

УДК 622.23:622.28.042:539.3

Смеречанский С.С., магистр
(ГП «Львовуголь»)

Курносков С.А., д-р техн. наук, ст. научн. сотр.,

Опрышко Ю.С., магистр
(ИГТМ НАН Украины)

Цикра А.А., канд. техн. наук
(ООО «Минова Украина»)

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОХРАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В
ПРОЦЕССЕ ВЕДЕНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ**

Смеречанський С.С., магістр
(ДП «Львіввугілля»)

Курносков С.А., д-р техн. наук, ст. наук. співроб.,

Опришко Ю.С., магістр
(ІГТМ НАН України)

Цікра О.А., канд. техн. наук
(ТОВ «Мінова Україна»)

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ЗМІНИ НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОХОРОННИХ КОНСТРУКЦІЙ В ПРОЦЕСІ
ВЕДЕННЯ ОЧИСНИХ РОБІТ**

Smerechanskiy S.S., M.S (Tech.)
«Lvovugol» SOE

Kurnosov S.A., D.Sc. (Tech.), Senior Researcher,

Opryshko Yu.S., M.S (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

Tsikra A.A., Ph. D. (Tech.)
«Minova Ukraine» LTD

**STUDY OF MECHANISM OF SUPPORTING STRUCTURE STRESS-
STRAIN STATE CHANGING IN THE PROCESS OF WINNING
OPERATIONS**

Аннотация. Предметом исследований являлись закономерности изменения напряженно-деформированного состояния различных типов охранных конструкций в процессе ведения очистных работ, а также влияние параметров данных конструкций на смещения контура выемочного штрека и деформирование вмещающих пород. Методика исследований включала определение характера перераспределения напряжений по ширине охранной полосы, а также измерения ее относительной вертикальной деформации, глубины и степени расслоения пород кровли и пучения почвы. Обоснованы рациональные геометрические, прочностные и деформационные параметры охранной конструкции. Рекомендована наиболее эффективная (с технологической и экономической точек зрения) схема охраны выемочного штрека, включающая бетонную пакетированную полосу, стойки органной крепи и систему анкерного крепления кровли и почвы обрабатываемого угольного пласта.

Ключевые слова: охрана выемочных штреков, напряженно-деформированное состояние охранных конструкций, деформирование контура штрека и вмещающих пород.

