

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНСОЛЬНЫХ КРЕПЕЙ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ

В. Бузило¹, Т. Савельева^{2*}, В. Сердюк¹

¹Кафедра подземной разработки месторождений, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

²Кафедра основ конструирования механизмов и машин, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

*Ответственный автор: e-mail savelievats@gmail.com, тел. +380665734507

APPLYING NONCANTILEVERED SUPPORT OF MECHANIZED COMPLEXES FOR DEVELOPING FLAT SEAMS

V. Busylo¹, T. Savelieva^{2*}, V. Serdyuk¹

¹Underground Mining Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

²Basic Design of Mechanisms and Machinery Department, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

*Corresponding author: e-mail savelievats@gmail.com, tel. +380665734507

ABSTRACT

Purpose. Substantiation of applying additional load-bearing structure of powered support near the face onto the bench formed within the seam by the cutter-loader actuating element, which allows to increase efficiency of coal winning.

Methods. Underground investigations of bearing capability and the character of bend fracture in terms of eight coal seams in Western Donbas mines are performed. Relationships between coal bench bearing capability of flat thin seams and the place of setting load-bearing support are determined by analytical method. Correlation dependence between bench strength and coal hardness within the sample is established.

Findings. The study has shown that coal bearing capability within the bench is basically determined by coal hardness, thickness and location of the friable band, the area and location of the spinning unit. Dependences between bearing capability of coal bench and the distance from axle mounting of the spinning unit die to the bench edge are determined. It is shown that the strength limit of coal bench is directly proportional to the strength limit of coal hardness within the sample and inversely proportional to the distance from the place of load application to the face. This study enables to determine the location of supporting structure depending on the coal hardness within the samples. Advance cut under the seam roof reduces the resistance to coal bench cuttability and induces bench spalling into large fragments. Installation of noncantilevered support structures onto coal benches decreases the rate of vertical displacement of benches and roof blocks above.

Originality. When applying complexes with powered support mechanisms extensible to the whole thickness of the seam under extraction, additional load-bearing support can be installed directly on the spalling bench near the face. It will prevent caving and reduce coal ash content.

Practical implications. This study has shown that the application field of noncantilevered support with the canopy resting on coal benches can be chosen according to the results of the coal sample strength testing, as the mine research into coal bench bearing capability is too labour-intensive. The performance of advanced cutting under the seam roof will enable to reduce power consumption of mining and output of coal fine fraction. Installation of load-bearing structures of noncantilevered supports onto the coal bench allows to prevent caving and reduce coal ash content.

Keywords: bench, strength, bearing capability, noncantilevered support, additional powered support

1. ВВЕДЕНИЕ

С уходом очистных работ на большие глубины горно-геологические условия выемки угольных пластов ухудшаются, появляется большое число пластов с неустойчивыми кровлями. Только в Донбассе насчитывается 116 угольных пластов пологого падения с неустойчивыми слоями кровли. Кровли представлены слабоустойчивыми глинистыми и песчано-глинистыми

сланцами. При этом основные запасы сосредоточены на пластах малой мощности, а мощность непосредственной кровли в большинстве составляет 0.2 – 0.4 м.

К настоящему времени практически отсутствуют результаты исследований влияния техногенных факторов на геомеханические процессы, которые происходят впереди очистного забоя и вокруг него (Busylo, Savelieva, Serdyuk, Koshka & Morozova, 2015).

Сложная гипсометрия пластов Западного Донбасса, наличие ложной непосредственной кровли, способной обрушаться вслед за проходом исполнительного органа комбайна, большого числа мелких нарушений, воды и крепкого угля создают основные трудности при выемке угольных пластов. В связи с этим имеют место продолжительные простои лав, их завалы, травматизм рабочих и т.д. Вывалы и обрушения пород в рабочее пространство лав имеют место на большинстве шахт Донбасса. Особенно их много в лавах, оснащенных механизированными комплексами (Koshka, Yavorsky & Malashkevych, 2014).

Зачастую для перехода зон вывалов используют способ подхвата необрушенных пород клетями, водимыми над перекрытием крепи у забоя. Такие работы трудоемки и опасны. Исследователями ДонУГИ установлено, что наибольшее число случаев травматизма происходит в призабойных частях лав (Namakshanskiy & Kotlov, 1979).

Опыт отработки пластов с неустойчивыми кровлями, например, на шахтах Западного Донбасса показывает, что механизированных крепей, надежно работающих в лавах с неустойчивыми боковыми породами, пока нет, а применяемые крепи очистных комплексов КД80, КД90, КМ 103, ДМ и другие не полностью отвечают требованиям сложных горно-геологических условий.

Начиная с 1972 года НГУ (ДГИ) совместно с ДоУГИ проводили систематические исследования проявлений горного давления в лавах, оборудованных различными средствами добычи угля (Kiyashko, Ovchinnikov & Popomariov, 1976). На основании этих исследований был сделан вывод о том, что наибольшее количество и объем вывалов имеют место в призабойной части лавы, где современные механизированные крепи не обеспечивают надежного поддержания кровли (Busylo, Serdyuk & Yavorsky, 2010).

В работе проведены исследования по использованию дополнительной силовой опоры механизированных крепей у забоя на уступ, образованного в пласте исполнительным органом очистного комбайна, что позволит повысить эффективность добычи угля.

Для предотвращения вывалов было предложено ликвидировать бесстоечное пространство у забоя путем установки дополнительной силовой опоры: либо на уступ, образованный исполнительным органом комбайна, либо на почву у забоя. Это позволит исключить появление растягивающих напряжений в призабойной части кровли и, как следствие, ликвидировать вывалообразование. При условии не превышения предельно допустимых напряжений для угля под опорами силовых механизмов крепи, расположенными посредине уступов, последние могут использоваться в качестве несущего элемента для механизированной крепи.

