

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНОГО ОБНАЖЕНИЯ В ПРОВОДИМЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Рассмотрены вопросы характерных форм потери устойчивости породного обнажения, влияния горно-геологических и горно-технических факторов на устойчивость пород кровли в призабойном пространстве проводимых горных выработок.

**Ключевые слова:** устойчивость; геомеханика; обрушение.

Установлены наиболее существенно влияющие на устойчивость породного обнажения следующие горно-геологические факторы: *слоистость* – при прочности слоев на одноосное сжатие 50–60 МПа и мощности их более 0,8 м породные обнажения кровли сохраняют устойчивое состояние свыше 2 ч, при мощности слоя от 0,1 до 0,4 м и прочности пород при сжатии до 40 МПа время устойчивого состояния сохраняется в пределах одного часа, а при мощности слоев менее 0,1 м, что характерно для ложной кровли, время их устойчивого состояния составляет до 10–20 мин; *трещиноватость* – в сильнотрещиноватых, нарушенных породах, залегающих в основном над угольными пластами (преимущественно ложная кровля), с расстоянием между трещинами от 0,01–0,2 м, их устойчивость обычно не превышает 20 мин, породы слабые, сильнотрещиноватые от 0,3–0,5 м, с пределом прочности при сжатии 20–40 МПа, устойчивы в течение 0,5–1,5 ч, породы массивные, трещиноватые 0,6–1 м, прочность 40–50 МПа, устойчивы в течение 2–3,5 ч; *влажность* – песчаники на карбонатном цементе при увеличении влажности теряют прочностные характеристики примерно на 5%, алевролиты на кремнистом и карбонатно-кремнистом цементе – 14%, алевролиты с глинистым цементом – 20–30%, аргиллиты – 40–60% и углистые аргиллиты – до 80%.

Обобщением фактических данных и обследованием ряда горизонтальных выработок на шахтах Кемеровского, Ленинского, Прокопьевско-Киселевского, Томусинского и других районов Кузбасса установлено, что примерно в 58% общей протяженности из них породные обнажения кровли и частично боков теряют устойчивость непосредственно при обнажении или спустя некоторое время после обнажения. Потеря устойчивости обнажений характеризуется локальными вывалами и сплошными вывалами пород кровли на участках протяженностью 15–20 м и больше, в части выработок по пластам с ложной и легкообрушающейся кровлей общей мощностью до 0,3–0,5 м по всей их длине.

Значительный вклад в исследования и обобщение результатов научной работы в области обоснования устойчивости породных обнажений и геомеханических параметров устойчивости горных выработок внесли отечественные и зарубежные ученые К.А. Ардашев, Н.П. Бажин, И.В. Баклашов, А.А. Борисов, Н.С. Булычев, В.Н. Вылегжанин, Г.И. Грицко, А.Н. Динник, П.В. Егоров, Ю.А. Заславский, В.Н. Каретников, Б.А. Картозия, Г.Н. Кузнецов, Г.Н. Кулаков, М.В. Курленя, В.А. Лидер, А.Г. Протосеня, В.В. Тайский, В.Н. Фрянов, И.Л. Черняк, А.П. Широков, Г.Г. Штумпф, Я. Фармер, О. Якоби и др. [1].

Показано, что устойчивость породных обнажений в горных выработках зависит от многих горно-геологических, горно-технических и технологических факторов. Анализ научно-технической литературы показал, что недостаточно изучены факторы, влияющие на устойчивость породных обнажений в подготовительных выработках и сравнительно слабо обоснованы способы повышения их устойчивости. В наибольшей мере это касается вопросов повышения устойчивости породных обнажений на стадии проведения выработок.

Настоящая работа направлена на решение вопроса повышения устойчивости породных обнажений в горизонтальных горных выработках на стадии их сооружений на основе результатов исследований геомеханических процессов и разработанных способов и средств управления ими.

Анализ и обобщение состояния горно-подготовительных работ и обследования выработок шахт бассейна показали, что на стадии проходки примерно в 25–30% из них происходят опасные деформации и потери устойчивости породных обнажений, в этом числе 40% из них вне зоны влияния очистных работ и 60% – в зоне влияния. Потери устойчивости породных обнажений приводят к снижению скорости проведения выработок на 40–45% и увеличению расхода крепежных материалов. Кроме того, 35–40% несчастных случаев на горно-подготовительных работах обусловлены потерей устойчивости породных обнажений и обрушением пород кровли и боков выработок.

