

**РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПОСОБОВ ОХРАНЫ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ  
ВЫРАБОТОК ЛИТЫМИ ПОЛОСАМИ****<sup>1</sup>Яланский А.А., <sup>1</sup>Слащев И.Н., <sup>1</sup>Слащева Е.А., <sup>1</sup>Селезнев А.М., <sup>1</sup>Арестов В.В.**<sup>1</sup>*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України***РОЗРОБКА НОВИХ СПОСОБІВ ОХОРОНИ ПІДГОТОВЧИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК  
ЛИТИМИ СМУГАМИ****<sup>1</sup>Яланський А.О., <sup>1</sup>Слащов І.М., <sup>1</sup>Слащова О.А., <sup>1</sup>Селезньов А.М., <sup>1</sup>Арестов В.В.**<sup>1</sup>*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины***DEVELOPMENT OF NEW AUXILIARY MEASURES FOR PROTECTING PREPARATORY  
ROADWAYS BY THE CAST STRIPS****<sup>1</sup>Yalanskyi A.O., <sup>1</sup>Slashchov I.M., <sup>1</sup>Slashchova O.A., <sup>1</sup>Seleznov A.M., <sup>1</sup>Arestov V.V.**<sup>1</sup>*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine*

**Аннотация.** В статье представлена разработка новых способов охраны подготовительных горных выработок литыми полосами из быстротвердеющих материалов. Известно, что в зоне влияния очистных работ подготовительные выработки угольных шахт интенсивно деформируются, при этом из-за больших смещений породного контура расходуются значительные объемы материальных ресурсов на их ремонт. Для повторного использования подготовительных горных выработок при относительно прочных породах кровли в качестве крепи часто применяют литые полосы или их комбинации с рамным и анкерным креплением. Проблемы, которые при этом возникают, связаны с размоканием пород слабой почвы угольных пластов, гипсометрией кровли и недостаточной прочностью полос на начальном этапе набора прочности. Средства крепления и способы охраны подготовительных горных выработок часто не соответствуют геомеханическим особенностям проявления горного давления, что становится основной причиной неудовлетворительного состояния выработок. Для оценки возможных резервов повышения эффективности применения литых полос совместно с другими средствами крепления обоснована математическая модель сложноструктурного породного массива. Проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Смоделированы жесткая и податливая литые полосы, разные технологии возведения литой полосы, а также комбинация литых полос с анкерной и арочной крепью. Определены расположения и размеры зон разрушения пород, напряжения в породном массиве при разных вариантах крепления. Выявлены недостатки существующих технологий возведения литых полос и установлены факторы повышения их технической эффективности. На базе проведенных исследований разработаны новые способы возведения литых полос, которые дают возможность регулировать их отпор и воздействие на напряженно-деформированное состояние прилегающего породного массива. Математическое моделирование для конкретных горно-геологических условий шахты показало удовлетворительную сходимость с натурными данными, поэтому предложенные технические решения можно эффективно применять на производстве.

**Ключевые слова:** охрана горных выработок, литые полосы, компьютерное моделирование методом конечных элементов, способы и средства крепления.

Применяемые для охраны подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ искусственные ограждения (породные полосы, бетонные тумбы, костры, органная крепь и другое) часто не препятствуют большим смещениям кровли из-за высокой податливости и малой несущей способности, а их возведение требует больших затрат ручного труда. Для решения этой проблемы в ФРГ, Великобритании, Украине и других странах промышленное применение получили жесткие литые полосы. Способы охраны литыми полосами из твердеющих материалов применяются при разработке угольных пластов без

целиков столбовыми и комбинированными системами по простиранию, падению и восстанию с повторным использованием подготовительных выработок. Применение литых полос возможно и при сплошной системе разработки, при этом они могут обеспечивать поддержание штреков в выработанных пространствах для прямого проветривания лав, что позволяет повесить нагрузку на очистной забой [1].

К основным достоинствам литых полос наряду с полной механизацией их возведения отнесены высокая несущая способность, обеспечивающая охрану выработок на пластах со средне- и труднообрушаемыми кровлями, а также хорошая изоляция выработанного пространства, что снижает возможности самовозгорания угля. Применение литых полос обеспечивает обрушение кровли по кромке самой полосы, снижение нагрузок на крепь, и, в целом, экономию затрат на поддержание выработок. Тем не менее, большая протяженность выработок, поддерживаемых за лавой, все еще находится в неудовлетворительном состоянии. Это объясняется неблагоприятными горно-геологическими условиями, значительными начальными смещениями пород при проведении выработок, негативным воздействием опорного давления впереди лавы и за ней по границам очистных работ, длительным сроком поддержания подготовительных выработок при столбовой системе разработки. Несмотря на относительно высокую степень механизации процессов добычи угля, трудоемкость работ на сопряжениях «лава-штрек» достигает 50 % от общей на добычном участке. Кроме того, концевые участки лав являются наиболее опасными зонами выемочных участков шахт. Так, более половины несчастных случаев, не связанных с выбросами и воспламенениями метана, происходят именно вблизи сопряжений «лава-штрек», причем подавляющее большинство случаев - от обрушений кровли [1-4].

Оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород вокруг выработок проведена с помощью математического моделирования методом конечных элементов на вычислительном комплексе GEO-RS<sup>©</sup> [5]. Для учета упругопластических свойств горных пород в программе совмещены процедуры метода конечных элементов и метода начальных напряжений. В основу математической модели положены соотношения механики сплошной среды, теории предельных и запредельных состояний горных пород [6, 7]:

- условия совместности деформаций для сплошной среды

$$\varepsilon_x = \frac{du_x}{dx}, \quad \varepsilon_y = \frac{du_y}{dy}, \quad \gamma_{xy} = \frac{du_x}{dy} + \frac{du_y}{dx}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  – нормальные относительные деформации по координатным осям  $x$ ,  $y$ ;  $u_x$ ,  $u_y$  – осевые перемещения;  $\gamma_{xy}$  – деформации сдвига; - связь между напряжениями и деформациями в упругой среде для изотропного однородного и неоднородного линейно деформируемого тела

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{du_x}{dx} + \mu \frac{du_y}{dy} \right); \quad \sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{du_y}{dy} + \mu \frac{du_x}{dx} \right), \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости, Па;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  
 - условие совместности деформаций и напряжений

$$\frac{d^2(\sigma_x - \mu\sigma_y)}{dx^2} + \frac{d^2(\sigma_y - \mu\sigma_x)}{dy^2} = 2(1 + \mu) \frac{d^2\tau_{xy}}{dxdy}, \quad (3)$$

где  $\tau_{xy}$  – напряжения сдвига, Па;