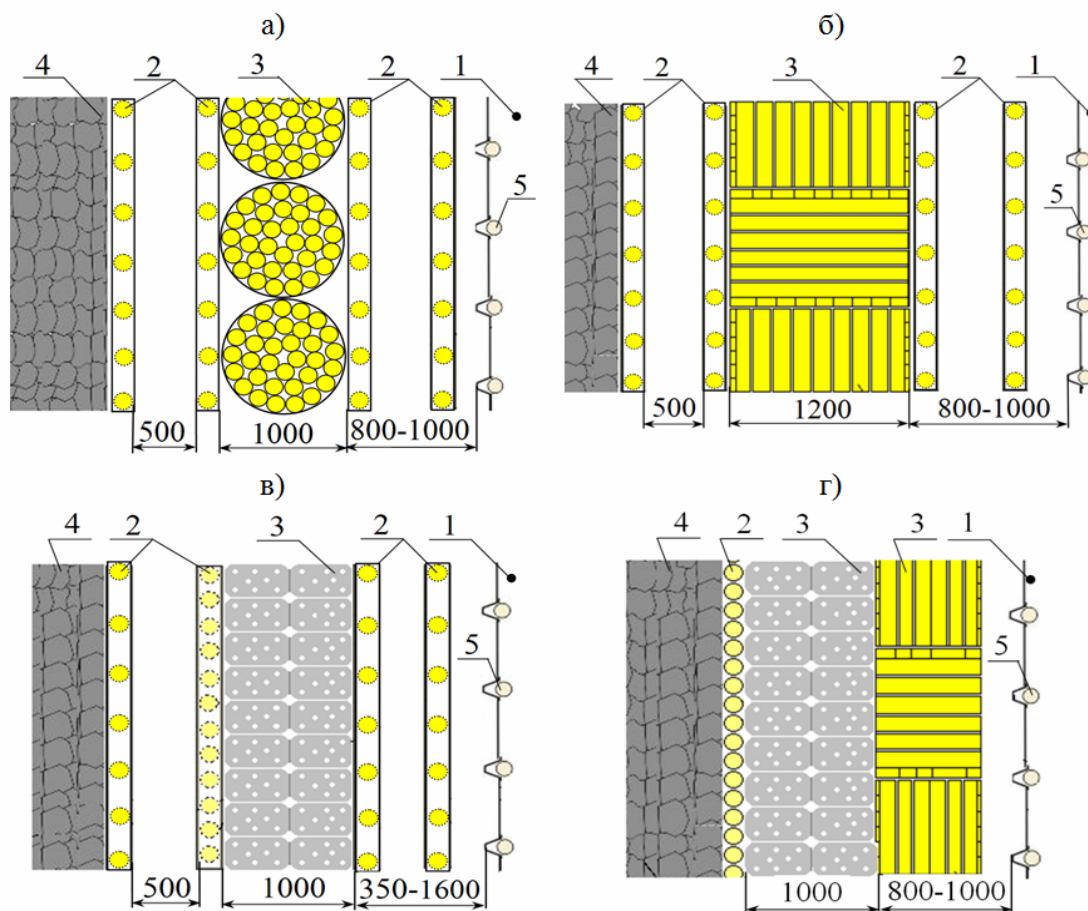
Обеспечение устойчивости горных выработок является одной из основных задач угледобывающих шахт. В наиболее сложных горно-технологических условиях находятся выемочные штреки, так как они подвержены непосредственному влиянию очистных работ. При системе разработки, предусматривающей опережение проходки штрека относительно забоя лавы, вмещающий массив и крепь штрека испытывают изменяющиеся во времени динамические и статические нагрузки [1]. Это обусловлено чередованием следующих зон влияния очистных работ: динамического опорного давления впереди лавы; разгрузки на уровне окна лавы; стационарного опорного давления от зависания консоли подработанных пород; разгрузки при обрушении данной консоли; пригрузки возрастающей с различной интенсивностью нагрузки в зоне стабилизации горного давления. Самые значительные деформации породного массива и крепи выработки происходят в зонах позади линии забоя лавы. В таких условиях необходим грамотный расчет паспорта крепи, а в случае повторного использования штрека, требования к его устойчивости существенно повышаются. Важным элементом в системе поддержания выемочного штрека за очистным забоем является способ его охраны, т.е. геометрические, прочностные и деформационные параметры охранной полосы [2, 3].

Целью исследований является установление влияния прочностных и деформационных параметров околоштрековых охранных конструкций на механизм изменения их напряженно-деформированного состояния в процессе ведения очистных работ.

Экспериментальные исследования проведены в условиях 562-го конвейерного штрека при отработке пласта n_8^e шахтой «Червоноградская ГП «Львовуголь». Конвейерный штрек пройден по почве отрабатываемого пласта на глубине 500 м, угол падения пласта – $2-3^0$, геологическая мощность – 1,05-1,35 м, крепость угля $f=1,5$. Выработка крепилась арочной крепью АКП-3/11,2 (профиль СВП 22), интервал между рамами – 0,5 м. Непосредственная кровля угольного пласта – аргиллиты мощностью 0,5-1,0 м, $f=3-5$, количество трещин – до 5 шт./п.м. Выше залегает пачка алевролитов мощностью 2-4 м, $f=5-6$. Основная кровля – песчаник мощностью 8-14 м, $f=6-7$. По классификации ДонУГИ кровля относится к легко- и среднеобрушаемой – А1-А2. Почва по категории устойчивости относится к малоустойчивой и устойчивой – П2-П3.

