труда  $k_m \cong 0,3$ ).

Представляя, с другой стороны, минутную производительность комбайна в виде

$$Q_k = \gamma H B_3 V_k, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – плотность угля,  $H$ ,  $B_3$  – соответственно мощность пласта и номинальная ширина захвата исполнительного органа,  $V_k$  – скорость перемещения комбайна, после приравнивания зависимостей (1) и (2), и решения относительно скорости перемещения комбайна, получим

$$V_k = \frac{Q_{сут}}{60 \gamma H B_3 n_{p.c} k_m T_{p.c}}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что при  $Q_{сут} = 20000$  тонн, трехсменной работе комбайна по добычи угля, шестичасовой рабочей смене и метровой мощности пласта скорость перемещения комбайна должна быть порядка 55 м/мин (примерно 0,92 м/с), что невозможно по ряду причин. Во-первых, нужно перейти полностью на автоматическое управление движением комбайна по лаве, во-вторых, необходимая мощность двигателя только для перемещения комбайна при регламентированной тяге в 200 кН должна составлять около 180-200 кВт.

Максимальная толщина среза при этом будет

$$h_{\max} = \frac{100V_{\kappa}}{n_{ш}n_{р.л}} = \frac{100 \cdot 55}{80 \cdot 2} \cong 34 \text{ см.} \quad (4)$$

Здесь  $n_{ш}$ ,  $n_{р.л}$  – соответственно частота вращения шнека и число резцов в линии резания.

Даже при частоте вращения шнека  $98 \text{ мин}^{-1}$ , имеющей место в комбайне типа К-103М, максимальная толщина среза будет составлять 28 см.

Максимальный радиальный вылет резца 80 мм ограничивает скорость перемещения до 12 м/мин при полном его использовании. При рекомендуемой величине использования резца в 5-6 см скорость перемещения комбайна ограничивается величиной 7,5-9,6 м/мин при частоте вращения шнека  $80 \text{ мин}^{-1}$ . При частоте вращения шнека  $98 \text{ мин}^{-1}$  максимальная величина скорости перемещения по рекомендуемому вылету резца 6 см составляет 11,8 м/мин.

Следует обратить внимание еще на один весьма важный фактор, а именно: погрузочную способность исполнительных органов комбайнов. Погрузочная способность исполнительных органов современных очистных комбайнов составляет 3-4 т/мин, в то время как производительность комбайна для достижения указанной суточной нагрузки лавы должна составлять 62 т/мин.

При увеличении коэффициента машинного времени в 2 раза (с 0,3 до 0,6) и 3,5 смены по добыче угля, то и в этом случае скорость перемещения комбайна должна составлять 23,6 м/мин, а толщина среза 14,7 и 12 см при частотах вращения шнека соответственно 80 и  $98 \text{ мин}^{-1}$ . Это также невыполнимо при применении серийно выпускаемых комбайнов и режущего инструмента.

Максимальная (теоретическая) производительность современных очистных комбайнов для тонких пластов, как показывают расчеты, составляет около 6 т/мин.

Таким образом, даже упрощенный расчет показывает, что современные очистные комбайны не могут обеспечивать значительного (примерно на порядок) повышения суточной нагрузки лавы при добыче угля из тонких пологих пластов.

Для значительного увеличения суточной нагрузки лавы необходимы поиск и разработка новых средств механизации, обеспечивающих принципиально иную технологию выемки угля.

Суть предлагаемых авторами средств механизации и технологии выемки угля заключается в следующем. Разрушение пласта осуществляется не в одной перемещающейся вдоль лавы «точке» (циклическая, комбайновая выемка угля), а по всей ее длине или на протяженной ее части и без постоянного присутствия людей в очистном забое. При этом силовые, а следовательно, и геометрические параметры таких средств механизации добычи угля должны быть такими, чтобы можно было их расположить в призабойном пространстве лавы тонкого пласта.