- фактические максимальные и минимальные главные напряжения при неупругом деформировании пород

$$\sigma_1^f = \sigma_1^{\text{lim}} - \left( \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_1^{\text{lim}}}{(k-1)\varepsilon_1^{\text{lim}}} \right) (\sigma_1^{\text{lim}} - \sigma_1^{\text{res}}),$$

$$\sigma_3^f = \frac{E_i(\varepsilon_1 + \varepsilon_1 \text{ctg}\xi) + 2C \text{ctg}(45 - \varphi/2)(\mu - 1)}{(1 - \mu)(1 + \text{ctg}\xi)}, \quad (4)$$

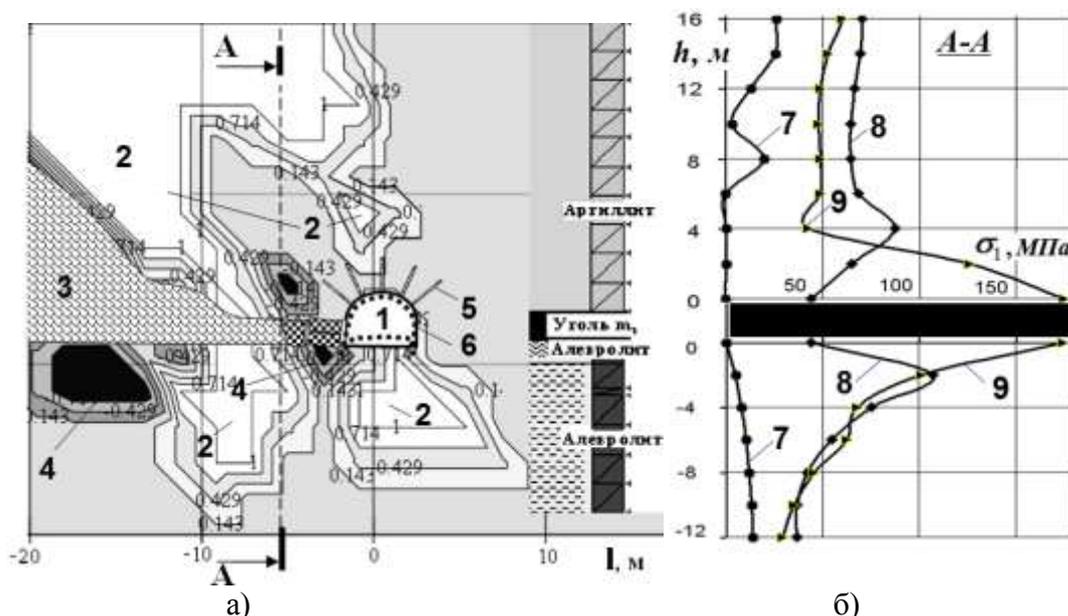
где  $\sigma_1^{\text{lim}}$ ,  $\sigma_1^{\text{res}}$  – предельные и остаточные максимальные главные напряжения (Па)  
 $\varepsilon_1^{\text{lim}}$ ,  $\varepsilon_1^{\text{res}}$  – предельные и остаточные максимальные главные деформации;  $k$  – коэффициент, характеризующий хрупкость породы [8];  $C$  – модуль сцепления, Па;  $\text{ctg}\xi$  – параметр, определяющий закон пластического течения.

Определение предельных состояний породного массива дает возможность максимально приблизить математическую модель разрушения неупругой среды к реальному поведению горных пород под действием нагрузки. Учтены данные по структурным и геологическим характеристикам массива, а также физико-механическим свойствам пород. Для описания физико-механических свойств пород используются данные геологической разведки и результаты экспериментальных определений исходных параметров: модуля упругости, коэффициента Пуассона, объемного веса, модуля сцепления и угла внутреннего трения для каждого типа элементов. В области сжатия предельные напряжения ограничивались пределом прочности на сжатие, который автоматически определялся по критерию Кулона-Мора. Для элементов, которые остались упругими на предыдущих итерациях, предельные напряжения в области растяжения автоматически принимались равными 20 % модуля сцепления, а для ранее пластически деформированных элементов – равными нулю. Необходимо подчеркнуть, что при проведении каждой последующей итерации программа вычисляет и отслеживает состояние каждого элемента, автоматически производит необходимые замены даже при разрыве одного из элементов. Это является существенным преимуществом программного обеспечения, так как дает широкие возможности для определения наиболее вероятных областей зарождения и распространения разрушенных пород в массиве, позволяет детально исследовать сложные процессы.

На ряде шахт Донбасса успешно используются комбинированные способы поддержания подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ на основе анкерно-арочной крепи в сочетании с жесткими литыми полосами из

цементно-минеральных смесей [2-3, 9-10]. Поэтому моделирование выполнено как для тестовых вариантов, так и для конкретных горно-геологических условий шахты им. А.Ф. Засядько, глубина разработки 1200 м, угольный пласт  $m_3$ , подготовительные выработки закреплены комбинированными рамно-анкерными креплениями. Геологическая мощность пласта 1,6-2,2 м. Пласт опасен по газу, пыли, суфлярам, внезапным выбросам угля и газа, склонен к самовозгоранию.

Для выявления факторов, влияющих на повышение технической эффективности литой полосы, проведена серия вычислительных экспериментов. Оценка состояния породного массива вокруг штрека проводилась по результатам определения распространенности и расположения зон неупругих деформаций, а также по локализациям концентраций главных сжимающих напряжений и зон разгрузки. Локализации зон неупругих деформаций при применении в качестве средства охраны выработки литой полосы показаны на рис. 1.



1 – горная выработка; 2 – зоны неупругих деформаций; 3 – зона обрушенных пород; 4 – зоны разрыва сплошности; 5 – анкерное крепление; 6 – рамно-арочное крепление; 7-9 – напряжения при установке (7), наборе прочности (8) и увеличении жесткости (9) литой полосы

Рисунок 1 – Изменение напряженно-деформированного состояния породного массива для условий поддержания горной выработки комбинированным рамно-анкерным креплением и охране литой полосой: а – зоны неупругих деформаций; б – изменение значений максимальных главных напряжений

Установлено, что зона разупрочнения распространяется на высоту от уровня пласта до 16-30 м над выработанным пространством, активизируясь от задней части литой полосы (рис. 1, а). Одновременно нагрузка, передаваемая на почву пласта через материал литой полосы, вызывает разрушение слоя почвы на глубину до 2-2,5 м со стороны отработанной лавы до середины штрека. Результаты виброакустического контроля почвы штрека подтвердили данные численного эксперимента.