Для формулирования граничных условий использования уступов в качестве несущих элементов и дополнения результатов аналитических исследований и их проверки, были проведены натурные исследования несущей способности и характера разрушения уступов пологих угольных пластов. В результате чего определена основная область применения бесконсольных механизированных крепей, не имеющих бесстоечного пространства лав.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Несущую способность и характер угольных уступов ($f_{\text{угля}} \approx 1.5$) сложного строения, включающих прослойки более слабых пород в нижней и средней частях уступов, изучали на пластах k_4^1 шахты Октябрьская ПО “Макеевуголь”, l_3 шахты Никанор ПО “Луганскуголь”, l_8 шахты им. Д.С. Коротченко ПО “Селидовуголь” и h_{10} шахты Кировская ПО “Донецкуголь”. Характер разрушения этих уступов под пригрузкой штампов во многом был сходным. Поэтому более подробно разрушение этих уступов рассмотрено на примерах разрушения наиболее характерных уступов упомянутых пластов k_4^1 и h_{10} .

Разрушение уступа высотой 0.55 м производили давилной установкой посредством квадратного штампа 25×25 см. Штмп устанавливали на расстоянии 0.3 м до его оси от кромки уступа. Под нагрузкой штамп внедрялся в угольный уступ. При усилии на штамп более 110 кН начали раскрываться под опорой экзогенные трещины. При дальнейшем увеличении нагрузки раскрытие трещин увеличивалось. Разрушение уступа произошло при внедрении штампа на глубину более 8 мм. При этом удельное давление штампа было равно 3.2 МПа. Прослойка породы была разрушена по плоскостям перемещения призмы разрушения угля под штампом и заметного влияния на характер разрушения угля в уступе не оказывал.

Разрушить изучаемые уступы других пластов с более крепким углем, с помощью штампов площадью 625 см² было невозможно из-за исчерпания силовых возможностей давилной установки (500 кН), поэтому уступы разрушали с помощью круглых штампов площадью 100 см².

Схемы разрушения уступов пластов l_3 , l_8 и h_{10} были аналогичны разрушению уступов пласта k_4^1 . Штамп, внедряясь в угольные уступы, формировали под собой ядра уплотнения из разрушенного угля, которые откалывали оставшиеся со стороны свободной поверхности нераздавленные части уступов. После разборки уступов установлено, что под штампами уголь толщиной слоя 2–6 мм разрушен до порошкообразного состояния, а в нижележащей части уступов – до мелких, размером 3–15 мм в поперечнике, призматических отдельностей.

На шахте Терновская ПАО “ДТЭК Павлоградуголь” в 506 и 509 лавах пласта C_5 простого строения с прочным углем изучали характер разрушения уступов как простого, так и сложного строения, то есть с присечкой слабых пород почвы. Коэффициент крепости угля по М.М. Протодьяконову по данным шахты $f = 3.5$. Прочность угля в образце 31.7 МПа.

В 506 лаве разрушали уступ штампом площадью 100 см². Схема уступа с нанесением как направлений экзогенных трещин, разгрузочных щелей и расположения давилной установки, так и трещин разрушения уступа приведена на Рисунке 1.

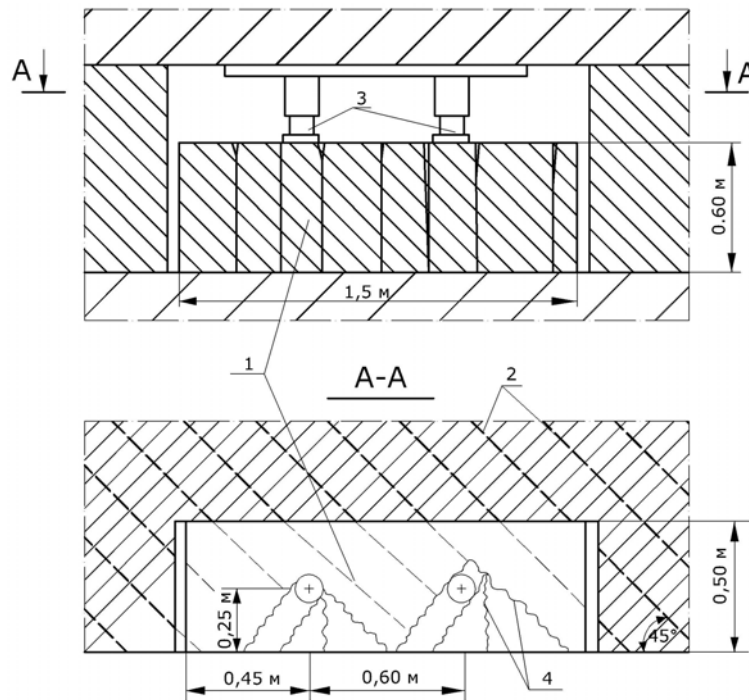


Рисунок 1. Схема расположения стоек давяльной установки и образования трещин в уступах пл. C_5 при их разрушении: 1 – уступ; 2 – экзогенные трещины; 3 – давяльные стойки; 4 – раскрытые трещины

Пласт C_5 разбит двумя системами тонких взаимно перпендикулярных экзогенных трещин, проходящих на расстоянии 120 – 150 мм друг от друга. Углы $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 85^\circ$. Одно из направлений кливажа выражено более ярко. Трещины заполнены кальцитом толщиной до 1 мм.