Для получения информации о состоянии штрека и вмещающих его пород, осуществлен комплекс измерений параметров, определяющих устойчивость выработки. К данным параметрам относятся напряженно-деформированное состояние охранных конструкций и вмещающего породного массива, деформация крепи, а также конвергенция кровли-почвы и боков выработки. Мониторинг состояния крепи и прилегающего массива осуществлен на этапах проведения конвейерного штрека и всего последующего периода его

эксплуатации с учетом места положения очистного забоя. Замерные станции (ЗС) были размещены на участках штрека с различными конструкциями охранных сооружений и параметрами схем их размещения (рис. 1).



а – полоса из кустокоствы; б – полоса из накатных коствы; в – бетонная пакетированная полоса; г – пакетированная и накатная полосы; 1 – охраняемый штрек; 2 – ряды стоек Ø 170-180 мм, установленных под брус; 3 – охранный полоса; 4 – выработанное пространство лавы; 5 – стойки Ø 180-200 мм, установленные под замок рамной крепи

Рисунок 1 – Исследуемые схемы охраны штрека

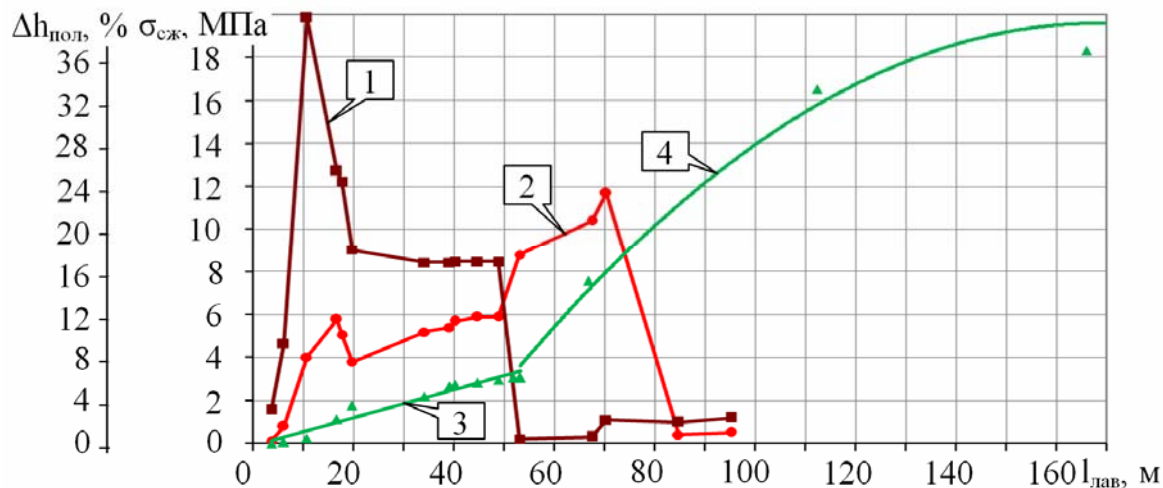
Каждая ЗС включала следующий комплекс измерительного оборудования.

Для исследования глубины и степени расслоения подработанных пород кровли применялись глубинные индикаторы перемещения горных пород (ИППГ) конструкции ИГТМ НАНУ. Каждая станция включала по три ИППГ, установленных в скважины длиной не менее 6,0 м и содержащих не менее 6-ти якорей, зафиксированных по глубине измерительной скважины с интервалом 1 м, что позволило определять расслоения пород кровли на различном удалении от контура выработки. Направления скважин выбраны с таким расчетом, чтобы измерения охватывали кровлю штрека, кровлю угольного пласта над прилегающим целиком и над сопряжением с обрабатываемой лавой. Причем наклон скважин с ИППГ над сопряжением с лавой составлял порядка 50° к горизонту, что позволило фиксировать расслоения пород подработанной

кровли над охранной полосой и над прилегающим к ней со стороны выработанного пространства незакрепленным участком.