Одной из основных причин потери устойчивости породных обнажений и увеличения затрат на их крепление, в особенности с углублением горных работ, является недостаточная изученность геомеханических процессов в приконтурных породах и обнажениях. Сложность задачи по повышению устойчивости породных обнажений в значительной мере определяется большим разнообразием горно-геологических условий – по мощности и углу падения пластов, строению и прочности вмещающих пород и др.

В ходе анализа результатов шахтных наблюдений и материалов геолого-маркшейдерских служб шахт выявлены 4 наиболее характерные формы потери устойчивости породных обнажений пород кровли (рис. 1).

Трапецевидная (рис. 1, а) образуется в основном из-за малого сцепления между слоями, мощность которых 0,2–0,6 м, прочность пород при сжатии 25–40 МПа.

Сводчатая полуциркулярная (рис. 1, б) образуется, когда вывал равен или более полупролета выработки, предел прочности пород кровли при сжатии 30–40 МПа, расстояние между трещинами 0,2–0,3 м.

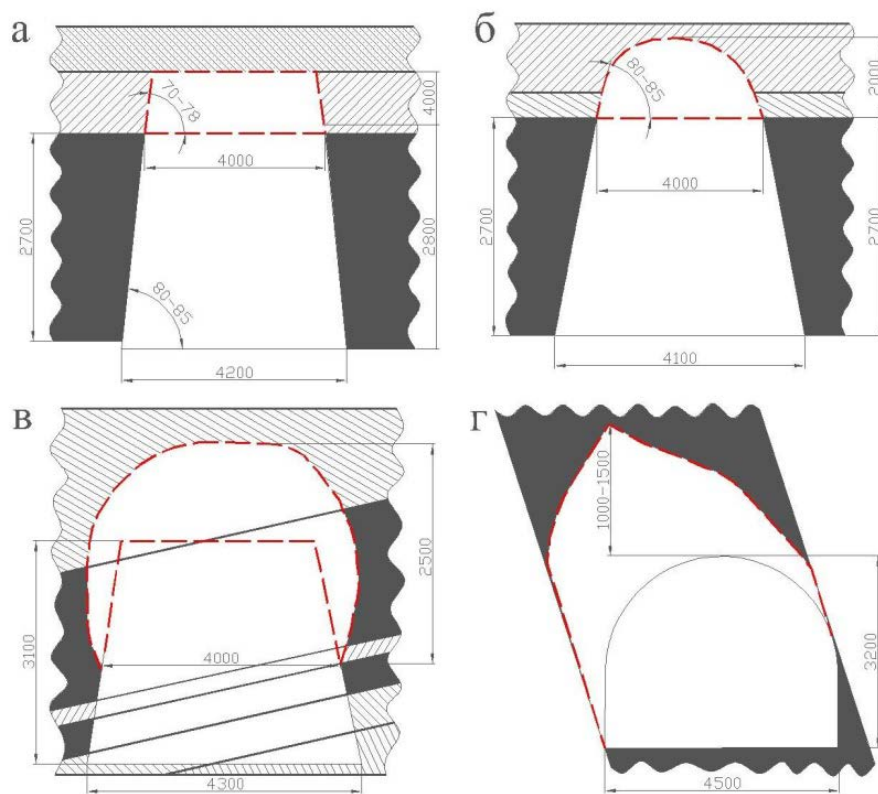


Рис. 1. Характерные формы потери устойчивости

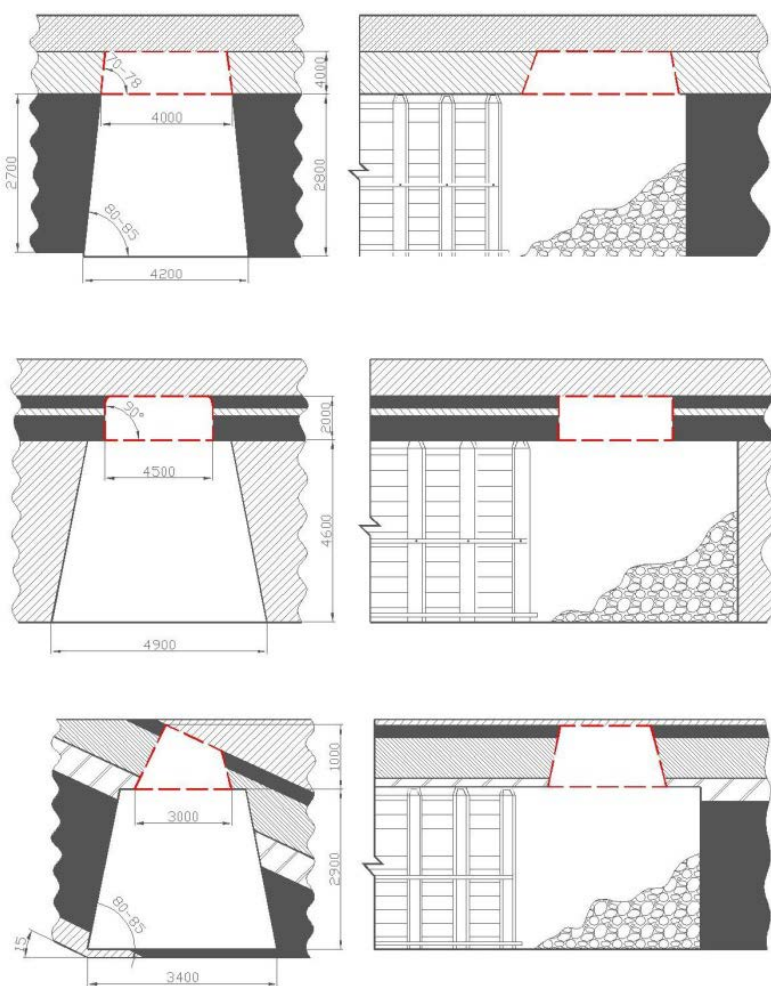


Рис. 2. Характерные формы обрушения слоистых горных пород

Сводчатая циркулярная (см. рис. 1, в) образуется, когда вывал меньше или равен полупролету выработки, породы кровли однородные, разнослоистые, трещиноватые, предел прочности при сжатии 25–45 МПа, расстояние между трещинами 0,1–0,2 м.