Штамп площадью 100 см² под пригрузкой внедряли в угольный уступ. При вдавливании штампа с усилием в 200 кН было зафиксировано потрескивание уступа и начало раскрытия экзогенных трещин. При этом давление штампа составляло 20 МПа. При усилии на штамп в 420 кН и его давлении в 42 МПа штамп внедрялся в уступ, разрушая его. После образования трещин в угле несущая способность уступа снизилась до 350 кН. На этом уровне несущая способность уступа сохранялась в течение 2 часов (период наблюдений был ограничен работами в лаве). Дальнейшее разрушение уступа происходило при повторном увеличении нагрузки на штамп. При критической нагрузке на штамп в 420 кН, кроме раскрытых экзогенных трещин, в угольном уступе начали образовываться трещины разлома. Эти трещины были хорошо заметны и развивались они в направлении от опорной поверхности штампа по нормали к плоскостям экзогенных трещин и вертикальной поверхности уступа (Рис. 1).

После снятия давяльной установки с уступа и его разборки было установлено, что уголь непосредственно под опорой разрушен до порошкообразного состояния и уплотнен на глубину до 7 мм. Глубже, до 45 – 60 мм уголь разрушен до призматических отдельных размеров менее 3 – 5 мм. На большей глубине под штампом разрушение угля в уступе происходило в объеме, ограниченном плоскостями экзогенных трещин. Размеры отдельных увеличива-

лись к основанию уступа. Таким образом, только часть уступа, на которую воздействовали гидростойки давяльной установки, была разрушена.

Аналогичный характер разрушения уступов ($f_{\text{угля}} > 2$) наблюдался и при исследовании несущей способности уступов угольных пластов простого строения C_6^H шахты Терновская, C_8 шахты Благодатная ПАО “ДТЭК Павлоградуголь” в случаях присечки незначительной (менее 0.15 м) слабой почвы, которая не оказывала существенного влияния на характер разрушения угля в уступах. При этом отмечалось частичное вдавливание, отделившейся по плоскостям экзогенных трещин ($l > 0.1$ м) от массива уступа призмы угля под штампом в слабые породы почвы.

Характер разрушения уступов, включающих уголь с коэффициентом крепости $f > 2$ и более слабые $f < 2$, породы почвы мощностью более 0.15 м изучали на уступах пластов C_4^H в 319 лаве и C_5 в 509 лаве шахты Терновская.

Уголь пласта C_4^H по данным шахты имеет коэффициент крепости по М.М. Протодяконову равный 3. Вынимаемая мощность пласта 1.15 м угол падения 0 – 3°. Марка угля “Г”. Уголь каменный, полублестящий, дюрено-клареновый, по наслоению с примазками фюзена, с тонкими полосками витрена, излом неровный, отдельность параллелепипедальная. Контакты с вмещающими породами четкие, сцепление слабое. Прочность угля в образце 31.4 МПа. Пласт имеет простое строение. Разделен двумя системами тонких взаимно перпендикулярных экзогенных трещин. Трещины находились на расстоянии 11 – 14 см, углы $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 85^\circ$.

Разрушение уступа высотой 0.72 м, из них 0.18 м – породы почвы ($f_{II} = 2$) производили давилной установкой посредством воздействия круглого штампа площадью 100 см², устанавливаемого на расстоянии 0.3 м от кромки уступа. При усилии на штамп около 130 кН началось раскрытие экзогенных трещин. При дальнейшем увеличении нагрузки раскрытие трещин увеличивалось. Разрушение уступа происходило при внедрении штампа на глубину около 4.5 мм с усилием около 142 кН. Удельные разрушающие усилия составили 14.2 МПа. Характер разрушения угольной части уступа аналогичен, как и для пласта C_5 в 506 лаве (Рис. 1). Но, кроме того, отмечалось выдавливание породой более слабой части уступа в сторону его свободной боковой поверхности.

Исследование параметров уступов и их прочностных характеристик показали, что прочность угля в уступе равна и даже в некоторых случаях больше прочности этого угля в образце. Это не соответствует известным выводам о том, что прочность угля в массиве меньше его прочности в образце (Chirkov, 1969; Radchenko, 1980).

На Рисунках 2 и 3 показаны графики внедрения штампов в изучаемые уступы пластов. Приведенные графики частично сходны по форме с известной типичной кривой: напряжение-деформация, полученной при исследовании трещиновато-пористых массивов (Rats & Chernyshov, 1975; Ruppeneit, 1975). При этом соотношение между нагрузками на штампы и глубиной их внедрения в уступы, до разрушения последних, нелинейные. Начальные, вогнутые вверх области кривых, связанные с обжатием угольных уступов и смятием угля на контакте со штампами, практически одинаковы при изучении всех уступов (Kiyashko, Kharchenko, Ovchinnikov & Serdiuk, 1979). Но на уступах пластов (k_4^1, h_{10}, l_8) со слабыми углями эти области кривых вблизи разрушения уступов выражены менее ярко, чем на пластах с более крепкими углями.

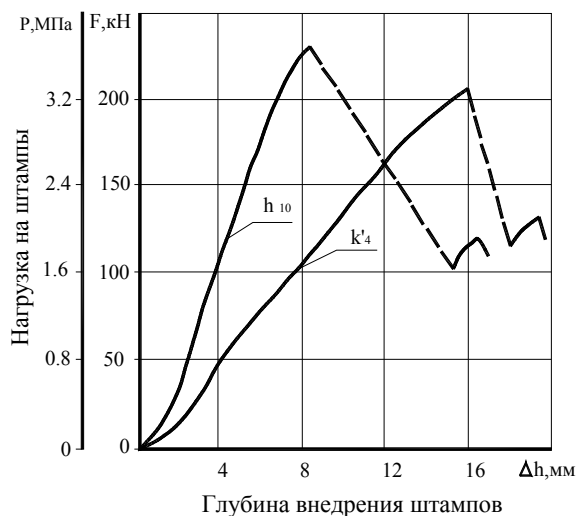


Рисунок 2. Графики внедрения штампов в угольные уступы пластов k_4^1 и h_{10} в зависимости от действующих нагрузок