С целью определения изменения напряжений сжатия в охранных полосах в процессе подвигания лавы, в них были установлены измерители нагрузки. Данные приборы представляют собой металлические емкости, наполненные маслом и оборудованные высоконапорным шлангом с манометром. Для установления характера распределения напряжений по ширине полосы, замеры осуществлялись на различном удалении от контура штрека. Относительная вертикальная деформация полос определялась по установленным в них реперам. Также контролировалась динамика изменения площади поперечного сечения штрека.

Характер перераспределения напряжений в охранный полосе из кустокостров (КК) (см. рис. 1, а) и ее деформирования в процессе удаления очистного забоя представлен на рис. 2. В начальный период (до 10 м за забоем лавы) КК создает жесткий отпор опусканию подработанной кровли. Затем, при напряжениях порядка 20 МПа, происходит последовательное разрушение стоек – сначала со стороны выработанного пространства (кривая 1), а затем ближних к штреку рядов (кривая 2). Уцелевшие стойки ближнего к штреку ряда вдавливались в породы почвы на глубину до 400 мм. Вследствие всего этого, на расстоянии 20 м за лавой сопротивление КК нагрузкам снижалось, в среднем, в 2 раза, а на расстоянии 80-100 м – полоса из кустокостров окончательно теряла несущую способность.



1 – напряжения в дальнем от штрека крае полосы; 2 – напряжения в ближнем к штреку крае полосы; 3 – относительные вертикальные деформации полосы

Рисунок 2 – Изменение напряженно-деформированного состояния полосы из кустокостров в процессе ведения очистных работ

В результате, в интервале 4-50 м за очистным забоем относительная вертикальная деформация КК возрастала по линейной зависимости (1) от 0 до 5 %, а в интервале 50-170 м – интенсифицировалась по параболической зависимости (2) и приближалась к 40 % (кривые 3, 4):

$$\Delta h_{пол} = 0,065 \cdot l_{лаб} - 0,11, \quad R^2 = 0,95; \quad (1)$$

$$\Delta h_{пол} = 0,001 \cdot l_{лаб}^2 + 0,04 \cdot l_{лаб} - 14,5, \quad R^2 = 0,99. \quad (2)$$

Причиной таких существенных деформаций полосы из КК является неспособность ее отдельных стоек работать как единая система. Обвязка кустокостров стальными канатами также не дала положительных результатов.

Полосу накатных костров (НК) (см. рис. 1, б) выкладывали сплошную, из кругляка сосны Ø 130 мм. Предел прочности сосны на сжатие поперек волокон (смятие) при влажности 15 % составляет всего 1,8-3,4 МПа. Кроме того, НК из кругляка имеет высокий коэффициент пустотности. При раздавливании пустоты заполняются деформирующейся древесиной, что обуславливает более существенную податливость данного типа охранной конструкции. Поэтому полоса НК не обрезает консоль зависающих подработанных пород, а позволяет ей плавно опускаться. Из-за малой прочности полосы на сжатие, кровля над ней интенсивно расслаивается до уплотнения НК, затем расслоения замедляются. Это приводит к высоким длительным нагрузкам на крепь штрека.