Чтобы обеспечить указанную суточную нагрузку лавы 20 тыс. тонн на пласте мощностью 1 м при длине лавы 150 м ее суточное подвигание должно составлять 96 м или 32 м в смену при 3-х сменном режиме работы по добыче угля. При коэффициенте машинного времени 0,5 (что вполне возможно) скорость подвигания лавы будет составлять 0,17 м/мин. Сегодня нет трудностей в создании устройств (движителей) со скоростью перемещения 0,17 м/мин с требуемой силой подачи и в приемлемых габаритах, например, гидродомкраты. Для разрушения пласта по всей его мощности при использовании современного серийно выпускаемого режущего инструмента (например, резцы типа ЗР4-80) достаточно иметь ширину среза примерно 5 см. В этом случае для разрушения пласта мощностью 1 м достаточно 20 резцов. С учетом резцов 2-х кутковых групп (у кровли и почве пласта) число резцов будет 25, т.е. для разрушения пласта мощностью 1 м в контакте с пластом достаточно иметь 25 резцов, которые могут быть расположены на 5 каретках – по 5 резцов на каретке. Каретки располагаются вдоль лавы с определенным шагом и соединяются между собой, например, гибкой связью.

При применении резцов типа ЗРБ2-80П или ЗРБ2-80Л (резцы с рабочей боковой гранью) ширина среза может быть увеличена не ме-

нее чем в 1,5 раза, и составляют 7,5 см. Тогда число резцов, одновременно участвующих в разрушении пласта мощностью 1 м, будет 13. С учетом резцов кутковых групп число резцов в этом случае будет 15, которые могут быть расположены на 3-х каретках. Каретки конструктивно могут быть выполнены режуще-транспортирующими. Это дает возможность уменьшить длину линии резания, а следовательно, – и толщину среза. Каретки на рабочем органе должны быть расположены участками длиной  $L_{p.к}$  и так, чтобы их (участков) в лаве была целочисленная величина, с одной стороны. С другой стороны, в контакте с разрушаемым пластом всегда находилось бы не более числа резцов, необходимых для его разрушения по всей мощности. В рассматриваемых случаях 25 и 15 резцов. В этом случае максимальная толщина среза

$$h_{\max} = \frac{V_n}{V_p} L_{p.л} \leq \kappa_p l_p, \quad (5)$$

где  $V_n, V_p$  – скорость, соответственно, подачи органа на забой и резания или перемещения каретки по лаве,  $\kappa_p, l_p$  – коэффициент использования радиального вылета резца и радиальный вылет резца, соответственно.

Откуда

$$L_{p.л} = \kappa_p \frac{V_p}{V_n} l_p. \quad (6)$$

Приняв  $\kappa_p = 0,75$ , скорость подачи органа на забой 0,17 м/мин, скорость резания 1 м/с и оснащение кареток серийно изготавливаемыми резцами типа ЗР4-80 или резцами типа ЗРБ2-80Л, ЗРБ2-80П (конструктивный вылет резца 80 мм), получим допустимую величину участка  $L_{p.л} = 21$  м.

Из зависимости (6) следует, что длина участка  $L_{p.л}$  пропорциональна скорости резания. Приняв скорость резания установки, близкой к скорости резания современных очистных комбайнов ( $V_{p.к} = 3$  м/с), длина участка  $L_{p.л}$  возрастает до 63 м. Другими словами, для принятых кинематических параметров установки ее длина не должна превышать 63 м. Это возможно при фронтальном ее перемещении по всей лаве.

Авторами предлагается **фронтально-волновая технология выемки угля**, когда подача органа на пласт (забой) осуществляется участками длиной  $L_p^n$ . Скорость подачи части органа на пласт от расчетной величины в этом случае должна быть увеличена в число раз, на которое разбит орган. Примем для примера число таких участков 15. Тогда длина участка органа  $L_p^n = 10$  м, а скорость его подачи на пласт должна составлять 1,7 м/мин с тем, чтобы сохранить скорость подачи всего органа на пласт 0,17 м/мин.

В этом случае

$$h_{\max} = \frac{V_n}{V_p} L_{p.l} = \frac{1,7}{60 \cdot 3} 10 = 0,093 \text{ м},$$

что, хотя и является недопустимой для современного режущего инструмента, однако, весьма близкой к реальной величине. При увеличении радиального вылета резца до 125 мм, что вполне реально, и это условие будет соблюдено.

Мощность резания для рассматриваемого случая и средних условий (средней величине сопротивляемости угля резания примерно 2000-2500 Н/см) оценочно будет

$$P_p = \begin{cases} Z_p n_p V_p / 1020 = 4500 \cdot 25 \cdot 3 / 1020 = 330 \text{ кВт}, \text{ для резцов типа ЗР4-80,} \\ Z_p^{pбг} n_{pбг} V_p / 1020 = 4500 \cdot 15 \cdot 3 / 1020 = 198 \text{ кВт}, \text{ для резцов типа ЗРБ2-80Л(П),} \end{cases}$$

где  $Z_p, Z_p^{pбг}$  – сила резания на одиночном резце типа ЗР4-80 и резце с рабочей боковой гранью типа ЗРБ2-80Л(П).