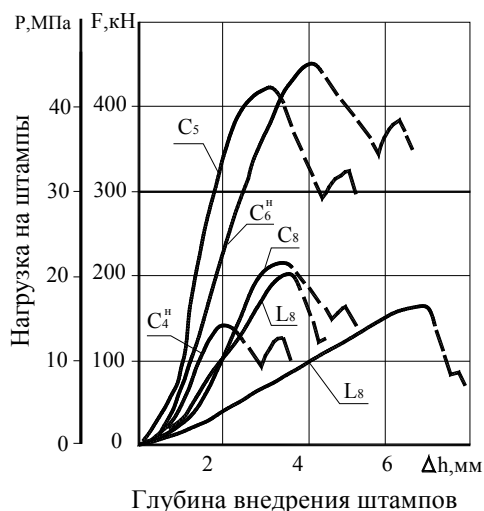


Рисунок 3. Графики внедрения штампов в угольные уступы пластов $C_4^H, C_5, C_6^H, C_8, l_3$ и l_8 в зависимости от действующих нагрузок

Из анализа кривых также следует, что предельные величины (≈ 4 мм) внедрений штампов в уступы с прочным углем ($f > 1.5$) значительно меньше величины (3 – 16 мм) максимальных внедрений штампов в уступы с менее прочным углем.

Кроме того, из приведенных графиков следует, что во всех случаях при достижении предельных нагрузок на штамп угольные уступы начинали разрушаться с общей разгрузкой системы и штампы продолжали внедряться в уступы на большую глубину.

Затем несущая способность уступов снова возрастала до новых критических значений, которые составляли в пределах 50 – 80% своих первичных предельных нагрузок. Это соответствует известным выводам о том, что разрушенные горные породы способны сохранять значительную несущую способность (Zakutskii, 1962).

Также необходимо отметить, что во всех случаях разрушения изучаемых уступов с углем коэффициента крепости $f > 2$ и расстоянием между экзогенными трещинами более 10 см после обжатия угольных уступов, при нагрузках на штампы в пределах 100 – 200 кН, отмечалось потрескивание уступов, свидетельствующее о начале раскрытия экзогенных трещин. Но и после их раскрытия уступы сохраняли свою несущую способность.

В 509 лаве пл. C_5 шахты Терновская, кроме изучения прочностных характеристик уступов и их характеров разрушения были выполнены исследования влияния места установки штампов на несущую способность угольных уступов сложного строения и характеров их разрушения. Исследования выполнялись при выемке пласта C_5 почвоуступной формой забоя.

Пласт C_5 в лаве 509 разделен экзогенными трещинами, проходящими через 120 – 160 мм и имеющих углы $\alpha = 30^\circ, \beta = 85^\circ$ и более мелкой сетью эндогенных трещин. Разрушение уступа высотой 0.75 м, в том числе 0.22 м породы почвы

$[\sigma_{сж}] = 11.5 \text{ МПа}$, производили давилльной установкой посредством круглого штампа площадью 100 см^2 и квадратного штампа площадью 625 см^2 . Штампы устанавливали на различных расстояниях от кромки уступа.

Графики внедрения штампов площадью 100 см^2 , устанавливаемых на разных расстояниях от кромки в угольные уступы, в зависимости от действующих нагрузок, приведены на Рисунке 4.

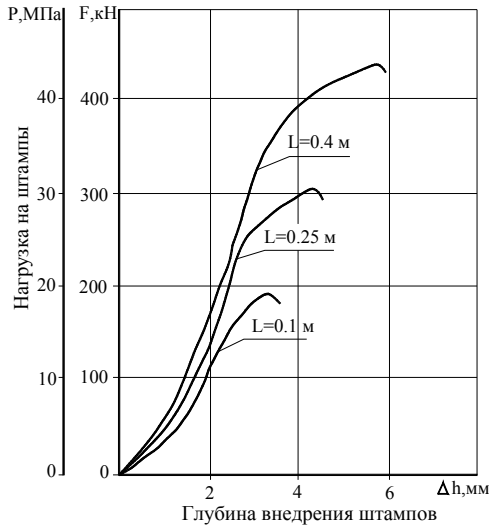


Рисунок 4. Графики внедрения штампов площадью 100 см^2 , устанавливаемых на различных расстояниях от кромки, в угольные уступы (пл. S_3) в зависимости от действующих нагрузок

Как видно из графиков, разрушение уступов при воздействии круглого штампа площадью 100 см^2 на расстоянии 0.1 м от кромки уступа происходило при нагрузке около 200 кН , что соответствовало давлению около 20 МПа . При этом уголь после раскрытия экзогенных трещин, не разрушаясь под опорой, разрушал породу почвы, которая выдавливалась в сто-

рону обнажения. Схема разрушения таких уступов показана на Рисунке 5а.

При воздействии с усилием более 300 кН круглого штампа площадью 100 см^2 на расстоянии 0.4 м от кромки уступов происходило разрушение уступов под штампом. При вдавливании штампа уголь после раскрытия экзогенных трещин также как и при воздействии штампа на расстоянии 0.1 м от кромки, не разрушаясь под опорой, внедрялся в породу почвы, разрушая ее. При этом уголь в уступе по плоскости контакта с породой сдвигался в сторону выработанного пространства (Рис. 5б).

При разрушении уступа с помощью квадратного штампа площадью 625 см^2 ($25 \times 25 \text{ см}$), устанавливаемого также на расстоянии 0.4 м от кромки уступа, разрушение уступа под штампом происходило при нагрузках около 400 кН . При этом уголь после раскрытия экзогенных трещин, разрушая породу почвы под штампом, с внутренней стороны уступа, выдавливал породу в сторону выработанного пространства. В результате этого с внешней стороны уступов между углем и породой, и в нижней породной части уступа, образовывались и раскрывались трещины до 40 мм . Таким образом, происходило как бы опрокидывание неразрушенной части уступа. Схема разрушения такого уступа показана на Рисунке 5в.