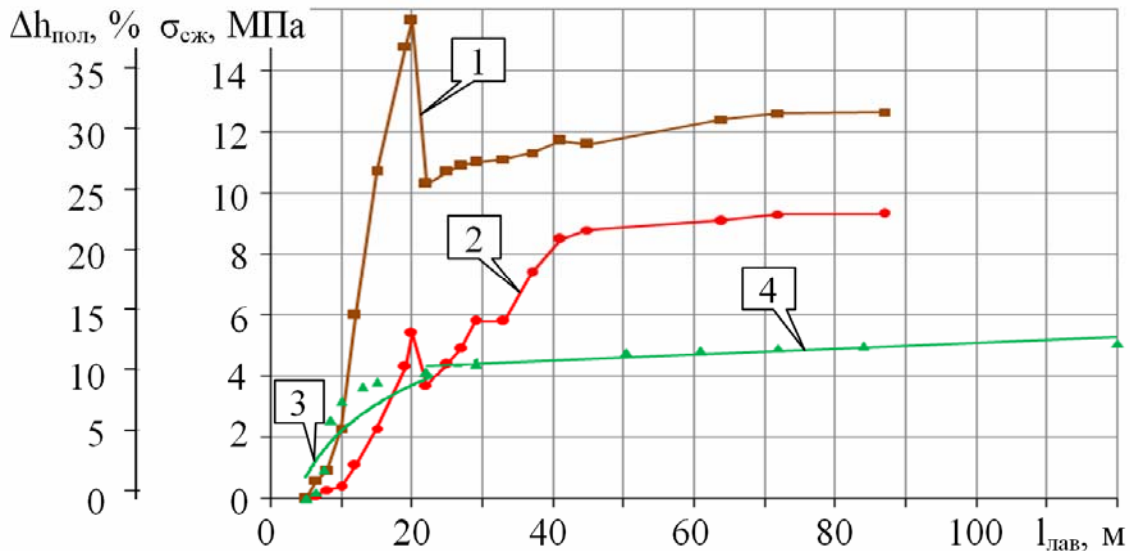
За счет существенной податливости полосы НК, нагрузка от подработанной кровли на породы почвы нарастает постепенно, по мере уплотнения костров. В результате, пучение почвы штрека в начальный период происходит монотонно, со скоростью, в 3 раза меньшей, чем при применении жестких обрезных охранных полос. Однако относительная вертикальная деформация НК на 50-60 %, провоцирует расслоение подработанной кровли на значительную высоту, в результате чего, увеличивается вес давящих на охранную конструкцию пород и, после уплотнения полосы, пучение существенно интенсифицируется.

Технология сооружения бетонной пакетированной полосы (ПП) [4] включает в себя работы по укладке пакетов с сухой цементно-минеральной смесью (СЦМС) с системой перевязки по принципу кирпичной кладки. Благодаря перевязке создается более прочная кладка с равномерным распределением нагрузки. В процессе выкладки полосы осуществляется наполнение пакетов с СЦМС (массой по 20 кг) водой из шахтного водовода путем прокалывания и нагнетания порядка 4-х литров воды игольчатым иньектором, оборудованным краном и подводящим рукавом. Сооружение полосы выполняется по мере подвигания очистного забоя на один-два цикла, с соблюдением требований ее минимального отставания от линии забоя лавы и плотного подпора полосой подработанной кровли. Четкое выполнение данных требований способствует минимизации неупругих деформаций кровли.

Бетонная пакетированная полоса, также как и КК, является жесткой охранной конструкцией. Предел ее прочности на сжатие, с учетом ослабляющих в шахтных условиях факторов, составляет не менее 20 МПа [5] Поэтому в интервале 4-20 м от очистного забоя нарастание в ней напряжений имеет такой же интенсивный характер (рис. 3, кривые 1 и 2). При этом напряжения в дальней от штрека части ПП в 4-5 раз выше, чем в ее ближней

части, что обусловлено стационарным опорным давлением от зависающей консоли подработанных пород. В данный период относительные вертикальные деформации полосы интенсифицируются по логарифмической зависимости (рис. 3, кривая 3)

$$\Delta h_{пол} = 2,16 \cdot \ln(l_{лав}) - 2,77, \quad R^2 = 0,79; \quad (3)$$



1 – напряжения в дальнем от штрека крае полосы; 2 – напряжения в ближнем к штреку крае полосы; 3 – относительные вертикальные деформации полосы

Рисунок 3 – Изменение напряженно-деформированного состояния пакетированной полосы в процессе ведения очистных работ

При последующем удалении забоя лавы происходит обрушение консоли подработанной кровли угольного пласта, напряжения в полосе резко падают и перераспределяются более равномерно по всей ее ширине. Вследствие этого относительная вертикальная деформация полосы стабилизируется и подчиняется линейной зависимости (рис. 3, кривая 4)