Между режущими каретками на равном расстоянии друг от друга могут быть расположены транспортные каретки, т.е. каретки без резцов, с помощью которых будет только транспортироваться разрушенный уголь.

С учетом транспортирования угля и трения кареток мощность привода исполнительного органа возрастет примерно на 30-35% и составит 445 и 265 кВт при оснащении рабочего органа резцами типа ЗР4-80 и ЗРБ2-80Л(П) соответственно, что вполне приемлемо и при современном уровне развития механизации добычи угля.

Конструкция такого агрегата (устройства) схематично представляет собой следующее. Основа конструкции – механизированная крепь ограждающе-поддерживающего типа, с которой связан рабочий орган с равномерно расположенными по длине каретками – режущими-

ми и транспортными. Длина секции  $L_p^n$ . В рассматриваемом случае  $L_p^n = 10$  м. В каждой секции находится режущие, а если необходимо, и транспортные каретки, вязанные между собой гибким тяговым органом, например, цепью. Замыкание тягового органа целесообразно выполнить в горизонтальной плоскости.

С целью приспособления рабочего органа к изменению мощности пласта по длине лавы каретки должны быть телескопическими (раздвижными), перемещающимися по специальным направляющим, которые связаны с крепью.

Технологическая схема добычи угля отличается от технологической схемы добычи угля как очистными комбайнами, так и существующими агрегатами, и состоит в следующем. Технологию добычи угля комбайнами можно представить, как «точечное» разрушение пласта с постоянно движущейся по лаве «точкой» со скоростью перемещения комбайна. Технологию добычи угля агрегатами, – как перемещение рабочего органа агрегата по всей длине лавы одновременно (фронтальная подача рабочего органа на забой).

Предлагаемая авторами **фронтально-волновая технология добычи угля** сводится к перемещению рабочего органа на пласт (забой) участками длиной  $L_p^n$  с перемещением каждого последующего участка по длине лавы на забой после окончания перемещения предыдущего участка и так, чтобы в контакте с пластом всегда находилось не более числа резцов, необходимых для его разрушения по мощности.

Если для отхода лавы на ширину захвата, например, 0,8 м при выемке угля комбайном необходимо, как минимум около 40-45 мин, то для отхода лавы на эту же величину при предлагаемом устройстве и технологии потребуется всего 5-6 мин.

Таким образом, уже на современном этапе развития средств механизации добычи угля, можно создать такие устройства (назовем их агрегатами), которые обеспечат высокую (до 20000 т/сутки) суточную нагрузку лавы и на тонких пологих пластах.

Для большинства тонких пологих пластов присуща высокая газоносность. Фактор проветривания призабойного пространства лавы на пластах свыше 2-й категории по выделению метана остается главной причиной, сдерживающей рост суточной нагрузки на очистные забои. Наиболее эффективным способом избавления от высокой газоносности или резкого уменьшения ее отрицательного влияния яв-

ляется предварительная дегазация пласта. В практике такой способ применим в основном при разработке сближенных пластов.

В предстоящие годы разработка тонких пологих пластов будет осуществляться преимущественно без их предварительной дегазации. В настоящее время имеется возможность существенного увеличения нагрузки на лаву, когда в пределах этажа или яруса лаву обрабатывают обратным ходом с применением прямоточной схемы проветривания горных выработок выемочного участка.

В первую очередь целесообразно применять вариант комбинированной системы проветривания (рис.1) [ 4 ], когда по каждому штреку подается свежая струя воздуха к выходам (окнам) из очистного забоя. Исходящая из лавы струя воздуха, загрязненная метаном и пылью, подсвежается и отводится по конвейерному штреку на фланговую наклонную выработку.