Максимальная концентрация главных сжимающих напряжений наблюдается в

кровле над выработкой при применении литой полосы высокой жесткости (110-150 МПа, рис. 1, б). Моделирование проведено для условий максимально допустимых (не более 100 мм) смещений кровли в месте установки литой полосы. Следует отметить, что литая полоса по ширине испытывает неравномерную нагрузку. Прилегающая к выработке часть литой полосы частично разрушается, нагрузки в кровле снижаются в 2-2,5 раза, при этом концентрации напряжений внутри литой полосы составляют 30-40 МПа. Динамика процесса заключается в том, что в краевой части литой полосы, прилегающей к выработке, напряжения снижаются фактически до нуля, а после установки литой полосы постепенно восстанавливаются. Зона опорного давления перед установкой литой полосы перемещается в сторону штрека, поэтому возведение литой полосы следует проводить с минимальным интервалом времени. Существенное значение имеют качественный контакт литой полосы с кровлей и хорошая механическая связь со слабой почвой.

Чем жестче материал литой полосы, тем большую нагрузку воспринимает почва выработки, что отрицательно сказывается на ее устойчивости. Высокая жесткость литой полосы приводит к повышению деформаций пучения и к снижению напряжений в почве штрека (рис. 2).

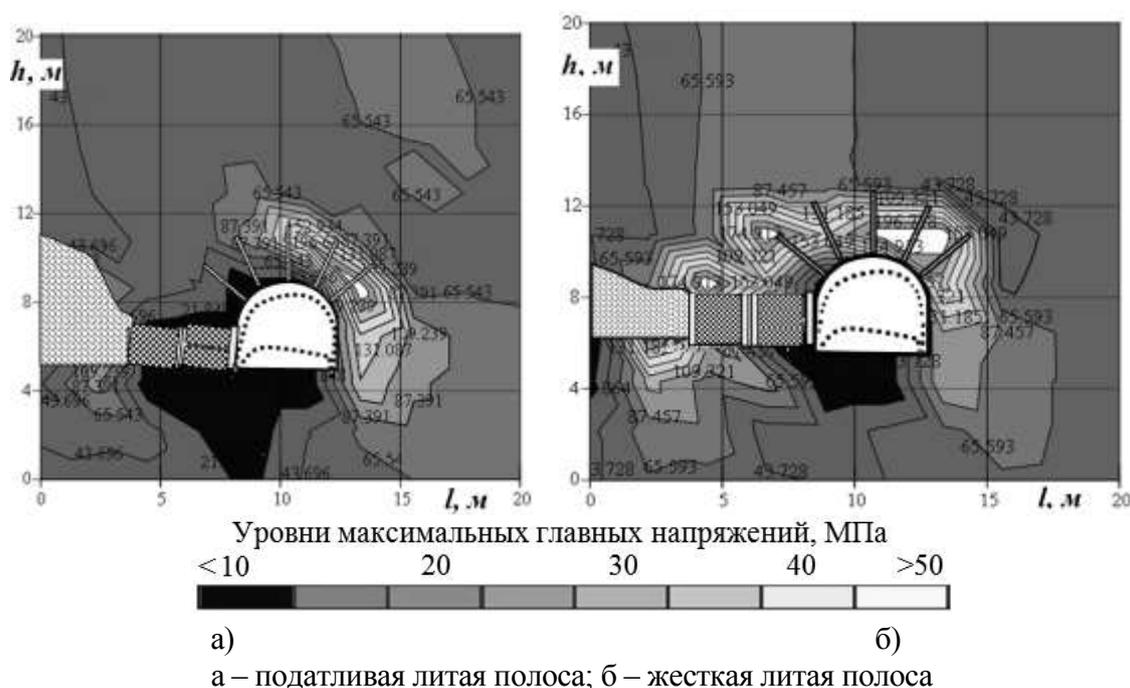


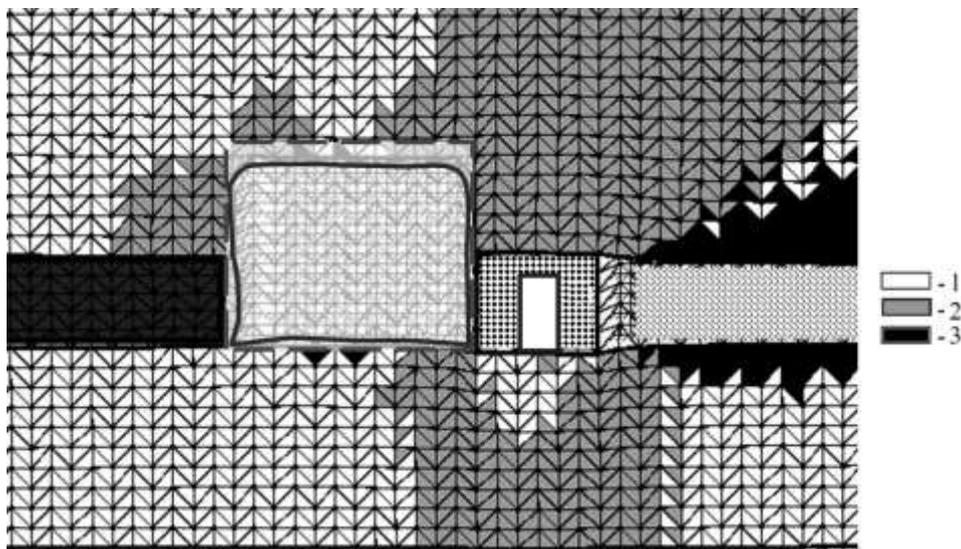
Рисунок 2 – Напряженно-деформированное состояние породного массива при применении литых полос разной жесткости

При этом почва штрека даже при незначительной потере прочности, например при увлажнении, интенсивно деформируется в выработку. Возможными факторами повышения эффективности литой полосы в данном случае могут быть ее регулируемая податливость и разгрузка пород почвы под полосой.

После проведения выработки, до анкерования, концентрации напряжений сосредоточены на уровне кровли и почвы литой полосы и в угольном пласте

нетронутого массива. После анкерования происходит перемещение максимумов концентраций напряжений в кровлю штрека. Это связано с тем, что анкерированные породы кровли воспринимают на себя часть нагрузки. Состояние штрека улучшается. Поэтому упрочнение пород кровли и почвы также является одним из факторов повышения эффективности литой полосы.

Применение литой полосы соответствующей прочности уменьшает размеры зоны разрушения пород кровли и повышает ее устойчивость. На наш взгляд, это связано с оседанием консоли основной кровли, в результате чего литая полоса (которая набирает к тому времени необходимую прочность) воспринимает нагрузку от сил горного давления (рис. 3). Это позволяет сохранить сечение конвейерного штрека для повторного использования в качестве вентиляционной выработки. Поперечное сечение выработки после прохода первой лавы составляет 60-80 % от проектного размера [2].