После снятия давилльной установки с уступов и их разборки установлено, что уголь непосредственно под опорой разрушен до порошкообразного состояния на глубину $3 - 5 \text{ мм}$ и уплотнен. В остальной части уступов под опорой разрушение угля в уступах происходило по плоскостям эндогенных трещин, увеличивая размеры отдельностей угля к основанию уступа. Порода в уступах под штампом была разрушена и выдавливалась в сторону обнаженной части по наклонной поверхности, имеющей в сечении форму полупараболы. Характер разрушения породы в уступах аналогичен разрушению уступов при воздействии штампов на расстоянии 0.1 м от кромки уступов (Рис. 5а).

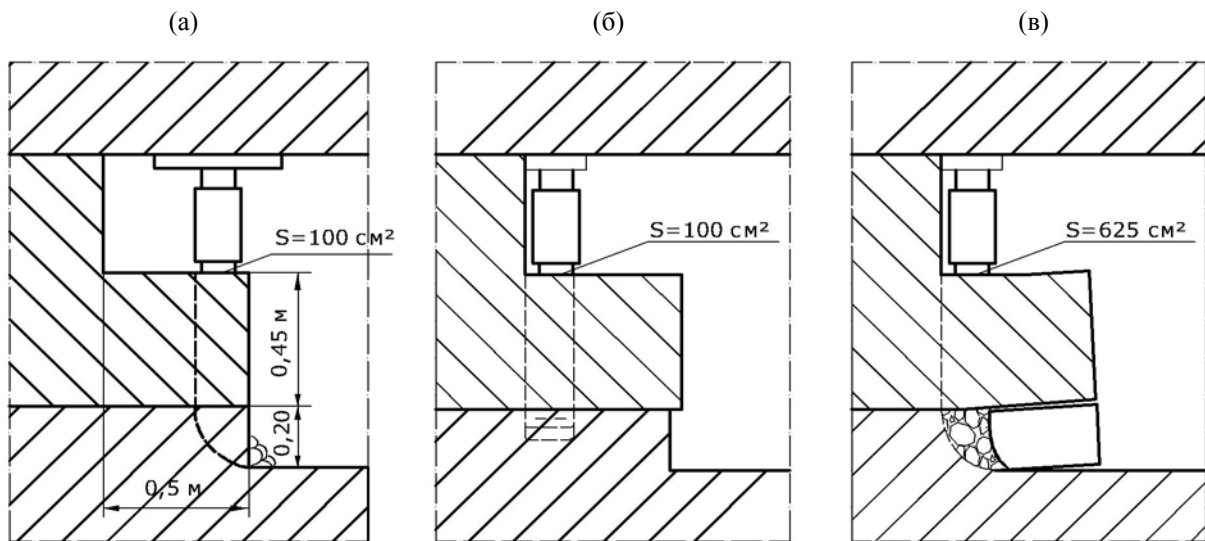


Рисунок 5. Схемы разрушения уступов с прочным углем и слабой присекаемой почвой при воздействии различной площади штампов, устанавливаемых на разных расстояниях от кромок уступов

Методом наименьших квадратов аппроксимирован разброс точек кривой зависимости несущей способности угольного уступа шириной 0.5 м пласта C_5 от расстояния установки оси штампа до кромки уступа (Рис. 6). Эта зависимость (коэффициент парной корреляции $R=0.54$) выражается кубической параболой (Рис. 6), описываемой выражением:

$$y = 0.936 + 146.318x + 638.897x^2 - 2050.641x^3, \quad (1)$$

где:

x – расстояние от оси штампа площадью 100 см^2 до кромки уступа, м.

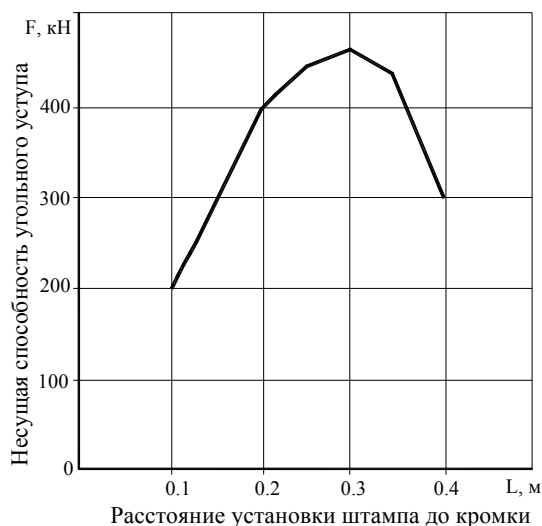


Рисунок 6. График изменения несущей способности угольного уступа шириной 0.5 м (пл. C_5) в зависимости от расстояний установки штампа до кромки уступа

Из анализа этой кривой следует, что угольные уступы шириной 0.5 м наибольшую несущую способность имеют при разрушении их с помощью давящей установки, устанавливаемой не на максимальном удалении от кромки уступа, а на расстоянии 30 см от кромки, то есть вдоль оси угольных уступов со смещением в сторону массива пласта на 10% от ширины. Это объясняется наличием на контакте между уступом и массивом пласта закрытой трещины.

Учитывая, что при устройстве опережаемого под кровлей вруба на контакте угольного уступа и массива пласта появляются трещины, отделяющие угольный уступ от пласта, правомерно утверждать, что между несущей способностью угольных уступов палогих маломощных пластов и местом установки силовых опор существует зависимость вида:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 - a_3x^3, \quad (2)$$

где:

x – расстояние от оси штампа до кромки уступа;
 a_0, a_1, a_2, a_3 – коэффициенты пропорциональности.

Таким образом, при общем анализе характера разрушения уступов примерно одинаковых размеров, при наличии в них слабых пород, и анализе графиков внедрения в них штампов, в зависимости от прилагаемой нагрузки следует, что несущая способность

уступов рассматриваемых размеров определяется в основном: прочностью угля в уступе; прочностью, толщиной и местом расположения слабого прослойка; площадью и местом установки штампа давящей установки (Ovchinnikov & Serdiuk, 1979).

