

УДК 622.831.3

Н.Н. Касьян, д-р техн. наук, проф.,
В.Н. Мокриенко,
И.Г. Сахно, канд. техн. наук, доц.

Государственное высшее учебное заведение
„Донецкий национальный технический университет“,
г. Донецк, Украина, e-mail: sahno_i@mail.ru

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПРОВЕРКА СПОСОБА ОХРАНЫ ВЫРАБОТКИ ЖЕСТКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ С КОМПЕНСАЦИОННЫМИ ПОЛОСТЯМИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ „ЩЕГЛОВСКАЯ-ГЛУБОКАЯ“

N.N. Kasyan, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
V.N. Mokrienko,
I.G. Sakhno, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “Donetsk National
Technical University”, Donetsk, Ukraine,
e-mail: sahno_i@mail.ru

EXPERIMENTAL-INDUSTRIAL VERIFICATION OF MAINTENANCE METHOD USING RIGID CONSTRUCTIONS WITH COUNTERVAILING CAVITIES IN THE MINE “SCHEGLOVSKAYA-GLUBOKAYA”

Цель. Изучение особенностей смещения вмещающих выработку пород при опытно-промышленной проверке нового способа охраны в условиях шахты „Щегловская-Глубокая“.

Методика. Методологическую основу работы составляет комплексный подход, который включает в себя предварительно проведенную серию лабораторных исследований на физических моделях с использованием метода эквивалентных материалов, на основании которых был предложен новый способ охраны подготовительной выработки, обеспечивающий ее устойчивость за счет использования жестких сооружений с компенсационными полостями. Во время проведения промышленной проверки способа был также использован метод натуральных наблюдений, предложенный сотрудниками ДонНТУ, который позволяет фиксировать пространственные перемещения контура выработки во времени. С помощью этого метода были построены графики смещений почвы и кровли выработки при способе охраны выработки, применяемом на шахте, и при предлагаемом способе, в зависимости от расстояния до очистного забоя. Проанализированные скорости смещений пород, которые вмещают выработку, а также построенные сечения выработки в координатной сетке на расстоянии 50, 100 и 150 м за очистным забоем, позволили установить относительные величины снижения смещений пород почвы и кровли предлагаемого способа по сравнению с шахтным. В процессе проведения промышленных испытаний наблюдалось разрушение полублоков, из которых возводилось охранное сооружение. Поэтому был проведен следующий этап исследований, на котором измерялась нагрузка на охранное сооружение. Также на этом этапе был составлен паспорт прочности материала, из которого изготавливаются полублоки. В результате сделаны выводы о том, что для повышения эффективности предлагаемого способа в условиях шахты „Щегловская-Глубокая“ необходимо применять более прочный материал для изготовления полублоков.

Результаты. В целом промышленные испытания завершены с положительным результатом. Так как снижения смещений пород почвы на экспериментальном участке, по сравнению с контрольным, составили 30–40%, смещения кровли были в конечном итоге больше на 7%. Смещение кровли происходит из-за недостаточной прочности материала, используемого для изготовления полублоков.

Научная новизна. Впервые установлено, что при соотношении ширины полости и ширины охранного сооружения 1:1 и соотношении глубины охранного сооружения к его ширине 2:1 было обеспечено снижение пучения в выработке и провокация пучения в закрепном пространстве.

Практическая значимость. Заключается в разработке дополнения к паспорту крепления и управления кровлей, реализация которого позволила достичь снижения смещений почвы на 30–40%, при этом ожидаемый экономический эффект составляет 238 грн/м.

Ключевые слова: *горная выработка, способ охраны, компенсационная полость, способ контроля состояния горной выработки*

Актуальность. На действующих шахтах в настоящее время наиболее протяженными являются подготовительные выработки. С увеличением глубины работ их состояние ухудшается, и для сохранения технологического сечения выработки возникает необходимость в проведении их ремонта, перекрепления и

других дополнительных мероприятий, что приводит к увеличению себестоимости угля и снижению его конкурентоспособности на энергетическом рынке [1–3].

