

Код МРНТИ 52.13.25

Р.А. Мусин, В.Ф. Демин, *Д.Р. Ахматнуров, И.М. Шмидт-Федотова
Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет
им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ПУЧЕНИЕ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ

Аннотация. Исследование посвящено комплексной оценке влияния горного давления на процессы пучения вмещающих пород с применением численного моделирования в средах FLAC3D и UDEC. Рассмотрены особенности напряженно-деформированного состояния массива при различных горно-геологических условиях, включая глубокие горизонты разработки и зоны повышенной трещиноватости. Определены глубина и конфигурация пластических зон, параметры активного пучения и зависимость скорости деформаций от коэффициента бокового давления. На основе обобщения шахтных наблюдений и экспериментальных данных выявлены критические режимы нагружения, при которых риск ускоренного пучения существенно возрастает. Полученные результаты позволяют разработать эффективные меры по прогнозированию и предотвращению опасных проявлений пучения, обеспечивая повышение безопасности горных работ.

Ключевые слова: пучение пород, подошва выработки, коэффициент бокового давления, FLAC3D, UDEC, анкерное крепление, смолиньекционное упрочнение, пластические деформации.

Тау жынысы қысымының әсерінен қабылдаушы тау жыныстарының ауырлауы: сандық модельдеу және параметрлерді талдау

Аңдатпа. Зерттеу FLAC3D және UDEC орталарында сандық модельдеу арқылы жыныстарға түсетін тау қысымының ісінуге (пучение) әсерін кешенді бағалауға арналған. Өртүрлі тау-геологиялық жағдайлардағы, соның ішінде терең горизонттар мен жарықшақтылығы жоғары аймақтардағы массивтің кернеулі-деформацияланған күйінің ерекшеліктері қарастырылды. Пластикалық аймақтардың тереңдігі мен конфигурациясы, белсенді ісіну параметрлері және деформация жылдамдығының бүйірлік қысым коэффициентіне тәуелділігі анықталды. Шахталық байқаулар мен тәжірибелік деректерді қорыту негізінде жеделдетілген ісіну қаупі айтарлықтай артатын жүктеме режимдері анықталды. Алынған нәтижелер қауіпті деформациясының алдын алу мен болжауға тиімді шараларды әзірлеуге мүмкіндік береді, тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін арттыра отырып.

Түйінді сөздер: тау жыныстарының ауыруы, жұмыс түбі, бүйірлік қысым коэффициенті, FLAC3D, UDEC, зәкірлеу, шайырды инъекциялауды қатайту, пластикалық деформация.

Heaving of host rocks under the influence of rock pressure: numerical modeling and analysis of parameters

Abstract. The study is devoted to a comprehensive assessment of the influence of rock pressure on the heaving processes of surrounding rocks using numerical modeling in FLAC3D and UDEC environments. The features of the stress-strain state of the rock mass under various geological conditions, including deep mining levels and zones of increased fracturing, are considered. The depth and configuration of plastic zones, the parameters of active heaving, and the dependence of deformation rates on the lateral pressure coefficient have been determined. Based on the generalization of mine observations and experimental data, critical loading regimes that significantly increase the risk of accelerated heaving have been identified. The obtained results allow the development of effective measures for predicting and preventing dangerous manifestations of heaving, ensuring increased safety in mining operations.

Key words: heaving of rocks, bottom of working, lateral pressure coefficient, FLAC3D, UDEC, anchoring, resin injection.

Введение

В условиях интенсивного освоения глубинных горизонтов угольных и рудных месторождений все более остро встает проблема устойчивости подземных горных выработок, особенно в массиве слабых, водонасыщенных или набухающих пород. Пучение почвы (днища) выработки – один из наиболее распространенных и опасных видов деформаций, способных привести к серьезным авариям, нарушению технологического процесса и значительным финансовым затратам на восстановление работоспособности горной выработки [1].

На шахтах Карагандинского угольного бассейна фиксировались случаи подъема почвы на 30–50 см за несколько недель, что сопровождалось разрушением крепи и остановкой транспорта. Один из примеров – авария на шахте им. Костенко в 2016 г., где пучение привело к обрушению крепи в монтажной камере, полной остановке очистного участка и необходимости инъекционного укрепления массива.

Согласно исследованиям Д. Ахматнурова [2], применение комбинированных схем анкерного крепления позволяет снизить амплитуду пучения до 0,02–0,04 м, что подтверждается данными зарубежных авторов [3], [4]. В то же время, даже незначительное увеличение коэффициента бокового давления приводит к росту скорости пучения на 20–30%, требуя предварительного упрочнения массива [5].

Пучение проявляется в виде поднятия почвы выработки под воздействием горного давления, перераспределения напряжений и особенностей геологического строения массива (рис. 1).



**Рис. 1. Пучение почвы со дна выработки.
Сурет 1. Қазба түбінен топырақтың ісінуі.
Figure 1. Floor heave from the mine working bottom.**

Особенно сильно данный эффект выражен в глинистых и аргиллитовых породах, склонных к набуханию при изменении влажности и раскрытии естественных трещин.

Также на процессы пучения существенное влияние оказывает коэффициент бокового давления, определяющий соотношение горизонтальных и вертикальных напряжений в массиве [6].

При значениях, близких к единице и выше, вмещающие породы находятся в состоянии повышенного сжатия, что способствует накоплению упругой энергии и последующему ее высвобождению в виде интенсивного выдавливания материала подошвы в выработку.

Сложность прогноза и мониторинга пучения обусловлена латентным характером этого явления на ранних стадиях, когда визуальные признаки деформаций практически отсутствуют, а также значительной неоднородностью геомеханических свойств пород по простиранию и мощности пласта.