Исследования несущей способности угольных уступов на восьми представительных шахтопластах и анализ прочности образцов угля этих угольных пластов показали, что корреляционная связь между несущей способностью уступа и коэффициентом крепости угольных пластов по Протоdjяконову, взятыми по горно-геологической документации шахт в диапазоне от $f=1$ до $f=3.5$, очень слабая. Учитывая, что по этим же шахтопластам получены данные о прочности угля в образцах, представилась возможность исследовать тесноту связи несущей способности уступов и прочностью угля в образцах. Аналитические исследования показали, что между рассматриваемыми параметрами существует тесная корреляционная зависимость (корреляционное отношение $R=0.82$). Уравнение, связывающее прочность уступа (y) с прочностью угля в образце (x), для условий пластов Донбасса имеет вид:

$$y = -91.3 + 2.8x - 0.011x^2 + 0.00002x^3. \quad (3)$$

Используя выражение (3), правомерно устанавливать прочность и несущую способность угольных уступов, соответственно, область возможного применения бесконечных крепей с опорой перекрытий на угольные уступы по результатам испытаний на прочность угольных образцов; так как шахтные исследования несущей способности угольных уступов исключительно трудоемки и их нецелесообразно выполнять на всех пластах, прежде всего по экономическим соображениям. Отбор и испытание образцов дают необходимые и достоверные материалы для достижения цели исследований.

В литературе кроме данных о прочности образцов угля пластов Донбасса имеются данные о зависимости прочности угольных пластов от степени метаморфизма (Sverdgevsriy & Madgunenko, 1976). Данные, полученные нами по восьми шахтопластам полностью совпадают с приведенными на Рисунке 7.

Анализ кривой (Рис. 7) свидетельствует о том, что в большинстве пластов метаморфических групп G , $ПА$ и A угольные уступы имеют прочность, установленную в натуре и по образцам, большую 15 МПа, то есть они вполне могут быть использованы для установки силовых опор с ограниченной раздвижностью. По материалам, приведенным в (Kiyashko & Serdiuk, 1982) такие пласты в Донбассе имеют широкое распространение. Следует заметить, что не по всем пластам Украины имеются данные о фактической прочности образцов угля, в том числе и отобранным нами шести производственным объединениям.

Для механизированных крепей с опорой перекрытий на угольные уступы, с помощью силовых опорных механизмов ограниченной раздвижности, область применения составит 45 шахтопластов. На этих шахтопластах находилось в работе 135 лав с приемлемыми для рассматриваемого комплекса горно-геологическими условиями.

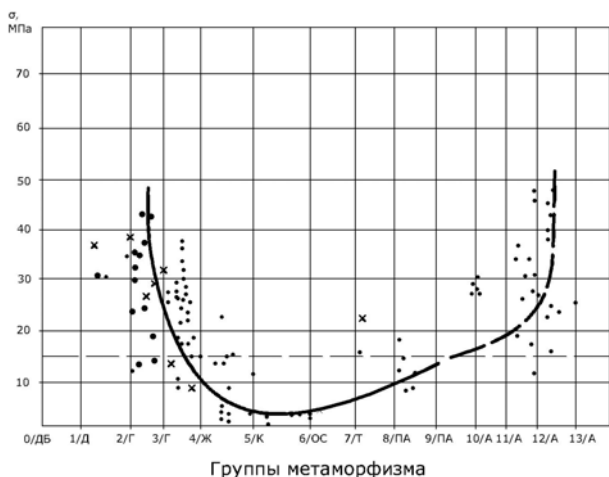


Рисунок 7. Зависимость прочности углей пологопадающих пластов от степени метаморфизма (x – по данным ДГИ)

Изучение несущей способности и характеров разрушений угольных уступов с помощью давилочной установки показало, что после критической нагрузки на угольный уступ, происходило раскрытие экзогенных трещин и частичное разрушение уступа. После чего уголь в уступе под воздействием опоры уплотнялся, и уступ продолжал воспринимать нагрузку, составляющую 40 – 93% от критической. Особенно это проявлялось на пластах с расстояниями между экзогенными трещинами более 10 см, что присуще большинству пластов Западного Донбасса. Поэтому при применении комплексов, механизированная крепь которых имеет силовые опорные механизмы с раздвижностью на всю вынимаемую мощность пласта, вопрос установления области применения по фактору несущей способности угольного уступа теряет смысл, так как силовые опоры могут устанавливаться непосредственно на разрушающийся уступ или почву у забоя.

Следовательно, область применения комплекса, крепь которого имеет опорные механизмы с раздвижностью $h = m_{пл}$, распространяется на все пласты мощностью 0.8 – 1.2 м с неустойчивой кровлей, то есть она будет не меньше чем, например, для комплексов КД80 и КД90.

Несущая способность угля в уступе определяется в основном: прочностью угля, толщиной и местом расположения слабого прослойка; площадью и местом расположения штампа давилочной установки. Из анализа математической модели прочности угольного уступа следует, что для увеличения его несущей способности необходимо выбирать пласты с большей прочностью угля в уступе и с меньшей толщиной слабого прослойка в основании уступа. Геометрические же размеры уступа (высота и ширина) в пределах рассматриваемых величин (0.4 – 0.8 м) оказывали незначительное влияние на его прочность.

Во всех случаях нагружения уступов штампами при достижении предельных нагрузок угольные уступы разрушались, а штампы продолжали внедряться в уступы при общей разгрузке системы. Затем несущая способность уступов снова возрастала до

новых критических значений, которые составляли 50 – 60% первичных предельных нагрузок.