Одним из путей снижения этих затрат является применение прогрессивных способов охраны выработки, основанных на использовании жестких сооружений [4–6]. Однако такие способы имеют ограниченную область применения и не рекомендуются

при слабых почвах, так как охранный сооружение обыгрывается, и происходит выдавливание подстилающих пород в полость выработки. Опыт ведения горно-технических работ на шахтах Донбасса позволил установить, что в дальнейшем работы по охране подготовительных выработок будут вестись, в основном, в слабых вмещающих породах.

Поэтому усовершенствование прогрессивных способов охраны, путем расширения их области применения, является актуальной научно-технической задачей.

Анализ литературных источников, посвященных решаемой проблеме. Жесткие охранные сооружения играют роль „штампа“ при традиционной схеме расположения, выдавливая подстилающие их породы в полость выработки. Механизм, наиболее точно объясняющий это явление, изложен в трудах Лыткина В.А., который был принят в качестве рабочей гипотезы и положен в основу ряда исследований процессов, происходящих в почве горной выработки, а также непосредственно под охранным сооружением [7]. В результате исследований были получены закономерности, которые позволили разработать новый способ охраны выработки [8]. Основная идея которого

состоит в использовании уплотненного ядра, которое формируется под охранным сооружением в процессе его внедрения в почву, как средства управления вытеснением пород в нужном направлении.

Область нерешенных задач. Любое моделирование это упрощение или схематизация объекта исследования, при этом в модели (физической или математической) невозможно учесть все влияющие факторы на процессы смещения пород, вмещающих выработку. И может возникнуть случай, когда технология, показавшая свою эффективность в лабораторных условиях, может оказаться на практике безрезультатной. Однозначный вывод можно сделать только после промышленных испытаний предлагаемых решений. В связи с этим, **целью** данной работы является опытно-промышленная проверка способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями в условиях шахты „Щегловская-Глубокая“.

Основная часть. Приемочные испытания способа охраны выработки жесткими сооружениями с компенсационными полостями проводились при охране 5 западного конвейерного штрека (рис. 1) пласта m_3 шахты „Щегловская-Глубокая“.

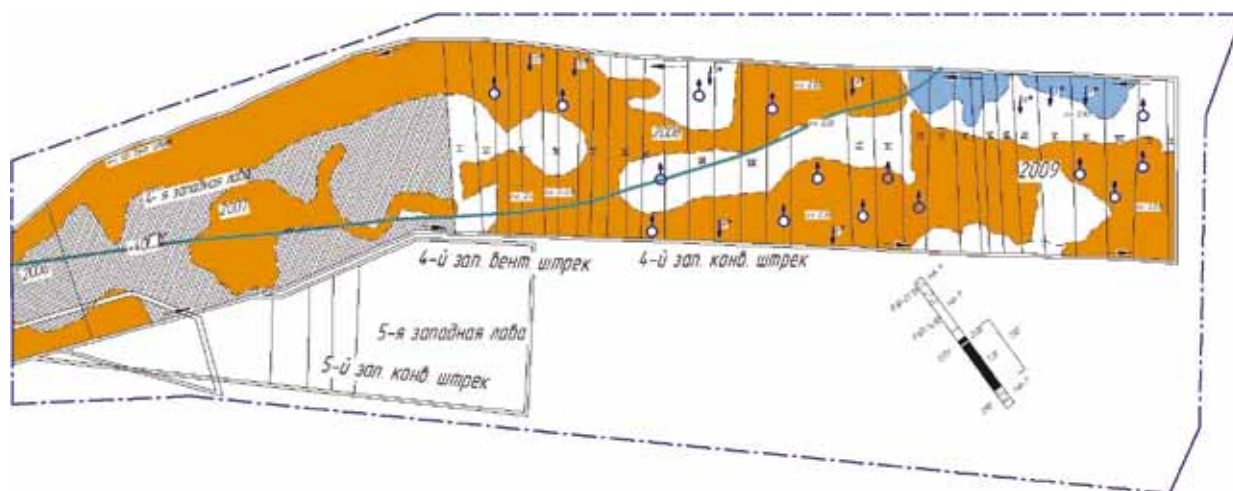


Рис. 1. Выкопировка из плана горных выработок пласта m_3 шахты „Щегловская-Глубокая“

Охрана выработки при шахтной технологии осуществлялась жесткой сплошной полосой из полублоков. Паспорт сопряжения приведен на рис. 2.