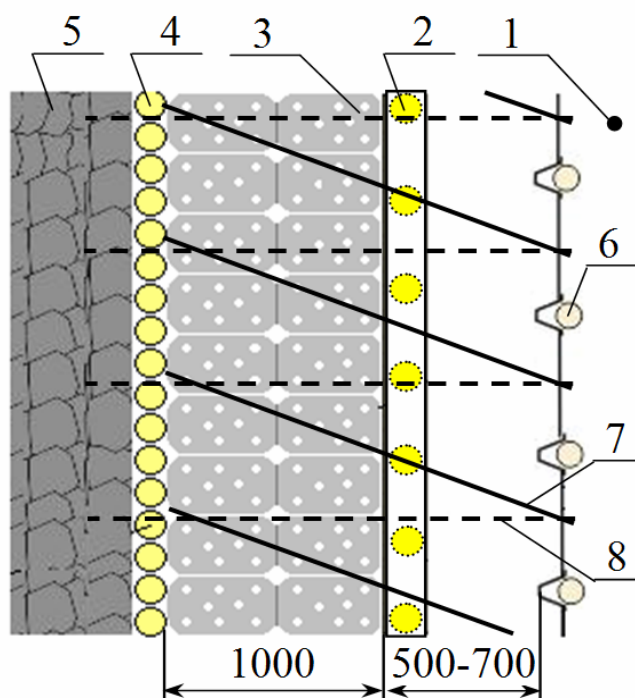
$$\Delta h_{пол} = 0,009 \cdot l_{лав} + 4,13, \quad R^2 = 0,83. \quad (4)$$

Относительная вертикальная деформация бетонной пакетированной полосы за весь период наблюдений не превысила 13 %. Основная часть деформирования ПП (более 80 %) происходит в начальный период удаления очистного забоя (от 4 до 20 м). Это объясняется технологией сооружения ПП, предусматривающей затворение смеси водой непосредственно на сопряжении штрека с лавой. Поэтому в начальный период времени (до 7-ми суток) бетонная полоса в наибольшей степени подвержена неупругим деформациям [3].

Кровля пласта n_8^6 представлена слабыми породами, прогибающимися и нагружающими охранную конструкцию практически сразу за очистным забоем. Наиболее эффективным способом предотвращения этого является заблаговременная (не менее 30 м до подхода лавы) установка ряда анкерной

крепи в породы кровли над угольным пластом (рис. 4). Шаг установки и рациональный угол наклона данного ряда анкеров определяются в соответствии с [6]. Анкера устанавливаются с таким расчетом, чтобы их длина не перекрывала дальний от штрека край охранной полосы. Это способствует повышению эффективности работы полосы в качестве обрезной крепи. Такая схема охраны позволит снизить интенсивность опускания подработанных пород и обеспечит опережение набора прочности бетоном относительно нарастания нагрузки на полосу. В результате, уменьшится относительная вертикальная деформация охранной полосы и существенно улучшится состояние штрека в целом.

Охранная полоса концентрирует сжимающие напряжения от вышележащего слоя нарушенных пород и передает их на надработанную почву угольного пласта. Величина напряжений сжатия под полосой, в свою очередь, определяет величину растягивающих напряжений в почве штрека, которые обуславливают дезинтеграцию и пучение пород [7]. Почва пласта n_8^e по классификации ДонУГИ относится к малоустойчивой и устойчивой – П2-П3. В данных горно-геологических условиях существенного снижения пучения можно добиться применением двух схем.



1 – охраняемый штрек; 2 – ряды стоек \varnothing 170-180 мм, 3 шт/м, установленных под брус; 3 – бетонная пакетированная полоса; 4 – сплошной органический ряд из стоек \varnothing 170-180 мм; 5 – выработанное пространство лавы; 6 – стойки \varnothing 180-200 мм, установленные под замок рамной крепи; 7 – ряд анкеров в кровлю отрабатываемого пласта; 8 – ряд анкеров в почву отрабатываемого пласта

Рисунок 4 – Рекомендованная схема охраны штрека

Первая схема – сооружение двойной полосы (см. рис. 1, в): первый, ближний к штреку ряд должен быть податливым – накатные костры из

кругляка, а второй ряд – жесткая бетонная пакетированная полоса. Такая схема позволит жесткому ряду эффективно обрезать подработанную кровлю, а податливому ряду – воспринимать на себя негативное действие растягивающих напряжений, возникающих в почве от действия сжимающих напряжений в жестком ряду.