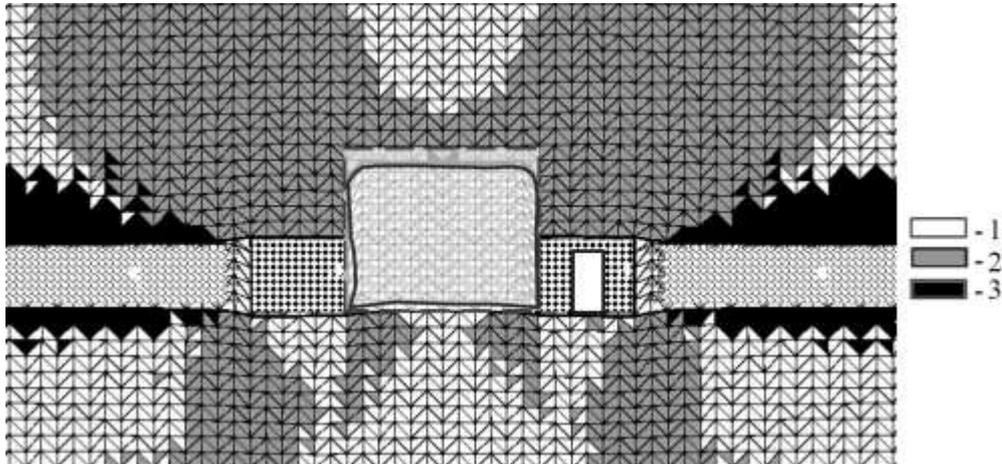


1 – упругие деформации; 2 - неупругие деформации;  
3 – разрыв сплошности при деформации растяжения

Рисунок 3 – Оседание консоли основной кровли над литой полосой при посадке основной кровли в лаве

Опыт отработки угольных пластов средней мощности (1,8-2,2 м) на шахтах «Красноармейская-Западная №1» и им. А.Ф. Засядько при суточной добыче угля из лавы 3000-4000 т/сутки показал, что для своевременной подготовки новых очистных забоев повторное использование бывших конвейерных выработок в качестве вентиляционных крайне необходимо. Поскольку литая полоса располагается вдоль выработки только со стороны выработанного пространства и служит как для обрушения пород кровли в выработанном пространстве, так и для их поддержания над выработкой, то необходимо заранее предусмотреть варианты какого-либо дополнительного крепления для относительного выравнивания нагрузки на крепь (рис. 4). Для этого проведено тестовое моделирование для предварительной оценки необходимой прочности литой полосы и привязки предполагаемой крепи к конкретным горно-геологическим условиям. Как видно

из рисунка, подобранные параметры прочности литой полосы позволяют выровнять нагрузку на крепь выработки, более эффективно использовать ее несущую способность.



1 – упругие деформации; 2 – неупругие деформации; 3 – разрыв сплошности при деформации растяжения

Рисунок 4 – Тестовый вариант выравнивания нагрузки на крепь выработки с применением литых полос различной конструкции (глубина 1500 м)

В целом аналитические исследования показали, что вокруг подготовительной выработки в тяжелых горно-геологических условиях складывается сложная геомеханическая обстановка, которая заключается в высоких концентрациях напряжений, обширном распространении зон неупругих деформаций, их локализации в непосредственной близости от контура выработки. При этом основными предпосылками для устойчивости штреков представляются процессы, связанные с обоснованием выбора материала, прочности, конструктивных особенностей и технологии возведения литой полосы.

Выявленные факторы возможных резервов повышения эффективности литых полос позволили разработать ряд новых, подтвержденных патентами технических решений, обеспечивающих надежность охраны подготовительных выработок литыми полосами (табл. 1, рис. 5).

Фактор улучшения качества контакта литой полосы с кровлей. Для улучшения механической связи крепи с кровлей горных выработок в ИГТМ НАН Украины разработаны новые способы возведения литых полос. Установка специальных прокладок и конструктивных элементов для прижатия к кровле реализованы в технических решениях, показанных на рисунках 5, а, в, г.

Способ возведения литой полосы (рис. 5, а) включает прижатие к кровле прокладки, установление опалубки, заполнение опалубки бетоном. Прокладку прижимают к кровле анкерами, опалубку устанавливают вдоль сторон прокладки с промежутками между опалубкой и прокладкой. Способ (рис. 5, в) включает прижатие к кровле прокладки распорками, например, винтовыми, которые устанавливают между почвой и прокладкой.

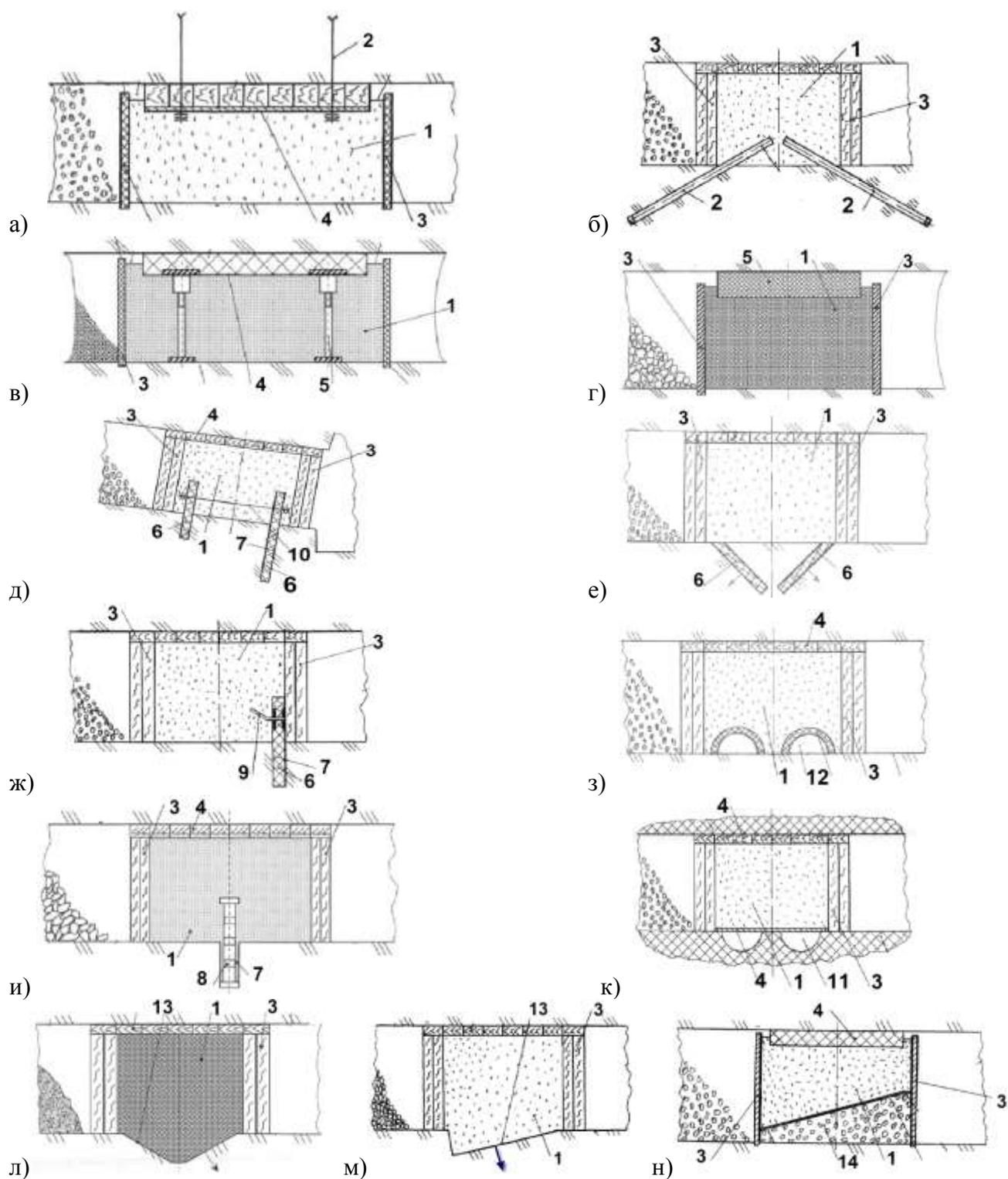
Таблица 1 – Факторы и способы реализации технических решений повышения эффективности литой полосы