На экспериментальном участке технология отличалась только схемой расположения полублоков (рис. 3) При этом их количество осталось неизменным для охраны одного погонного метра выработки. Верхняя часть полосы шириной 0,5 м выкладывалась всплошную по всей длине, а нижняя часть выкладывалась шириной 1,0 м с оставлением полостей, т.е. по длине 1,5 м – пустота, следующие 1,5 м – выкладывается полоса на глине. Паспорт крепления сопряжений был разработан на основе исследований авторов.

Замеры производились по способу, методика реализации которого изложена в работе [9], на контрольном (рис. 4, а) и экспериментальном (рис. 4, б) участках, что соответствует методическим указаниям

по исследованию проявления горного давления в угольных и сланцевых шахтах. В результате чего были получены следующие зависимости (рис. 5).

На расстоянии от 0 до 50 м за проходом лавы на контрольном участке наблюдалось пучение почвы на 0,68 м, на экспериментальном участке пучение было меньше на 39% и составило 0,41 м. Смещения кровли на контрольном участке составили 0,38 м, на экспериментальном – 0,37 м. Разность высот выработки составила 10 %. Скорости смещения составили: кровли – 7,6 мм/м (13,57 мм/сутки) при среднем продвижении лавы на 1,8 м/сутки) и 7,4 мм/м (13,21 мм/сутки), почвы – 13,6 мм/м (24,28 мм/сутки) и 8,2 мм/м (14,64 мм/сутки) на контрольном и экспериментальном участках соответственно.

На расстоянии от 50 до 100 м за проходом лавы периодичность замеров составляла 1 замер в 2–3 суток.

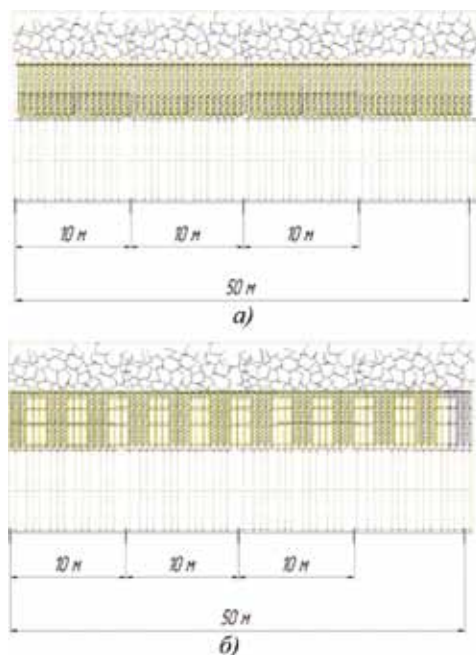


Рис. 4. Схема расположения замерных станций на контрольном (а) и экспериментальном (б) участках

На контрольном участке наблюдалось пучение почвы на 0,98 м, на экспериментальном участке пучение было меньше на 44% и составило 0,57 м. Смещение кровли на контрольном участке составило 0,51 м, на экспериментальном – 0,54 м. Разность высот выработки составила 7 %. Скорости смещений составили: кровли – 2,6 мм/м (4,6 мм/сутки при среднем подвигании лавы на 1,8 м/сутки) и 3,4 мм/м (6,07 мм/сутки), почвы – 6 мм/м (10,71 мм/сутки) и 3,2 мм/м (5,71 мм/сутки) на контрольном и экспериментальном участках соответственно.