Вторая схема не менее эффективна и, при этом, технологически и экономически более целесообразна – применение однорядной бетонной пакетированной полосы в комплексе с опережающим (не менее 30 м до забоя лавы) анкерованием почвы обрабатываемого угольного пласта (рис. 4). Шаг установки и угол наклона данного ряда анкеров определяется в соответствии с [6].

Таким образом, в процессе исследований получены следующие результаты:

- установлено влияние прочностных и деформационных параметров охранных конструкций на механизм изменения их напряженно-деформированного состояния, а также на характер деформирования контура штрека и вмещающих пород в процессе ведения очистных работ;
- предложены рациональные с технической и экономической точек зрения конструкции охранных сооружений и определены их параметры.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Взаимодействие элементов комбинированного способа поддержания газосборных выработок с углевмещающим массивом / А.Ф. Булат, С.А. Курносов, И.Н. Слащев [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2007. – Вып. 68. – С. 24-36.
2. Технологический регламент поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами» / А.Ф. Булат, М.А. Ильяшов, Б.М. Усаченко [и др.]. – Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2009. – 28с.
3. Исследование влияния способов сооружения бетонных околоштрековых полос на их прочностные и деформационные параметры / С.А. Курносов, А.А. Цикра, Д.И. Аверкин [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 122. – С. 128-139.
4. Патент 92305 Украина, МПК (2014.01), E21D 11/00. Спосіб охорони підготовчої виробки / А.Ф. Булат, А.В. Смирнов, С.А. Курносов, В.С. Возиянов, А.А. Цикра, В.В. Задерий, Д.И. Аверкин./ Заявник і патентовласник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України.
5. Определение рациональных параметров породно-анкерных и охранных конструкций на сопряжении лавы с выемочным штреком / А.П. Круковский, С.А. Курносов, В.В. Круковская [и др.] // Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві: Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук, 2016. – Вип. 4(99). – С. 54-60.
6. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги: СОУ 10.1.05411357.010:2014. – [Чинний від 2014-12-01]. – Офіц. вид. – К.: Мінвуглепром України, 2014. – 83 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
7. Геомеханическое обоснование устойчивости почвы выработок / А.Т. Курносов, С.А. Курносов, И.Н. Слащев [и др.] // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Матер. 21-й межд. школы им. С.А. Христиановича. – ТНУ. – Симферополь. – 2011. – С. 200–202.

REFERENCES

1. Bulat, A.F., Kurnosov, S.A., Slashev, I.N. [and others] (2007), "Interaction of the combined method of maintaining gas collecting developments with the host coal massif", *Geo-Technical Mechanics*, no. 68, pp. 24-36.

2. The Ministry of Fuel and Energy of Ukraine, The National Academy of Sciences of Ukraine, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine (2009). "Technological regulations maintain reusable drifts excavation combined anchoring systems", Dnepropetrovsk-Donetsk, Ukraine.

3. Kurnosov, S.A., Osenniy, V.Ya., Zaderiy, V.V., Tsikra, A.A. and Averkin, D.I. (2015) "Research of interdependence between methods of concrete rib-side track building and the track strength and deformation parameters", *Geo-Technical Mechanics*, no. 122, pp. 128-139.

4. Bulat, A., Smirnov, A., Kurnosov, S., Voziyanov, V., Tsikra, O., Zaderiy, V. and Averkin, D., M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2014), *Sposib ohorony pidgotovchoi vyrobky* [Method of guard of the preparatory working], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 92305.