Факторы повышения технической эффективности литой полосы	Способы реализации технических решений	Позиции на рис. 5, № патента
Качество контакта литой полосы с кровлей	Установка специальных прокладок и конструктивных элементов для прижатия к кровле.	а – Пат. 102444; в – Пат. 103765; г – Пат. 105317
Упрочнение пород кровли и почвы	Крепление пород кровли анкерами. Крепление пород почвы анкерами. Крепление пород почвы бетонными конструкциями.	а – Пат. 102444; б – Пат. 105353; д – Пат. 112579; е – Пат. 108706
Создание направленных силовых воздействий	Создание выступов и углублений заданной формы.	л – Пат. 116697; м – Пат. 118439
Улучшение механической связи со слабой почвой	Создание углублений и полостей разной формы (в том числе при наклонном падении пласта).	д – Пат. 112579; е – Пат. 108706; и – Пат. 109672 к – Пат. 112729; л – Пат. 116697; м – Пат. 118439
Регулируемая податливость	Создание податливого породного слоя.	н – Пат. 108600
Разгрузка пород почвы	Создание полостей определенной формы. Создание разгрузочных щелей и их заполнение твердеющими смесями.	д – Пат. 112579; ж – Пат. 105379; з – Пат. 114117; и – Пат. 109672

Опалубку заполняют бетоном вместе с распорками. Способ (рис. 5, г) включает прижатие к кровле прокладки и установление плавучей опалубки, которую прижимают к кровле бетоном.

Фактор дополнительного упрочнения пород кровли и почвы. Способ возведения литой полосы (рис. 5, б), кроме отливки бетонной полосы в опалубке, включает бурение в почве наклонных шпуров в стороны боковых границ будущей полосы. В шпуров вставляют штанги, концы которых находятся в зоне будущей бетонной полосы, а при отливке полосы концы штанг заливают бетоном внутри бетонной полосы.

Способ (рис. 5, д) включает нарезанные щели в зоне будущей бетонной полосы со стороны охраняемой выработки, установку в щель бетонных плит, верхние части которых оставляют в зоне будущей бетонной полосы. С противоположной стороны будущей бетонной полосы нарезают дополнительную щель, в которую устанавливают аналогичным образом дополнительные бетонные плиты. Бетонные плиты в противоположных щелях соединяют стяжками, которые заливают бетоном при отливке бетонной полосы. При этом плиты могут быть использованы как бока опалубки или разъемными по вертикали. Со стороны охраняемой выработки щель с бетонными плитами может быть сделана более глубокой.



1 – бетонная смесь; 2 – анкеры; 3 – опалубка; 4 – прокладка; 5 – распорные стойки; 5 – плавучая опалубка; 6 – бетонные плиты; 7 – щель; 8 – закладные элементы; 9 – арматура; 10 – стяжка; 11 – полости; 12 – вкладыши; 13 – углубление; 14 – порода

Рисунок 5 – Реализации технических решений путем создания новых способов возведения литой полосы, использующих факторы повышения ее эффективности за счет: улучшения качества контакта литой полосы с кровлей (а, в, г); улучшения механической связи со слабой почвой (д, е, и, к, л, м); упрочнения пород кровли и почвы (а, б, д, е); разгрузки пород почвы (д, ж, и); направленных силовых воздействий (л, м); регулируемой податливости (н)

Способ (рис. 5, е) предусматривает перед отливкой литой полосы выполнение продольных наклонных щелей, в которые устанавливают бетонные плиты. Верхние кромки бетонных плит оставляют на поверхности почвы. При отливке бетонной полосы ее опирают на верхние кромки бетонных плит. Комбинация упрочнения пород кровли и качественного контакта литой полосы показана в техническом решении на рисунке 5, а. Фактор разгрузки почвы реализован в способе возведения литой полосы (рис. 5, з), который включает перед отливкой литой полосы установку на грунт продольных вкладышей, по крайней мере, с одной открытой полостью в сторону почвы. Сверху вкладышей отливают литую полосу.

Фактор создания направленных силовых воздействий. Для создания направленной нагрузки разработан способ возведения литой полосы (рис. 5, л), который отличается от известных тем, что перед отливкой полосы на почве делают углубление для будущих боков бетонной полосы с понижением до середины, а затем углубление заливают вяжущим материалом. Кроме того, разработан способ возведения литой полосы (рис. 5, м), в котором перед отливкой литой полосы на почве делают уклон возле выработки с понижением до будущего бока полосы возле выработанного пространства. Затем при возведении литой полосы уклон заливают твердеющими смесями.

Фактор улучшения механической связи со слабой почвой. Способы улучшения связи литой полосы с основанием базируются на создании углублений и полостей разной формы (в том числе при наклонном падении пласта, см. рис. 5, д, е, л, м). Кроме того, разработан способ возведения литой полосы (рис. 5, к), который предусматривает нарезку, по крайней мере, одной продольной полости на почве в зоне будущей литой полосы в опалубке между почвой и кровлей. Полость накрывают щитами, поверх которых отливают бетонную полосу. Способ возведения литой полосы (рис. 5, и) предусматривает нарезание щели вдоль выработки в зоне будущей бетонной полосы, установку в щель закладных элементов и отливку бетонной полосы в опалубке между почвой и кровлей. Щель нарезают посередине зоны будущей бетонной полосы, а как закладные элементы используют арматуру, которую выводят из щели вверх над почвой в сторону кровли. При отливке бетонной полосы одновременно с бетонной полосой заливают бетоном щель и арматуру.