На расстоянии от 100 до 150 м за проходом лавы на контрольном участке наблюдалось пучение почвы на 1,05 м, на экспериментальном участке пучение было меньше на 38% и составило 0,65 м. Смещения кровли на контрольном участке составили 0,79 м на экспериментальном – 0,84 м. Разность высот выработки составила 8%. Скорости смещения составили: кровли – 5,6 мм/м (1 мм/сутки при среднем подвигании лавы на 1,8 м/сутки) и 6 мм/м (1,07 мм/сутки), почвы – 1,4 мм/м (2,5 мм/сутки) и 1,6 мм/м (2,8 мм/сутки) на контрольном и экспериментальном участках соответственно.

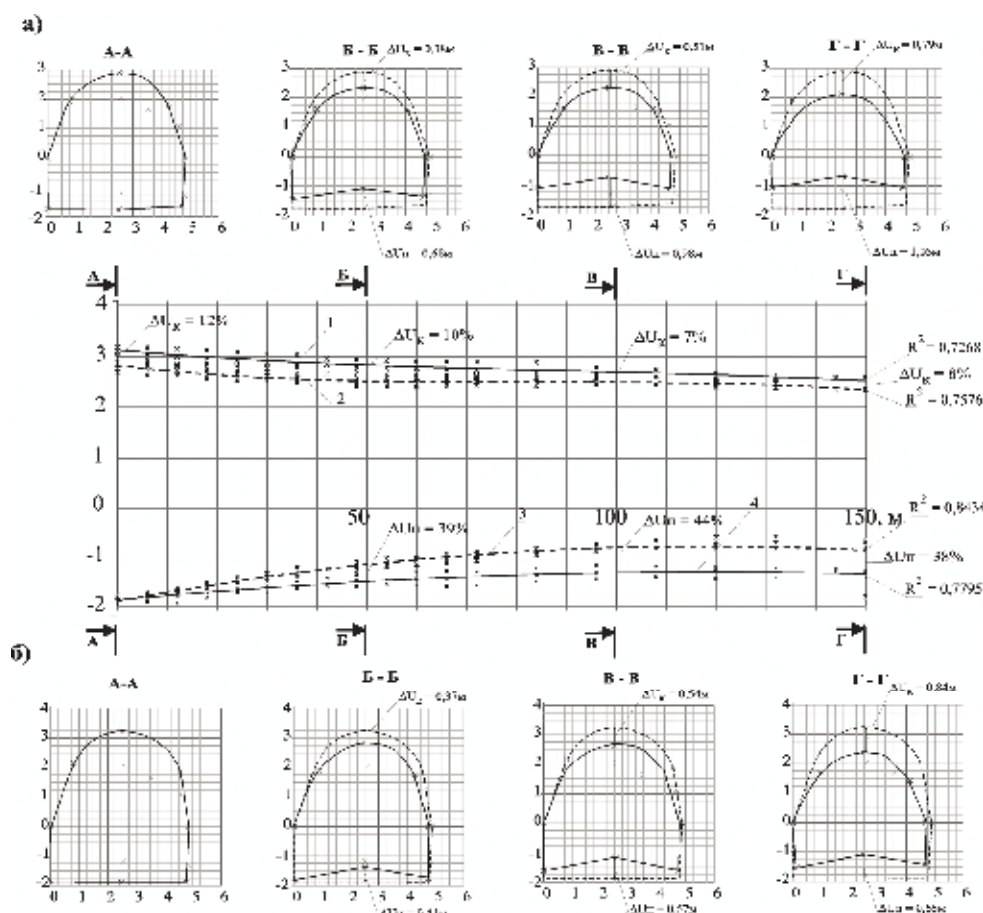


Рис. 5. Графики смещения пород кровли (1,2) и почвы (3,4) на контрольном (1,3) и экспериментальном (2,4) участках: ΔU_p – разность смещений на контрольном и экспериментальном участках, %

На контрольном и экспериментальном участках можно выделить две зоны, которые отличаются по скоростям смещений контура выработки. Первая зона – зона активного проявления горного давления,