Параболическая форма вывала (см. рис. 1, г) встречается в однородных породах с пределом прочности при сжатии до 30 МПа, трещиноватых, расстояние между трещинами 0,01–0,1 м (более 8 трещин на 1 м).

Нами была поставлена задача установить влияние слоистости на устойчивость породных обнажений в горных выработках. Наблюдения проводились в призабойном пространстве горных выработок шахт бассейна (способ проведения комбайновый, площадь поперечного сечения в проходке 10–12 м<sup>2</sup>, обнажаемая площадь 2–5 м<sup>2</sup>, глубина расположения выработок 250–320 м, крепь металлическая трапецевидная из спецпрофиля СВП – 17

и СВП – 22, выработки не испытывали влияния очистных работ). В результате были выявлены характерные формы (см. рис. 2) обрушения слоистых горных пород.

Вывалы, вызванные слабым межслоевым контактом, имеют трапецевидную или прямоугольную форму как во фронтальном, так и в профильном сечении (рис. 2).

Анализ результатов проведенных натуральных наблюдений показал, что уголь и углистые аргиллиты сильно трещиноватые и мелкослоистые мощностью менее 0,1 м, склонны к самопроизвольному отслаиванию в течение 10–15 мин, остальные горные породы с пределом прочности более 60 МПа при площади обнажения 5 м<sup>2</sup> обрушаются через 35 и более минут.

На рис. 3 приведены графики зависимости времени устойчивого состояния породных обнажений кровли в проводимых горных выработках от мощности слоев без угольных прослоек и с угольными прослойками.