Податливость возведенной охранной полосы должна быть близка к податливости краевой части массива угольного пласта, к которому непосредственно примыкает штрек. Для регулирования податливости литой полосы предложен способ (рис. 5, н), который включает отливку бетонной полосы вдоль выработки в стационарной опалубке между почвой и кровлей с установлением прокладки между бетонной полосой и кровлей. Технология возведения отличается тем, что перед возведением литой полосы в опалубку насыпают породу и укладывают дополнительную прокладку, поверх которой отливают бетонную полосу.

Для пучащих пород предложен способ возведения литой полосы (рис. 5, ж) включает отливку бетонной полосы в опалубке между почвой и кровлей со

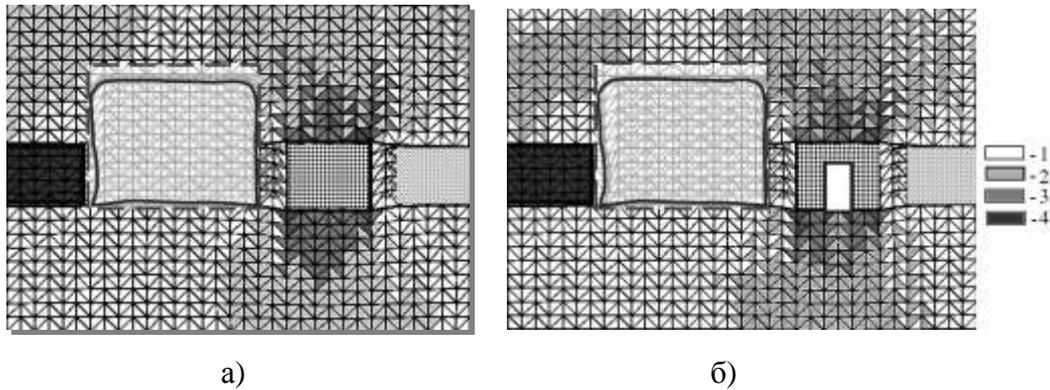
стороны выработки. Перед возведением литой полосы вдоль выработки нарезают щель, в которую устанавливают железобетонные плиты с выступающей арматурой в верхней части. Плиты оставляют в зоне будущей полосы, а при отливке верхнюю часть плит с выступающей арматурой заливают бетоном. Такая комбинированная крепь быстро набирает номинальную нагрузку.

Способы охраны выработок литыми полосами для их повторного использования могут применяться в следующих условиях: мощность угольного пласта – 1,2-2,2 м; угол падения – до 30 градусов; глубина разработки – до 1300 м; обрушаемость пород кровли – любая. Применение способов не рекомендуется при наличии пучения вмещающих пород, то есть при  $\gamma H / [\sigma] > 0,5$  ( $\gamma$  – объемный вес, т/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина заложения, м;  $[\sigma]$  – средневзвешенная прочность пород почвы, Па [1]).

ИГТМ НАН Украины совместно с Министерством топлива и энергетики Украины разработан «Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов», который определяет выполнение технологических операций по охране выработок литыми полосами в условиях шахт, разрабатывающих пологие пласты комплексно-механизированными лавами. Для разработки технологического регламента на шахте «Красноармейская - Западная № 1» проведены специальные шахтные испытания во втором южном конвейерном штреке блока 5, который был закреплен базовой рамной крепью. Сущность испытаний заключалась в оценке влияния расстояния до охранной полосы на эффективность поддержания штрека. Опробовано четыре базовых варианта его охраны: полоса шириной 1 м на удалении 1 м; полоса шириной 1 м, расположенная на контуре штрека; полоса шириной 1 м – на удалении 0,5 м; две полосы шириной 0,6 м и 0,8 м, расположенные с промежутком 0,6 м, при этом первая полоса размещена сразу за контуром штрека. Вариант 1, с точки зрения теории горного давления, кажется благоприятным. Однако наблюдения показали, что через 3-5 суток под действием сил горного давления деформируются элементы охранной конструкции в связи с образованием трех линий разлома пород кровли. Опускание кровли составляет 80-100 мм. Имеет место пучение в средней части выработки величиной до 200 мм. Недостатком является то, что на начальном этапе, пока литая полоса не набрала номинальную прочность, а также вследствие большого пролета незакрепленной части выработки опускание пород происходит с поворотом от лавы и деформирует крепь, образуя щели в соединениях крепи. Кроме того, удаление полосы от штрека усложняет технологию ее возведения.

Для варианта 2 характерным является пучение пород, которое достигает 350-400 мм, причем большие его величины наблюдаются вблизи литой полосы. Опускание кровли составили 50-70 мм. Площадное развитие пучения по штреку (100-150 мм) наблюдалось и в третьем варианте сооружения охранной полосы. Для варианта 4 характерно более равномерное пучение выработки (до 150-200 мм). Отмечена также равномерная нагрузка на охранную конструкцию. Однако этот вариант отличается сложностью в технологическом плане и

большим расходом цементно-минеральной смеси. Таким образом, из четырех рассмотренных вариантов наиболее рациональным был третий вариант возведения литой полосы, однако и технологию возведения двойной полосы можно значительно упростить, если воспользоваться способом, представленном на рисунке 5, з (см. патент № 114117). Различия напряженно-деформированных состояний пород вокруг выработки при применении одной и двух полос показаны на рисунке 6.



$$1 - \sigma_1 = (0-1) \cdot \gamma H; 2 - \sigma_1 = (0-1) \cdot \gamma H; 3 - \sigma_1 = (0-1) \cdot \gamma H; 4 - \sigma_1 = (0-1) \cdot \gamma H$$

Рисунок 6 – Влияние технологии возведения литой полосы на НДС вокруг выработки

В результате визуальных наблюдений и моделирования установлено, что наибольшие изменения напряженно-деформированного состояния пород наблюдаются в напластованиях основной кровли (рис. 7 и 8). При этом в процессе деформирования пород происходит образование локальных зон повышенного давления. Разуплотнение породных отдельностей приводит к расслаиванию и растрескиванию слоев кровли и боков выработок. Надлежащий контакт полосы с породами кровли обеспечивает функциональное ее назначение как несущей опоры и «режущей крепи», инициирующей обрушение пород по кромке «опора – лава» с формированием защитного перекрытия над штреком.

Материалы для возведения полос должны удовлетворять следующим требованиям: через сутки после их укладки в полосу прочность должна составлять не менее 10 МПа; через 28 суток после укладки конечная прочность на одноосное сжатие стандартных образцов не менее 20 МПа. Материалы не должны терять прочность ниже 20 МПа под воздействием шахтных вод, а исходные материалы должны быть нетоксичными и негорючими, пригодными для транспортирования по трубам в сухом виде или в виде раствора [1].