заканчивается за лавой на расстоянии 30–60 м. Скорости смещения кровли в этой зоне, практически, одинаковы и составляют 13–14 мм/сутки, а скорость смещения почвы на контрольном участке в 1,65 раза

выше, чем на экспериментальном, что говорит о том, что породы, подстилающие выработку, при шахтной технологии испытывают большие деформации, и, следовательно, разрушаются за меньшее количество времени, чем на экспериментальном участке. Вторая зона – зона затухающих деформационных процессов, характеризуется постепенным снижением скоростей смещений кровли в 9–10 раз, по сравнению с первой зоной, после чего они стабилизируются и происходят со скоростью 1–2 мм/сутки.

Скорости смещения почвы во второй зоне в 5–6 раз меньше, по сравнению с первой зоной, после чего они стабилизируются и происходят со скоростью 2–3 мм/сутки. Общая конвергенция составляет 3–5 мм/сутки.

В процессе испытаний были выявлены недостатки технологии. Первый недостаток заключается в том, что были отмечены разрушения стоек (рис. 6, б) и верхняков в кровле в компенсационных полостях и напротив них по запасному выходу (рис. 6, а). Вторым заключается в том, что происходило частичное „расползание“ жесткой полосы и частичное ее разрушение (рис. 7).

Для выяснения причин возникновения вышеперечисленных недостатков был проведен следующий этап исследования.

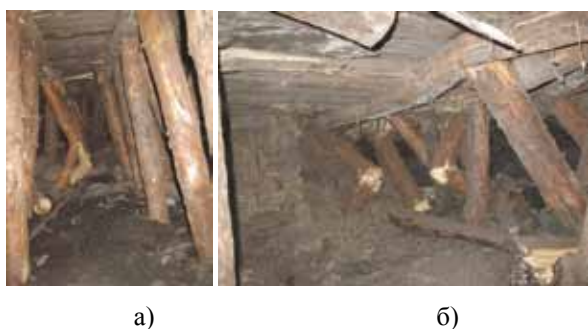


Рис. 6. Деформации стоек



Рис. 7. Частичное разрушение полублоков в жесткой полосе

На сопряжении лавы с конвейерным штреком, в косовичнике по линии эквидистантной продольной оси штрека по ряду стоек, огибающих охранную полосу на участке от забоя лавы до места погашения запасного выхода, были установлены комплексные измерительные станции, передвигаемые по мере подвигания забоя лавы, оборудованные динамометрами 45Д–135.



Рис. 8. Измерение нагрузки, действующей на охранное сооружение

Динамометры устанавливались под деревянные и гидростойки (рис. 8), что позволяло фиксировать динамику роста давления на стойки и охранное сооружение во времени и в зависимости от производственных процессов в лаве.

Исследования показали, что средний прирост давления на стойку за сутки составляет 7,2т. Интенсивный прирост давления на стойки наблюдается в течение 1 часа после выемки угля и передвижки секций механизированной крепи. Влияние производственных процессов на рост величины давления на стойки наблюдается на участке от забоя лавы до места возведения охранной полосы и имеет затухающий характер. Среднее давление по ряду стоек, огибающих охранную полосу на расстоянии 6 м от забоя, составляет 4,6–4,8 МПа, на расстоянии 10 м от забоя – 8–8,4 МПа. Давление на охранную полосу через 12 часов после ее возведения составляет 0,5–0,53 МПа, через 3 суток – 4,8–5,2 МПа.

На следующем этапе была отобрана серия из 15 полублоков для анализа прочностных свойств. Согласно методики [10] были изготовлены и испытаны образцы на одноосное сжатие и растяжение. После чего был построен паспорт прочности (рис. 9) материала полублоков, получаемого в результате формирования и затвердевания уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества (цемент), крупных и мелких заполнителей (дробленая порода от проведения выработок), воды.