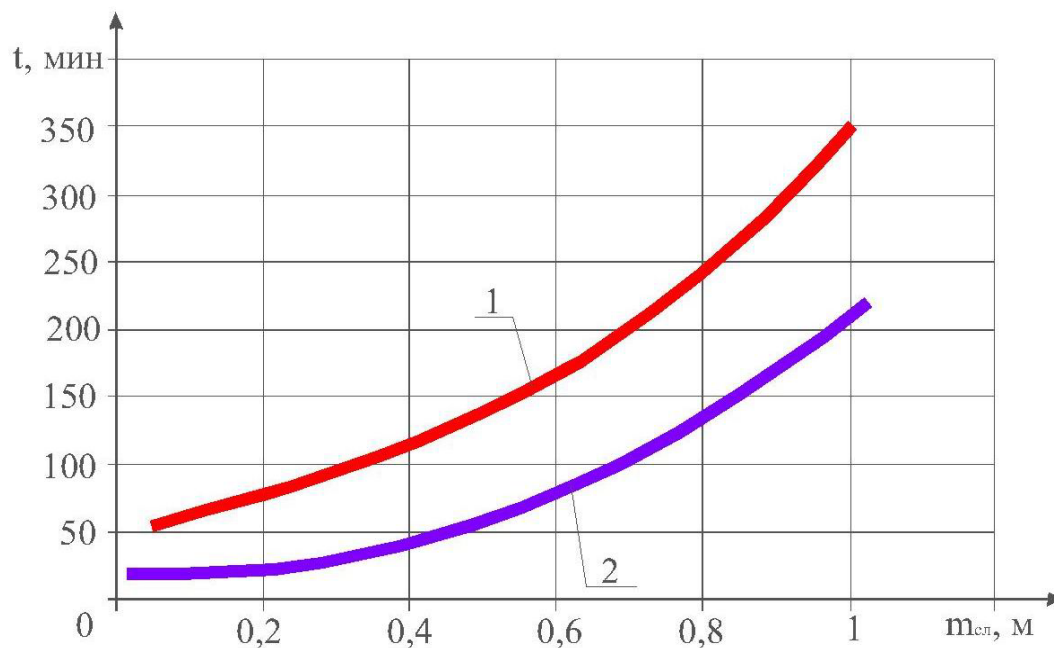


Рис. 3. Зависимость времени (t) устойчивого состояния породного обнажения от мощности слоя (m<sub>сл</sub>):  
1 – кровля сложена слоями алевролитов и песчаников; 2 – кровля сложена слоями алевролитов и песчаников с включениями прослойки угля мощностью 50–80 мм

В ходе анализа полученных данных с помощью математической статистики были получены корреляционные зависимости для определения времени сохранения устойчивого состояния кровли:

– сложенной слоями алевролитов и песчаников:

$$t = 61,8 - 3,8m_{сл} + 285,6m_{сл}^2;$$

– сложенной слоями алевролитов и песчаников с включениями прослойки угля:

$$t = 21,03 - 45m_{сл} + 222,5m_{сл}^2.$$

Коэффициент корреляции для обоих случаев равен 0,92.

Нами установлено, что в случае, когда прочность слоев на одноосное сжатие 50–60 МПа и мощность их более 0,8 м, породные обнажения кровли сохраняют устойчивое состояние свыше 2 ч. При мощности слоя от 0,1 до 0,4 м и прочности пород при сжатии до 40 МПа время устойчивого состояния сохраняется в пределах

одного часа, а при мощности слоев менее 0,1 м, что обычно характерно для ложной кровли, время их устойчивого состояния составляет от 10 до 20 мин.

Устойчивость породных обнажений пород кровли под влиянием трещиноватости снижается примерно на 40–50%, что указывает на необходимость детализации ее влияния. В ходе лабораторных исследований выявлено, что подавляющее большинство трещин в породах заполнено глинистыми, карбонатными, углистыми и другими материалами. На поверхности трещин в алевролитах встречаются тонкие налеты глинистых и известковых веществ. Ширина трещин в породах достигает 0,08 м, хотя наиболее часто встречается менее 0,002 м.

На рис. 4 приведены результаты исследования зависимости времени сохранения устойчивого состояния породных обнажений в зависимости от расстояния между трещинами в породах кровли проводимых горных выработок.

Из рис. 4 следует, что в сильнотрещиноватых нарушенных породах, залегающих в основном над угольными пластами (преимущественно ложная кровля) с расстоянием между трещинами от 0,01–0,2 м, время устойчивого состояния обычно не превышает 20 мин.