5. Krukovsky, A.P., Kurnosov, S.A., Krukovskaya, V.V. and Zaderiy, V.V. (2016), "Determination of rational parameters of rock-anchor and protection constructions on the interface of the lava with the excavating drift", *Bulletin of KrNU them. Michael Ostrogradsky "New technologies in mechanical engineering, transport and mining"* Кременчук, Vol. 4 (99), pp. 54-60.

6. Ukraine Ministry of Coal Industry (2008), *10.1.05411357.010:2008. Systema zabezpechennia nadiynogo ta bezpechnogo funktsionuvannia girnychych vyrobok iz ankernym kriplenniam. Zagalni tehniczni vymogy: Normatyvnyy dokument Minvuhlepromu Ukrainy. Standart* [10.1.05411357.010:2008. System to ensure reliable and safe operation of mining bolting. General specifications: Regulatory Document Coal Industry of Ukraine. Standard], Ukraine Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.

7. Kurnosov, A.T., Kurnosov, S.A., Slashev, I.N. and Slascheva, E.A. (2011) "Geomechanical substantiation of stability of soil developments", *Proc. of the 21th International scientific conference "Deformation and destruction of materials with defects and dynamic phenomena in rocks and excavations"*, Simferopol, pp. 200-202.

Об авторах

Смеречанский Сергей Степанович, магистр, заместитель генерального директора по производству ГП «Львовуголь», Червоноград, Украина.

Курносов Сергей Анатольевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАНУ), Днепр, Украина, sakurnosov@gmail.com,

Опрышко Юрий Сергеевич, магистр, главный технолог отдела проблем разработки месторождений на больших глубинах Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАНУ), Днепр, Украина, joonp@yandex.ua,

Цикра Александр Анатольевич, кандидат технических наук, технический директор ООО «Минова Украина», Покровск, Украина.

About the authors

Smerechanskiy Sergey Stepanovich, Master of Science, Deputy Director General for the production of SE «Lvivugol», Chervonograd, Ukraine,

Kurnosov Sergey Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths. N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (N.S. Pilyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, sakurnosov@gmail.com,

Opryshko Yuriy Sergeevich, Master of Science, Chief Technologist in the Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (N.S. Polyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, joonp@yandex.ua,

Tsikra Alexander Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Technical Director of «Minova Ukraine» LTD, Pokrovsk, Ukraine.

Анотація. Предметом досліджень були закономірності зміни напружено-деформованого стану різних типів охоронних конструкцій в процесі ведення очисних робіт, а також вплив параметрів даних конструкцій на зміщення контуру виїмкового штреку і деформування вмщуючих порід. Методика досліджень включала визначення характеру перерозподілу напружень по ширині охоронної смуги, а також вимірювання її відносної вертикальної деформації, глибини і ступеня розшарування порід покрівлі і здимання підосви.

Обґрунтовано раціональні геометричні, міцнісні і деформаційні параметри охоронної конструкції. Рекомендована найбільш ефективна (з технологічної та економічної точок зору) схема охорони виїмкових штреків, яка включає бетонну пакетовану смугу, стійки органного кріплення і систему анкерного кріплення покрівлі і підосви вугільного пласта, що відпрацьовується.

Ключові слова: охорона виїмкових штреків, напружено-деформований стан охоронних конструкцій, деформування контуру штреку і вміщуючих порід.

Annotation. Subject of the study was regularity of the stress-strain state changing in different supporting structures in the process of winning operations, and impact of these structures parameters on the gate-road contour displacement and enclosing rock deformation. Procedure of the study included determination of nature of the stress re-distribution along the width of the supporting wall and measurement of the wall vertical deformation, depth and rate of the bed-roof separation and floor swelling. Rational geometric, strength and deformation parameters were validated for the supporting structure. Basing on the finding, scheme of the gate-road support, which includes concrete packed wall, breaker props and system of the roof and floor bolting for the working coal seam, is recommended as the most effective one in terms of technology and economy.

Key words: gate-road support, stress-strain state of supporting structures, deformation of the gate-road contour and enclosing rocks.

Стаття поступила в редакцію 3.09.2017

Рекомендовано к печати акад. НАН Украины А.Ф. Булатом