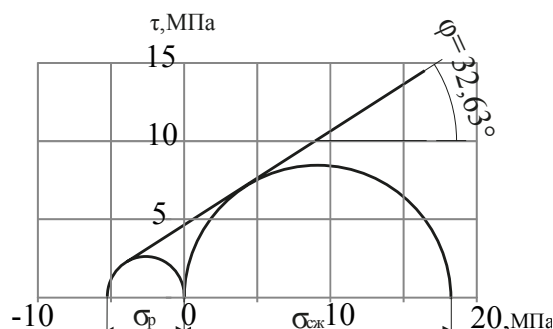


Рис. 9. Паспорт прочности материала, из которого изготовлен полублок: $\sigma_{сж}$ – предел прочности на одноосное сжатие; $\sigma_р$ – предел прочности на одноосное растяжение; ϕ – угол внутреннего трения; τ – касательные напряжения

Сопоставление результатов измерения нагрузки, действующей на охранное сооружение, и результатов испытания образцов позволяет сделать следующие выводы: давление на охранное сооружение на расстоянии 10 м от забоя составляет 80 % от максимально возможной несущей способности, следовательно, в местах концентрации напряжений в охранной полосе, а также в местах ослабления материала, будет превышен этот предел, что приводит к разрушению полублоков.

Выводы. В условиях отработки пласта m_3 шахты „Щегловская-Глубокая“ остро стоит проблема сохранения устойчивости выемочных выработок, решение которой возможно за счет усовершенствования способа охраны выработок.

Промышленные испытания разработанного способа охраны показали его эффективность с точки зрения устойчивости почвы, однако состояние кровли было незначительно хуже, что объясняется наличием полостей и частичным разрушением полублоков, используемых для возведения охранных сооружений. Разрушение полублоков объясняется низкими прочностными характеристиками материала.

Для получения большего снижения смещения пород почвы, а также снижения величины смещения кровли, необходимо применять полублоки с более высоким пределом прочности материала на одноосное сжатие.