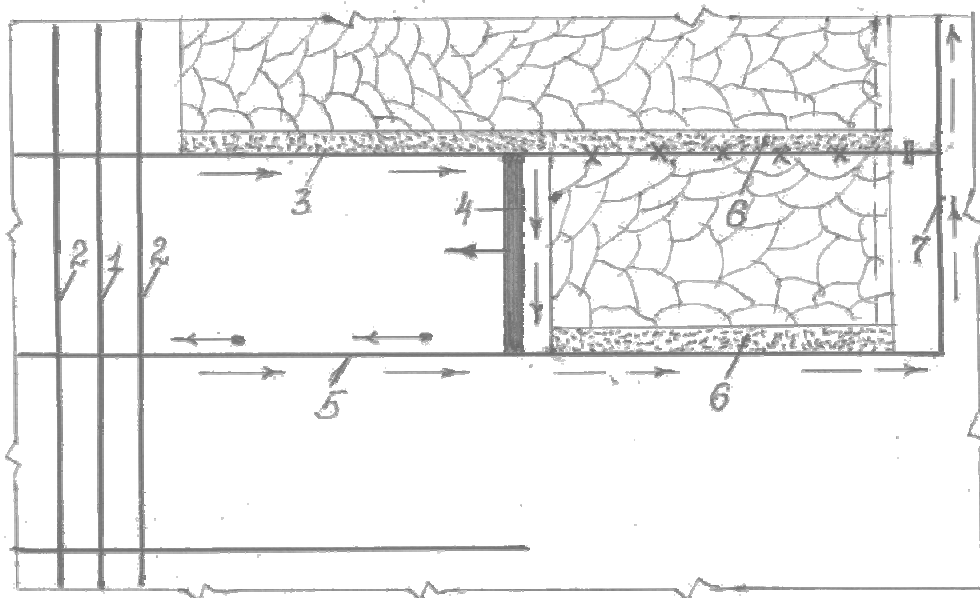


Рис. 1 – Комбинированная система с отработкой лавы обратным ходом и прямоточным проветриванием горных выработок выемочного участка:

1 – конвейерный уклон; 2 – ходки; 3 – повторно используемый конвейерный штрек, погашаемый вслед за продвижением лавы; 4 – очистной забой (лава); 5 – конвейерный штрек, поддерживаемый позади лавы; 6 – комбинированная охранный конструкция (полоса) из деревянно-бетонных или железобетонных блоков и заполнением просветов между стенками смесью из быстротвердеющих материалов; 7 – фланговая наклонная выработка для отвода из выемочного участка исходящей (загрязненной) струи воздуха

Такая комбинированная система достаточно прогрессивная и обладает крупными преимуществами. В частности, метан из выработанного пространства лавы практически не поступает в ее призабойное пространство. Метан, выделяющийся из разрушенного угля, лучше удаляется свежей струей воздуха в направлении конвейерного



штрека. Движущаяся по конвейерному штреку свежая струя воздуха, насыщающаяся выделяющимся из разрушенного и транспортируемого угля метаном, пылью и теплотой от электрооборудования, не направляется в призабойное пространство лавы. Она используется только для снижения концентрации метана в исходящей из лавы струе воздуха. На сопряжениях лавы со штреками исключаются образования местных скоплений метана с концентрациями 2% и более. Улучшаются условия производства работ по отсосу метана из выработанного пространства лавы. Кроме того, эта система обеспечивает весомое уменьшение трудоемкости работ и затрат на проведение и поддержание участков подготовительных выработок. Расширяется и обеспечивается возможность повторного использования бывших конвейерных штреков в качестве верхних вентиляционных для подачи свежей струи воздуха. Нисходящее проветривание призабойного пространства дает возможность погасить верхний (по восстанию) штрек вслед за подвиганием лавы. Высокое качество выполнения проходческих работ и большая скорость подвигания очистных забоев – залог хорошего состояния поддерживаемых подготовительных и очистных выработок выемочного участка и одно из главных условий надежного проветривания призабойного пространства высоконагруженных лав [4, 5].

В местах отбойки и погрузки угля в омываемой струе воздуха не исключается образование местных скоплений метана с концентрациями 2% и более, а также взрывоопасной метановоздушной смеси (концентрация метана в пределах 5,5-14%). Есть несколько путей предотвращения этих опасностей.

В струе воздуха, омывающей место разрушения угля, содержание метана существенно зависит от крупности угольных фрагментов. Чем больше измельчение угля, тем большее из него выделяется метана. Примерно около половины угля, добытого современными очистными комбайнами, содержит в своем составе очень мелкие фракции или так называемый штыб (размер гранул 0-6 мм). В настоящее время имеются новые резцы типа ЗРБ2-80Л и ЗРБ2-80П, которые апробированы в практике работы шахт [3]. Применение новых резцов обеспечивает уменьшение выхода штыба примерно в 2-2,5 раза. Это дает возможность снижения выделения метана из разрушенного угля.