Породы слабые, с пределом прочности при сжатии 20–40 МПа, сильнотрещиноватые от 0,3 до 0,5 м, устойчивы 0,5–1,5 ч. Массивные трещиноватые породы с расстоянием между трещинами 0,6–1 м, предел прочности при сжатии 40–50 МПа, устойчивы 2–3,5 ч.

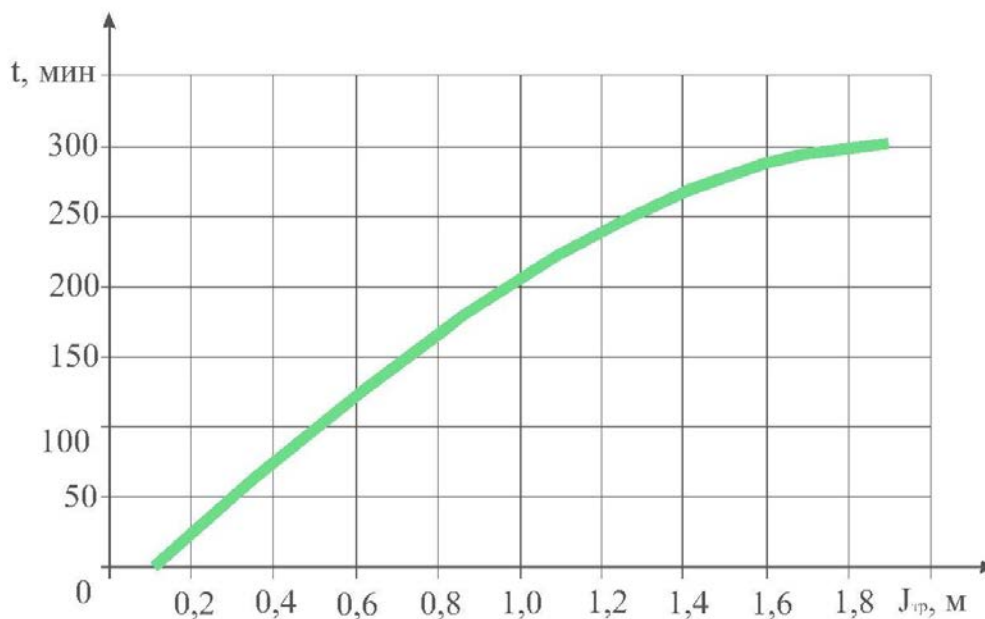


Рис. 4. Зависимость времени устойчивого состояния природного обнажения от расстояния между трещинами

В результате обработки полученных данных с помощью методов математической статистики была получена корреляционная зависимость времени устойчивого состояния от интенсивности трещиноватости:

$$t = 268J_{ТР} - 18,6J_{ТР}^2 - 16,5J_{ТР}^3 - 27,3.$$

Коэффициент корреляции равен 0,9.

При решении различных задач охраны, крепления и определении нагрузки на крепь и т.д. требуется дифференцированный подход к оценке прочности пород массива. В наибольшей мере это касается прочности пород в случае обоснования устойчивости породных обнажений в проводимых и поддерживаемых горных выработках.

Выполненные нами лабораторные испытания прочностных свойств включали в себя все литологические типы горных пород Кузбасса с учетом основных структурно-текстурных элементов их строения (рис. 5).

Предел прочности горных пород при сжатии ( $\sigma_{сж}$ ) в кровле угольных пластов бассейна колеблется: песчаники от 10–180 МПа, алевролиты от 10–130 МПа, аргиллиты 4–20 МПа, каменный уголь 7–25 МПа, предел прочности пород на растяжение ( $\sigma'$ ) соответственно 1,6–20,8 МПа, 1–10,4; 0,6–3,2 и 1,1–4 МПа [2, 3].

Проведенный анализ результатов лабораторных исследований показал, что главным образом прочность пород кровли зависит от вещественного состава, слоистости, трещиноватости и других макро- и микродефектов строения. За счет слоистости прочность пород кровли пластов снижается в 1,5–4 раза, а за счет трещиноватости – в 3–15 раз.

Наблюдения за влиянием влажности на устойчивость пород кровли в призабойном пространстве проводимых пластовых выработок проводились на отдельных шахтах Кемеровского и Ленинского районов.