Список литературы / References

1. Chudek, M. (2002), *Geomechanika z podstawami ochrony srodowiska gorniczego i powierzchni terenu*, Wyd. Pol. Sl., Gliwice.
2. Геомеханические процессы в породных массивах [Текст]: монография / А.Н. Шашенко, Т. Майхерчик, Е.А. Сдвижкова; Под общ. ред. А.Н. Шашенко // Нац. горн. ун-т (Днепропетровск, Украина). АГН – ун-т науки и технологий (Краков, Польша). – Днепропетровск, 2005. – 319 с.
Shashenko, A.N., Mayherchik, T. and Sdvizhkova, Ye.A. (2005), *Geomechanicheskiye protsessy v porodnykh massivakh* [Geomechanical Processes in Rock Massif] Monograph, National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine. AGH University, Cracow, Poland.
3. Канін В.О. Фізико-технічні основи охорони виймальних виробок в умовах нестійких порід: автореф. дис. на здобуття звання доктора техн. наук: 05.15.02 / В.О. Канін // НАН України, Ін-т геотехн. механіки ім. М.С. Полякова. – Дніпропетровськ, 2011. – 34 с. – укр.
Kanin, V.O. (2011), “Physical and technical bases of excavation excavations in unstable rocks”, Abstract of Dr. Sci. (Tech.) dissertation, 05.15.02, NAS of Ukraine, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics, Dnepropetrovsk, Ukraine, 34 p.
4. Ильяшов М.А. Конъюнктурно-экономические и горно-технологические аспекты поддержания выемочных штреков угольных шахт / М.А. Ильяшов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ – 2007. – Вып. 73. – С. 61–69. – Библиогр.: 8 назв. – рос.
Pyashov, M.A. (2007), “Market and economic, and mining and technological aspects of maintaining of excavation support drifts in coal mines”, *Geotekhnicheskaya mehanika*, IGTM NANU, Dnepropetrovsk, no.73, pp. 61–69.
5. Ильяшов М.А. Новые технологические решения в охране концевых участков высоконагруженных лав / Ильяшов М.А., Байсаров Л. // Геотехническая механика: Сб. науч. тр. ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2006. – № 61. – С. 79–92.
Pyashov, M.A. and Baysarov, L.V. (2006), “New technological solutions in the protection of end sections of high loaded lava”, *Geotekhnicheskaya mehanika*, IGTM NANU, Dnepropetrovsk, no.61, pp. 79–92.
6. Синтез комбинированных охранных систем для поддержания подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях / А.В. Агафонов, О.Д. Кожушок, Е.Н. Халимендииков, Л.В. Прохорец // Геотехническая механика. Выпуск 78. – Днепропетровск-Симферополь, 2008. – С. 73–86.
Agafonov, A.V., Kozhushok, O.D., Halimendikov, E.N. and Prohorets, L.V. (2008), “Synthesis of combined security systems to support the development workings in difficult geological conditions”, *Geotekhnicheskaya mekhanika*, Issue 78, Dnepropetrovsk-Simferopol, pp. 73–86.
7. Мокриенко В.Н. Параметрирование нового способа охраны выемочной выработки с использованием метода эквивалентных материалов [Текст] / В.Н. Мокриенко // Сборник научных работ НГУ – Днепропетровск, 2010 – №34 – Т.1. – С. 166–173.
Mokrienko, V.N. (2010), “Parameterization of a new way of making cutter using the equivalent materials”, *Sbornik nauchnyih rabot NGU*, T.1, no.34, pp. 166–173.
8. Пат. 94327 Украина, МПК9 Е 21 D 11/00, Е 21 С 41/18. Способ охраны горных выработок /Касьян Н.Н., Хазипов И.В., Негрей С.Г., Мокриенко В.М.; заявитель и патентообладатель Донецкий Национальный Технический Университет. – № а200911242; заявл. 05.11.2009; опубл. 26.04.2011, Бюл.№ 8, 2011 – 3 с. : ил.
Kasyan, N.N., Khazipov, I.V., Negrey, S.G. and Mokrienko, V.M. (2011), Pat. 94327 Ukraine, МПК9 Е 21 D 11/00, Е 21 S 41/18 “The method of mine workings maintenance”, Patentee and patent owner: Donetsk National Technical University, no. a200911242; suggested on November 5, 2009; published on April 26, 2011, Bulletin no.8, 3 p.
9. Касьян Н.Н. Обоснование параметров способа контроля состояния горной выработки и методика его реализации / Н.Н. Касьян, И.Г. Сахно, В.Н. Мокриенко // Научные труды УкрНИМИ НАН Украины – Донецк, 2011. – Вып. 9 – часть 1 – С. 57–79.
Kasyan, N.N., Sakhno, I.G. and Mokrienko, V.N. (2011), “Justification process parameters monitoring of excavation and the method of its implementation”, *Nauchnyye trudy UkrNIMI NAN Ukrainy*, Donetsk, Issue. 9, part 1, pp. 57–79.
10. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии: ГОСТ 21153.2-84. – [Введ. 1986-01-07] – М.: Изд-во стандартов.

GOST 21153.2-84. "Rock. Methods for determination of ultimate strength in uniaxial compression", Valid since January 7, 1986, Izd-vo standartov, Moscow, Russia.

Мета. Вивчення особливостей зміщення порід, що вміщують виробку, при дослідно-промисловій перевірці нового способу охорони в умовах шахти „Щегловська-Глибока“.