Таким образом, выявлены недостатки существующих технологий возведения литых полос и установлены факторы повышения их технической эффективности.

Разработаны новые способы возведения литых полос, которые дают возможность регулировать их отпор и воздействие на напряженно-деформированное состояние прилегающего породного массива.

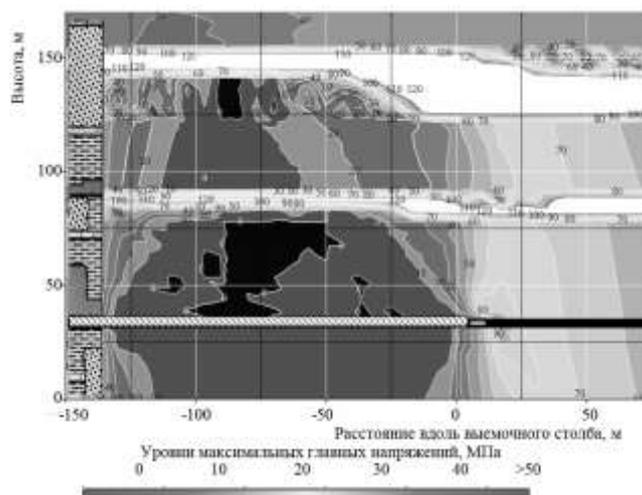
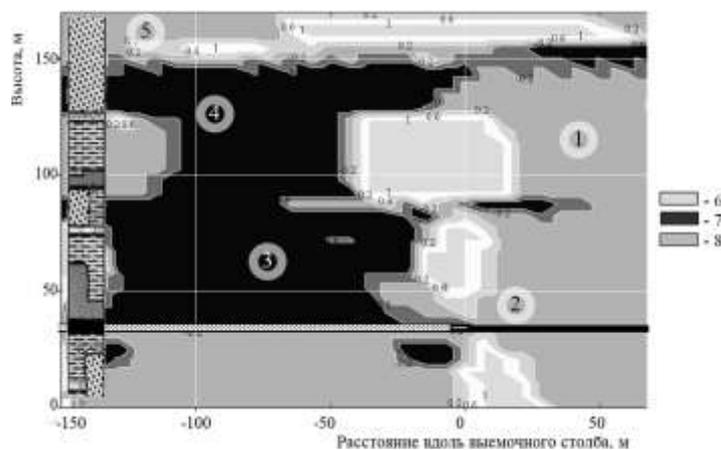


Рисунок 7 – Распределение максимальных главных напряжений в породном массиве вокруг лавы



1 – нетронутый массив; 2 – зона опорного давления; 3 – зона обрушения основной кровли; 4 – зона оседания; 5 – зона разгрузки; 6 – неупругие деформации; 7 – локализация открытых трещин; 8 – упругие деформации

Рисунок 8 – Зоны неупругих деформаций в породном массиве вокруг лавы

Показано, что крепь должна быть симметричной по нагрузке, отставание полосы от очистного забоя от 3 м до 6 м для устойчивых пород кровли, полосу в зависимости от прочности пород кровли и почвы необходимо сместить от контура выработки, ширина полосы равна 0,7 мощности пласта. Внедрение описанной технологии охраны штреков на пологих пластах позволяет не только реализовать известные геомеханические принципы охраны выработок, но и практически обеспечить внедрение прямоточной схемы проветривания на газоносных пластах для достижения высоких нагрузок на лаву.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временный технологический регламент по охране подготовительных выработок угольных шахт литыми полосами из твердеющих материалов / А.Ф. Булат [и др.] Днепропетровск: РИА «Днепр – VAL», 2004. 33 с.
2. Ильяшов М.А., Байсаров Л.В. Новые технологические решения в охране концевых участков высоконагруженных лав / Геотехническая механика. Днепропетровск. ИГТМ НАНУ, 2006. № 61. С.79-92.
3. Ильяшов М.А. Охрана повторно используемых выработок, как один из факторов обеспечения эффективности и

безопасности разработки угольных пластов на больших глубинах // Геотехническая механика. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2006. № 66. С.39-44.

4. Терещук Р.Н., Лозовский С.П. Устойчивость подготовительных выработок с неустойчивой почвой в зоне влияния очистных работ. Днепропетровск: НГУ, 2014. 104 с.

5. Слащев И.Н. Применение информационных технологий для повышения эффективности и безопасности горных работ // Уголь Украины. 2013. № 2. С. 40-43.

6. Gallager R. (1984). *Finite Element Analysis. Fundamentals*, Moscow: Nauka.

7. Zienkiewicz O.C., Taylor R. L., Zhu J. Z. (2005). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*, Butterworth-Heinemann.

8. Слащев И.Н. Разработка математической модели и технологии компьютерного анализа тектонически нарушенного структурно-неоднородного породного массива // Геотехническая механика. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2012. № 104. С. 94-109.

9. Порядок применения «Технологического регламента поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами» / А.Ф.Булат [и др.] // Геотехническая механика. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2009. № 83. С.3-13.

10. Математическое моделирование в задачах оценки эффективности и безопасности горных работ / М.Ю. Иконников, Ю.Р. Иконников, Е.А. Слащева, И.Н. Слащев, А.А. Яланский. Днепропетровск: НГУ, 2015. 215 с.

#### REFERENCES

1. Bulat, A.F. et al. (2004), *Vremennyy tekhnologicheskyy reglament po okhrane podgotovitelnykh vyrobotok ugol'nykh shakht litymi polosami iz tverdeyushchikh materialov* [Temporal technological regulation on the protection of the preparatory workings of coal mines the casting strips from hardening materials], RIA «Dnepr – VAL», Dnepropetrovsk, UA.

2. Ilyashov, M.A. and Baysarov, L.V. (2006), «New technological decisions in the protection of end areas of the high-loaded faces», *Geo-Technical Mechanics*, no. 61, pp. 79-92.

3. Ilyashov, M.A. (2006), «Protection of the repeatedly used making, as one of factors providing of efficiency and safety of exploitation of coal beds on great depths», *Geo-Technical Mechanics*, no. 66, pp. 39-44.

4. Tereshchuk, R.N. and Lozovskiy, C.P. (2014). *Ustoychivost podgotovitelnykh vyrobotok s neustoychivoy pochvoy v zone vliyaniya ochistnykh robot* [Stability of the preparatory workings with unsteady bed in the affected zone of breakage works], *Natsionalnyy gornyy universitet, Dnepropetrovsk, UA*.