При отработке запасов высоконагруженными лавами первоочередной задачей является оснащение комбайнов или новых выемочных агрегатов встроенными приборами автоматического контроля

местных скоплений метана. В омывающей работающие выемочные машины струе воздуха допустимая местная концентрация метана должна быть увеличена до 4-4,5%.

Уместно напомнить, что не придется начинать с нуля работы по созданию и оснащению комбайнов или агрегатов встроенными приборами автоматического контроля концентрации метана. В семидесятые годы прошлого века Конотопский завод «Красный металлист» изготовлял опытные образцы встроенных приборов, проведены промышленные испытания комбайнов с такими устройствами, создан весомый задел для дальнейшей работы в этом направлении. Основная причина прекращения работ – настройка опытных образцов приборов на допустимые местные скопления метана не более 2%. При этом резко ограничивалась скорость движения комбайна, а, следовательно, уменьшалась суточная добыча угля из очистного забоя. В итоге производственные соображения перевесили чашу весов в пользу отказа от оснащения комбайнов встроенными устройствами автоматического контроля. Характерно, что в критических случаях позади выемочного комбайна на расстоянии от него не более 7-10 м в вентиляционной струе воздуха концентрация метана обычно не превышала 2%.

Выемка угля агрегатами фронтально-волнового действия осуществляется без постоянного присутствия рабочих в призабойном пространстве лавы. Поэтому одним из резервов повышения нагрузки на очистной забой является увеличение предельно допустимой скорости движения воздушной струи в его призабойном пространстве, например, вместо 4 принять 6 м/мин.

По скорости движения воздушной струи должен непрерывно осуществляться контроль подачи в призабойное пространство лавы необходимого количества свежего воздуха. Когда в окне лавы скорость движения струи воздуха станет меньше, чем это необходимо при реальной интенсивности выемки угля, тогда должно осуществляться автоматическое отключение электроснабжения выемочного агрегата или комбайна.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Применяемые в настоящее время на тонких пологих пластах механизированные комплексы, оснащенные комбайнами, практически исчерпали свои технические и технологические возможности в плане значительного увеличения суточной нагрузки на очистные забои (лавы) и роста производительности труда.

Предлагаемая авторами **фронтально-волновая технология** выемки угля новыми механизированными агрегатами без присутствия людей в очистном забое реально осуществима в предстоящие годы на базе уже достигнутого уровня развития средств механизации и автоматизации очистных работ. Такая технология позволит повысить нагрузку на лаву в 2-3 и более раза, доведя ее до 15-20 тыс. тонн в сутки.

Рост нагрузки на лаву при применении **фронтально-волновой технологии** выемки угля будет сдерживаться только фактором проветривания очистных забоев тонких газоносных пластов. Основными резервами уменьшения отрицательного влияния газоносности пластов являются: применение комбинированной системы разработки с отработкой лавы обратным ходом, нисходящим проветриванием призабойного пространства и прямоточным проветриванием горных выработок выемочного участка; уменьшение измельчения угля (увеличении крупности его фрагментов); увеличение допустимой концентрации метана до 4-4,5% в месте работы выемочного агрегата; в увеличении допустимой скорости движения воздушной струи в призабойном пространстве лавы примерно до 6-7 м/мин.

В дальнейшем требуется разработка и исследования агрегатов фронтально-волновой выемки угля.

Список источников.

1. Исполнительные органы очистных комбайнов для тонких пологих пластов / Бойко Н.Г., Болтян А.В. и др. – Донецк, «Донеччина», 1996. – 223 с.
2. Бойко Н.Г., Бойко Е.Н. Повышение нагрузки на лаву и улучшение сортового угля без дополнительных затрат. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – 80 с.
3. Бойко Н.Г. Повышение ресурса и эффективности работы режущего инструмента горных машин. – Донецк: РВВ ДонНТУ, 2007. – 106 с.
4. Зборщик М.П. Обеспечение устойчивости участковых подготовительных выработок при отработке пологих пластов на больших глубинах. // Уголь Украины. – 2006. – №1. – С.18-22.
5. Зборщик М.П., Ильяшов М.А. Геомеханика подземной разработки угольных пластов. Том I. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 256 с.

*Дата поступления статьи в редакцию: 05.11.08*