Методика. Методологічну основу роботи складає комплексний підхід, що включає в себе попередньо проведену серію лабораторних досліджень на фізичних моделях з використанням методу еквівалентних матеріалів, на підставі яких був запропонований новий спосіб охорони підготовчої виробки, що забезпечує її стійкість за рахунок використання жорстких споруд з компенсаційними порожнинами. Під час проведення промислової перевірки способу був також використаний метод натурних спостережень, запропонований співробітниками ДонНТУ, дозволяє фіксувати просторові переміщення контура виробки в часі. За допомогою цього методу були побудовані графіки зсувів підшви й покрівлі виробки при способі охорони виробки, що застосовується на шахті, і при запропонованому способі, у залежності від відстані до очисного вибою. Проаналізовані швидкості зміщень порід, що вміщують виробку, а також побудовані перерізи виробки в координатній сітці на відстані 50, 100 і 150 м за очисним вибоєм, дозволили встановити відносні величини зниження зсувів порід підшви та покрівлі запропонованого способу в порівнянні з шахтним. У процесі проведення промислових випробувань спостерігалось руйнування напівблоків, з яких зводилась охоронна споруда. Тому був проведений наступний етап досліджень, на якому вимірювалось навантаження на охоронну споруду. Також на цьому етапі було складено паспорт міцності матеріалу, з якого виготовляються напівблоки. У результаті зроблені висновки про те, що для підвищення ефективності запропонованого способу в умовах шахти „Щегловська-Глибока“ необхідно застосовувати більш міцний матеріал для виготовлення напівблоків

Результати. У цілому промислові випробування завершені з позитивним результатом. Так як зниження зсувів порід підшви на експериментальній ділянці в порівнянні з контрольним склали 30–40%, зміщення покрівлі були в кінцевому підсумку більше на 7%. Зсув покрівлі відбувається через недостатню міцність матеріалу, використаного для виготовлення напівблоків.

Наукова новизна. Уперше встановлено, що при співвідношенні ширини порожнини та ширини охоронної споруди 1:1 і співвідношенні глибини охоронної споруди до її ширини 2:1 було забезпечено зниження зривання у виробці та провокації зривання в закріпному просторі.

Практична значимість. Полягає в розробці доповнення до паспорта кріплення та управління покрівлю, реалізація якого дозволила досягти зниження зсувів підшви на 30–40%, при цьому очікуваний економічний ефект складає 238 грн / м.

Ключові слова: гірнича виробка, спосіб охорони, компенсаційна порожнина, спосіб контролю стану гірничої виробки

Purpose. To study features of the displacement of enclosing strata for pilot testing of a new method of protection in the mine "Shcheglovskaya-glubokaya".

Methodology. The methodological basis of the work is a comprehensive approach that includes a series of preliminary laboratory tests on physical models using the method of equivalent materials. A new method of ensuring the stability of development working through the use of rigid constructions with countervailing cavities. During the industrial test the method of field observations, proposed by members of Donetsk National Technical University has been used for recording of the spatial displacement of the tunnel contour in time. On the base of registered data the graphs of shifting of floor and ceiling of the tunnel were constructed for workings protected by means of usual methods and those where the new protection method had been tested, taking into account the distance to the stope. We have analyzed the rate of displacement of rocks enclosing the working, and constructed the cross sections of the workings in the reference grid at the distance of 50, 100 and 150 m from the stope. It is possible to establish the relative value of reduction of the displacement floor and ceiling of the tunnel protected by means of the proposed method in comparison with old methods. In the course of industrial tests the destruction of semi-blocks of support structures appeared. Therefore, it was held the next stage of research on measuring the pressure on support structures. Also, at this stage the material strength certificate for semi-blocks was drawn up. As a result, conclusions about ways of improvement of the proposed method for implementation in the mine "Shcheglovskaya-glubokaya" have been made. The solution consists in using more durable material for semi-blocks.

Findings. In general, industrial tests were completed with positive results. Since the displacement of rocks of the floor in the tested section reduced by 30–40% compared with the control section and the displacement of the ceiling increased by 7%. The increase of ceiling displacement was caused by the insufficient strength of the material of semi-blocks.

Originality. Provided that the ratio of the width of the cavity and the width of the protective structures is 1:1 and the ratio of the depth protective structure to its width is 2:1 the swelling in the working and the provocation of blowup in the fixing space were reduced.

Practical value. An addition to the certificate on control and fixing the roof has been made and this allowed reducing the displacement of floor by 30–40%, with the expected economic effect of 238 UAH / m.

Keywords: mining, method of protection, compensatory cavities, method of mine workings control

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.В. Подкопаєвим. Дата надходження рукопису 09.02.12.