5. Slashchov, I.M. (2013), «Use of information technology to increase the efficiency and safety of mining workings», *Coal of Ukraine*, no. 2, pp. 40-43.

6. Gallager, R. (1984). *Finite Element Analysis. Fundamentals*, Nauka, Moscow.

7. Zienkiewicz, O.C., Taylor, R. L. and Zhu J. Z. (2005), *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*, Butterworth-Heinemann.

8. Slashchov, I.M. (2012), «Development of mathematical model and technology of computer analysis of tectonically disturbed structurally-heterogeneous rock massifs», *Geo-Technical Mechanics*, no. 104, pp. 94-109.

9. Bulat, A.F. et al. (2009), « Order of application of «Technological regulation of maintenance of the repeatedly used extraction drifts by the combined protection systems», *Geo-Technical Mechanics*, no. 83, pp. 3-13.

10. Ikonnikov, M.Yu., Ikonnikov, Yu.R., Slashchova, O.A., Slashchov, I.M. and Yalanskiy, A.A. (2015), *Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh otsenki effektivnosti i bezopasnosti gornyykh robot* [Mathematical modeling in solving problems of evaluating the efficacy and safety of mining workings], *Natsionalnyy gornyy universitet and IGTM NAS of Ukraine, Dnipropetrovsk, UA*.

#### Об авторах

**Яланский Анатолий Александрович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [anat.yalanskiy@gmail.com](mailto:anat.yalanskiy@gmail.com)

**Слащев Игорь Николаевич**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [IMSlashchov@nas.gov.ua](mailto:IMSlashchov@nas.gov.ua)

**Слащева Елена Анатольевна**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [OASlashchova@nas.gov.ua](mailto:OASlashchova@nas.gov.ua)

**Селезнев Анатолий Михайлович**, магистр, ведущий специалист в отделе механики горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [anat.yalanskiy@gmail.com](mailto:anat.yalanskiy@gmail.com)

**Арестов Вадим Викторович**, аспирант, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, [anat.yalanskiy@gmail.com](mailto:anat.yalanskiy@gmail.com)

#### About the authors

**Yalanskyi Anatolii Oleksandrovych**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Principal Researcher in Rock Mechanics Department, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [anat.yalanskiy@gmail.com](mailto:anat.yalanskiy@gmail.com)

**Slashchov Ihor Mykolaiovych**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in

Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [IMSlashchov@nas.gov.ua](mailto:IMSlashchov@nas.gov.ua)

**Slashchova Yelena Anatoliiivna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [OASlashchova@nas.gov.ua](mailto:OASlashchova@nas.gov.ua)

**Seleznov Anatolii Mykhaylovych**, Master of Science, Principal Specialist in Rock Mechanics Department, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [anat.yalanskiy@gmail.com](mailto:anat.yalanskiy@gmail.com)

**Arestov Vadym Viktorovich**, Master of Science, Doctoral Student, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov NAS of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, [anat.yalanskiy@gmail.com](mailto:anat.yalanskiy@gmail.com)

**Анотація.** У статті представлена розробка нових способів охорони підготовчих гірничих виробок литими смугами із швидкотверднучих матеріалів. Відомо, що в зоні впливу очисних робіт підготовчі виробки вугільних шахт інтенсивно деформуються, при цьому через великі зсуви породного контуру витрачаються значні обсяги матеріальних ресурсів на їх ремонт. Для повторного використання підготовчих гірничих виробок при відносно міцних породах покрівлі в якості кріплення часто застосовують литі смуги або їх комбінації з рамним і анкерним кріпленням. Проблеми, які при цьому виникають, пов'язані з розмоканням порід слабкої підшови вугільних пластів, гіпсометрією покрівлі і недостатньою міцністю смуг на початковому етапі набору міцності. Засоби кріплення і способи охорони підготовчих гірничих виробок часто не відповідають геомеханічним особливостям проявів гірського тиску, що стає основною причиною незадовільного стану гірничих виробок. Для оцінки можливих резервів підвищення ефективності застосування литих смуг спільно з іншими засобами кріплення обґрунтована математична модель складноструктурного породного масиву. Проведено математичне моделювання напружено-деформованого стану методом скінчених елементів. Змодельовані жорстка і податлива литі смуги, різні технології зведення литої смуги, а також комбінація литих смуг з анкерним і арочним кріпленням. Визначені розташування та розміри зон руйнування порід, напруження в породному масиві при різних варіантах кріплення. Виявлені недоліки існуючих технологій зведення литих смуг і встановлено фактори підвищення їх технічної ефективності. На базі проведених досліджень розроблено нові способи зведення литих смуг, які дають можливість регулювати їх опір і вплив на напружено-деформований стан прилеглого породного масиву. Математичне моделювання для конкретних гірничо-геологічних умов шахти показало задовільну збіжність з натурними даними, тому запропоновані технічні рішення можна ефективно застосовувати на виробництві.

**Ключові слова:** охорона гірничих виробок, литі смуги, комп'ютерне моделювання методом кінцевих елементів, способи і засоби кріплення

**Abstract.** The article presents development of new auxiliary measures for protecting preparatory roadways by cast strips made of fast-hardening materials. It is known that in the zone under the influence of winning operations, the preparatory roadways in the coal mines are intensively deformed, and considerable amounts of material resources are spent for their repair due to the vast displacements of the rock contour. For the purpose of reusing the preparatory roadways in case of relatively hard rocks in the roofs, cast strips or their combinations with arch supports and anchor bolting are often used as a support. The problems that arise in this case are connected with the soft soil rocks soaking in the coal seams, hypsometry of the roof and insufficient strength of the strips at the initial stage of the strength gaining. Facilities and methods for preparatory roadway supporting often do not correspond to geomechanical features of the rock pressure manifestations, which becomes the main cause of unsatisfactory state of the mine roadways. In order to estimate potential reserves for improving efficiency of the cast strip used together with other roadway supports, a mathematical model of the complex-structured rock massif was validated. The mathematical modeling of the stress-strain state was performed with the help of finite element method. The rigid and yielding cast strips, various technologies for their erection, as well as a combination of the cast strips with anchor bolting and arch support were modeled. Locations and sizes of rock fall zones and rock massif stresses were determined for various types of supporting. Drawbacks of existing technologies for cast strip erection and factors, which can improve their technical efficiency, were specified. On the basis of research results, new methods of cast strip erection were developed, which made it possible to control their resistance and impact on the stress-strain state of the adjacent rock massif. The mathematical modeling of specific mining and geological conditions for concrete mine showed satisfactory convergence with the field data, therefore, the proposed technical solutions can be effectively applied in production.

**Keywords:** protection mine workings, cast strips, computer modelling by the method of finite elements, methods and facilities of supporting.

*Стаття надійшла до редакції 3.06. 2018*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук С.І. Скіпочкою*