Механизм разрушения уступов на пластах сложного строения сходен, при этом на пластах с расстоянием между экзогенными трещинами менее 10 см и коэффициентом крепости угля $f < 2$ штампы внедряясь в угольные уступы, формируют под собой ядро уплотнения из разрушенного угля, которое отделяло разрушенную часть угля от массива уступа по плоскости полупараболы в сечении уступа. В случаях нагружения уступов пластов сложного строения с расстоянием между экзогенными трещинами более 10 см и коэффициентом крепости угля $f > 2$, происходило отделение призмы неразрушенного угля под опорой по экзогенным трещинам и выдавливание породной, более слабой, части уступа в сторону свободной его боковой поверхности.

В большинстве случаев, нагружения уступов, особенно с расстояниями между плоскостями экзогенных трещин более 10 см, штампами происходило вначале раскрытие экзогенных трещин, несмотря на это, несущая способность уступов сохранялась.

3. ВЫВОДЫ

Обоснована идея установки дополнительной силовой опоры у забоя на почву или уступ, образованный в пласте исполнительным органом очистного комбайна. Для механизированных крепей с силовыми опорами, устанавливаемыми на угольные уступы, область применения составляет 135 лав применительно к горно-геологическим условиям шахт шести производственных объединений Донбасса, а для механизированных крепей с раздвижностью силовых опор в пределах мощности пласта – 206 лав.

Предел прочности угольного уступа прямо пропорционален пределу прочности угля в образце и обратно пропорционален расстоянию от места приложения нагрузки до забоя. В частности, при прочности угля в образцах более 10 МПа опоры крепи площадью более 600 см² можно устанавливать на уступ пласта в средней части уступа. Можно также устанавливать опору крепи на уступ, если в нижней (третьей по высоте) части уступа имеются менее прочные пачки угля с допускаемыми напряжениями более 5 МПа. При меньшей прочности угля опоры крепи необходимо устанавливать на почву пласта у груди забоя.

Несущую способность угольного уступа определяют величины и соотношения распределенных в ней нормальных и касательных напряжений, которые зависят от внешних нагрузок, места установки силовых опор и размеров уступа. В частности, при нагружении у кромки уступа шириной 0.5 м, высотой 0.8 м, штампом с удельным давлением 20 МПа с противоположной стороны уступа, в его основании, появляются опасные растягивающие напряжения величиной 4.5 МПа, которые уменьшаются до 3.3 МПа при увеличении ширины уступа до 0.8 м.

Опережающий вруб под кровлей пласта уменьшает сопротивляемость резанию угольного уступа и способствует разрушению уступа на крупные части, что можно эффективно использовать для снижения: энергоем-

кости добычи и выхода мелких фракций угля. В частности, при отработке пласта C_5 с опережающим врубом на шахте Терновская энергоёмкость выемки и погрузки угля уменьшена на 1.044 кДж/т (0.29 кВт·ч/т), а выход крупных классов угля увеличен в три раза.

Установка на угольные уступы силовых элементов бесконсольных крепей уменьшает скорость вертикальных перемещений, как самих уступов, так и блоков кровли над ними. В частности, в условиях пласта C_5 шахты Терновская скорости перемещений уступов и блоков кровли над ними были уменьшены в 4 – 10 раз, что предотвратило образование вывалов и снизило зольность угля.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы работы выражают благодарность лауреату Государственной премии Украины в области науки и техники, директору шахты Павлоградская ПАО “ДТЭК Павлоградуголь” А.П. Демченку и директору шахты Западно-Донбасская, канд. техн. наук В.Г. Снигуру за поддержку в проведении исследований по данной тематике.

REFERENCES

- Busylo, V., Serdyuk, V., & Yavorsky, A. (2010). Research of influence of support resistance of the stope in the immediate roof condition. *New Techniques and Technologies in Mining*, 127-130.
<http://dx.doi.org/10.1201/b11329-21>
- Busylo, V., Savelieva, T., Serdyuk, V., Koshka, A., & Morozova, T. (2015). Substantiating parameters of process design of contiguous seam mining in the Western Donbas mines. *Theoretical and practical solutions of mineral resources mining*, 17-25.
<http://dx.doi.org/10.1201/b19901-5>

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Обоснование использования дополнительной силовой опоры механизированных крепей у забоя на уступ, образованного в пласте исполнительным органом очистного комбайна, что позволяет повысить эффективность добычи угля.

Методика. Проведены шахтные исследования несущей способности и характера разрушения уступов по восьми угольным пластам шахт Западного Донбасса. Аналитическими методами установлены зависимости несущей способностью угольных уступов пологих маломощных пластов от места установки силовых опор, установлена корреляционная зависимость связывающая прочность уступа с прочностью угля в образце.

Результаты. Исследования показали, что несущая способность угля в уступе определяется в основном: прочностью угля, толщиной и местом расположения слабого прослойка, площадью и местом расположения штампа давящей установки. Установлены зависимости между несущей способностью угольного уступа от расстояния установки оси штампа давящей установки до кромки уступа. Показано, что предел прочности угольного уступа прямо пропорционален пределу прочности угля в образце и обратно пропорционален расстоянию от места приложения нагрузки до забоя. Эти исследования позволяют определять место расположения опоры крепи в зависимости от прочности угля в образцах. Опережающий вруб под кровлей пласта уменьшает сопротивляемость резанию угольного уступа и способствует разрушению уступа на крупные части. Установка на угольные уступы силовых элементов бесконсольных крепей уменьшает скорость вертикальных перемещений, как самих уступов, так и блоков кровли над ними.

Научная новизна. При применении комплексов, механизированная крепь которых имеет силовые опорные механизмы с раздвижностью на всю вынимаемую мощность пласта, дополнительные силовые опоры могут устанавливаться непосредственно на разрушающийся уступ у забоя, что предотвратит образование вывалов и снизит зольность угля.