В ходе проведенных исследований было выявлено, что песчаники и алевролиты с преобладанием кремнистого цемента практически не размокают независимо от времени нахождения в водной среде и коэффициент размягчения  $K_p = 0,97 - 1$ . Аргиллиты, алевролиты, углистые алевролиты и аргиллиты, слабые и нарушенные алевролиты при большой влажности в течение 3–9 ч размокают и разрушаются на мелкие кусочки, вследствие чего теряют практически полностью устойчивость. Коэффициент размягчения для углистых и нарушенных алевролитов и аргиллитов прочностью менее 40 МПа составляет 0,5–0,7.

Результаты исследований показали (рис. 5), что песчаники на карбонатном цементе при увеличении влажности теряют устойчивость примерно на 5%, алевролиты на кремнистом и карбонатно-кремнистом цементе – 14%, алевролиты с глинистым цементом – 20 – 30%, аргиллиты – 40–60% и углистые аргиллиты – до 80%.

Обобщив результаты проведенных выше исследований, мы разработали классификацию пород по устойчивости породных обнажений, в основу которой положены: слоистость, трещиноватость, прочность пород при сжатии, влажность, площадь и время устойчивого состояния, так как рассматриваемые параметры оказывают наибольшее влияние на выбор и обоснование технологии проведения горных выработок, выбор типа крепи и т.д.

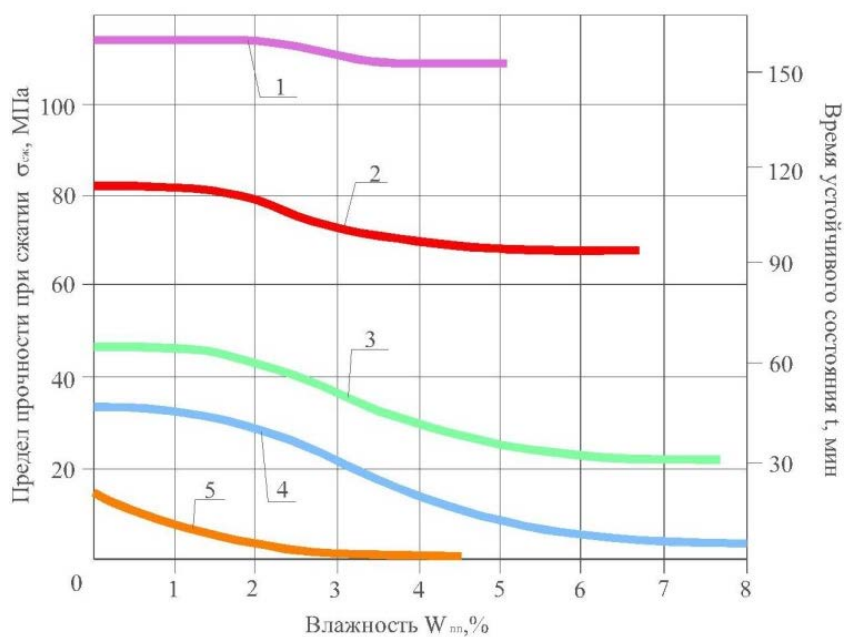


Рис. 5. Зависимость времени устойчивого состояния породного обнажения от расстояния между трещинами

Фактические данные и результаты шахтных наблюдений указывают на зависимость устойчивости породных обнажений от ряда горно-технических факторов, в связи с этим в выработках на шахтах Кузбасса проводились инструментальные и натурные наблюдения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Третенков И.В. Результаты исследования устойчивости породных обнажений в призабойном пространстве проводимых горных выработок // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых : материалы конф., посвящ. 70-летию со дня рождения д-ра техн. наук, проф., заслуж. шахтера РФ, действит. члена Рос. академии естеств. наук В.В. Егошина (19 июля 2001 г.). Кемерово, 2001. С. 76–79.
2. Третенков И.В. Исследования влияния слоистости на устойчивость горных пород в призабойном пространстве проводимых горизонтальных и наклонных горных выработок // Вестник КузГТУ. 2002. № 2. С. 49–51.
3. Третенков И.В. Влияние горнотехнических факторов на устойчивость породных обнажений выработок и безопасность горно-проходческих работ // Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Кемерово, 2002. С. 96–97.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 11 мая 2012 г.