- Chirkov, S.V. (1969). *Influence of scale factor on coal hardness*. Moskva: Nedra.
- Kiyashko, I.A., Kharchenko, V.V., Ovchinnikov, N.P., & Serdiuk, V.P. (1979). Study of bearing capability of coal seam selvedge. *Mining of mineral deposits*, (54), 58-61.
- Kiyashko, I.A., Ovchinnikov, N.P., & Ponomariov, E.M. (1976). On some mechanism of rock pressure manifestation within production faces in Western Donbas mines. *Ugol' Ukrainy*, (5), 14-16.
- Kiyashko, I.A., & Serdiuk, V.P. (1982). Substantiation of the field of application of “Western Donbas” complex for production face of prospective mine. *Paper abstracts of Higher Educational Institutions scientific conference with the participation of research institutions* (pp. 60-69). Moskva: MGU.
- Koshka, O., Yavorsky, A., & Malashkevych, D. (2014). Evaluation of surface subsidence during mining thin and very thin coal seams. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 229-233.
<http://dx.doi.org/10.1201/b17547-41>
- Namakhtanskiy, B.Ya., & Kotlov, E.S. (1979). *Labour safety within fully-mechanized faces*. Moskva: Nedra.
- Ovchinnikov, N.P., & Serdiuk, V.P. (1979). Thin flat seam selvedge as a support for roof support canopy. *Abstracts of papers of the 1st All-Union Scientific Conference of Young Scientists and Specialists of Mining Industry* (pp.266-271). Moskva: Izdatel'skiy dom pri institute imeni A.A. Skochinskogo.
- Rats, M.V., & Chernyshov, S.N. (1975). *Jointing and properties of fissured rocks*. Moscow: Nedra.
- Radchenko, L.M. (1980). On the scale factor of coal hardness. *Mining of Mineral Deposits in Siberia and Northeast*, 39-47.
- Ruppeneit, K.D. (1975). *Deformation of fractured rock mass*. Moskva: Nedra.
- Sverdgevriy, V.L., & Madgunenko, L.A. (1976). Change of carbon physical and mechanical properties due to catagenetic transformations. *Ugol' Ukrainy*, (51), 49-54.
- Zakutskii, I.A. (1962). Brief review of study results of rock resistivity to support pressing and papers concerning the theory of dies. *Physical and mechanical properties, pressure and rock failure*, 83-86.

Практическая значимость. Проведенные исследования показали, что выбор области применения бесконсольных крепей с опорой перекрытий на угольные уступы возможно проводить по результатам испытаний на прочность угольных образцов, так как шахтные исследования несущей способности угольных уступов трудоемки. Выполнение опережающего вруба под кровлей пласта позволит снизить энергоемкость добычи и выхода мелких фракций угля. Установка на угольные уступы силовых элементов бесконсольных крепей позволяет предотвратить образование вывалов и снизить зольность угля.

Ключевые слова: уступ, прочность, несущая способность, бесконсольная крепь, дополнительная силовая опора

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Обґрунтування використання додаткової силової опори механізованого кріплення у забою на уступ, утвореного в пласті виконавчим органом очисного комбайна, що дозволяє підвищити ефективність видобутку вугілля.

Методика. Проведено шахтні дослідження несучої здатності і характеру руйнування уступів по восьми вугільних пластах шахт Західного Донбасу. Аналітичними методами встановлені залежності несучою здатністю вугільних уступів пологих тонких пластів від місця установки силових опор, встановлено кореляційна залежність яка зв'язує міцність уступу з міцністю вугілля в зразку.

Результати. Дослідження показали, що несуча здатність вугілля в уступі визначається в основному: міцністю вугілля, товщиною і місцем розташування слабкого прошарку, площею та місцем розташування штампа давильної установки. Встановлено залежності між несучою здатністю вугільного уступу від відстані установки осі штампа давильної установки до кромки уступу. Показано, що межа міцності вугільного уступу прямо пропорційний межі міцності вугілля в зразку і обернено-пропорціональний відстані від місця прикладання навантаження до забою. Ці дослідження дозволяють визначати місце розташування опори кріплення в залежності від міцності вугілля в зразках. Випереджаючий вруб під покрівлю пласта зменшує опірність різанню вугільного уступу і сприяє руйнуванню уступу на великі частини. Установка на вугільні уступи силових елементів бесконсольних кріплень зменшує швидкість вертикальних переміщень, як самих уступів, так і блоків покрівлі над ними.

Наукова новизна. При застосуванні комплексів, механізоване кріплення яких має силові опорні механізми з розсувними на всю потужність пласта, що виймається, додаткові силові опори можуть встановлюватися безпосередньо на уступ у забою, який руйнується, що запобігає утворенню вивалів і знизить зольність вугілля.

Практична значимість. Проведені дослідження показали, що вибір області застосування бесконсольних кріплень з опорою перекрыттів на вугільні уступи можливо проводити за результатами випробувань на міцність вугільних зразків, так як шахтні дослідження несучої здатності вугільних уступів трудомісткі. Виконання випереджаючого врубу під покрівлю пласта дозволить знизити енергоємність видобутку і виходу дрібних фракцій вугілля. Установка на вугільні уступи силових елементів бесконсольних кріплень дозволяє запобігти утворенню вивалів і знизити зольність вугілля.

Ключові слова: уступ, міцність, несуча здатність, бесконсольні кріплення, додаткова силова опора

ARTICLE INFO

Received: 6 February 2016

Accepted: 31 March 2016

Available online: 30 June 2016

ABOUT AUTHORS

Volodymyr Busylo, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 1/35, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: BuziloV@nmu.org.ua

Tamara Savelieva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Basic Design of Mechanisms and Machinery Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 1/125, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: savelievats@gmail.com

Volodymyr Serdyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Underground Mining Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 4/58, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: serdyuk@gmail.com