Анализ данных наблюдений и инструментальных замеров показывает, что даже незначительные изменения влажности пород, сезонные колебания температуры или увеличение глубины ведения горных работ всего на 20–40 м способны радикально изменить поведение массива [7]. Это нередко приводит к ускоренной динамике пучения, проявляющейся в виде локальных выпучин, трещинообразования и прогрессирующей деформации крепи [8].

В практике подземной добычи угля зафиксировано множество случаев, когда пучение становилось причиной серьезных производственных нарушений. Так, на шахтах Карагандинского угольного бассейна наблюдались подъемы почвы выработок на 30–50 см в течение нескольких недель [9]. Подобные деформации сопровождалось разрушением или смятием элементов крепи, заклиниванием транспортных средств, нарушением работы ленточных конвейеров, необходимостью повторного углубления почвы и усиления крепежных систем.

Одним из наиболее показательных случаев стало происшествие на шахте им. Костенко в 2016 году [10], когда в монтажной камере произошло обрушение крепи в результате накопленного пучения подошвы. Это привело к полной остановке очистного участка, эвакуации персонала и проведению срочных восстановительных работ, включавших инъекционное укрепление и замену поврежденных конструкций. Аналогичные инциденты имели место на шахтах им. Саранской и им. 50-летия Октября [11], где пучение достигало критических величин, требуя проведения внеплановых горноспасательных мероприятий.

Опыт анализа таких случаев показывает [12], что профилактика пучения требует комплексного подхода: регулярного инструментального мониторинга, геомеханического моделирования, предварительного укрепления потенциально опасных зон, а также применения комбинированных схем крепления с учетом реальных напряженно-деформированных состояний массива (рис. 2).



Рис. 2. Обрушение кровли вследствие накопленного пучения.

Сурет 2. Жиналған ісіну салдарынан төбенің құлауы.
Figure 2. Roof collapse due to accumulated floor heave.

Методика исследования

Решение проблемы требует системного подхода, включающего геомеханическое районирование, оперативный сейсмоакустический и визуальный мониторинг, а также численное моделирование процессов деформирования массива. Особую роль в этом играют современные программные средства, такие как FLAC3D и UDEC, позволяющие оценивать напряженно-деформированное состояние массива и моделировать поведение трещиноватых пород с учетом влияния внешних и внутренних факторов (рис. 3).

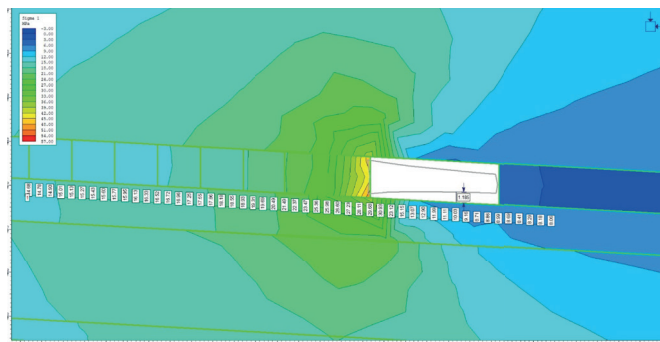


Рис. 3. Моделирование распределения горного давления.

Сурет 3. Тау жынысы қысымының таралуын модельдеу.

Figure 3. Modeling the distribution of rock pressure.

Моделирование выполнено с использованием FLAC3D и UDEC. Рассматривались выработки шириной 4 м на глубине 450 м в алевролитах и аргиллитах.

Были смоделированы три значения коэффициента бокового давления: 1.0, 1.2 и 1.4. Применялась упругопластическая модель с упрочнением и контактным взаимодействием.

Результаты и обсуждение

На основании численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива пород с использованием программных комплексов FLAC3D и UDEC было установлено, что при $K_0 = 1.2$ скорость пучения воз-

растает примерно на 20%, при $K_0 = 1.4$ – до 30%. Активное пучение сосредоточено в зоне до 0.5 м от подошвы выработки, что требует локального укрепления.

Исходные данные. В основу моделирования положены: геометрические параметры подготовительных горных выработок (форма сечения, глубина заложения, способ проведения); физико-механические свойства угольных пластов и вмещающих пород (предел прочности на сжатие и растяжение, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, угол внутреннего трения, сцепление, плотность); трещиноватости массива, определенные по лабораторным испытаниям керновых проб и по данным шахтных наблюдений.

Математическая модель. В качестве критерия предельного состояния использовалась модель Мора-Кулона с учетом пластичности и накопления деформаций. Для участков массива, характеризующихся повышенной трещиноватостью, применялись пониженные значения сцепления и угла внутреннего трения, что отражало реальную неоднородность горной породы.

Верхняя граница модели воспринимала нагрузку от вышележащих слоев, соответствующую глубине разработки. Боковые границы задавались через коэффициент бокового давления (K_0), который варьировался в диапазоне 0,8–1,5. Нижняя граница закреплялась, имитируя условия опирания массива. Были рассмотрены расчетные случаи при различных значениях коэффициента бокового давления. Для каждого сценария фиксировались: глубина развития пластических зон, величины и скорость деформаций почвы и кровли, параметры перераспределения напряжений, характер развития зон трещинообразования.

Проверка корректности. Полученные результаты сопоставлялись с фактическими шахтными данными по величинам пучения и смещений в подземных выработках Карагандинского угольного бассейна. Совпадение характерных величин и закономерностей подтвердило адекватность модели.

Обработка результатов. На основании расчетных данных построены зависимости «нагрузка-деформация» и выявлена тенденция увеличения скорости пучения пород при росте коэффициента бокового давления.

Распределение деформаций по глубине от контура выработки представлено на рисунке ниже.

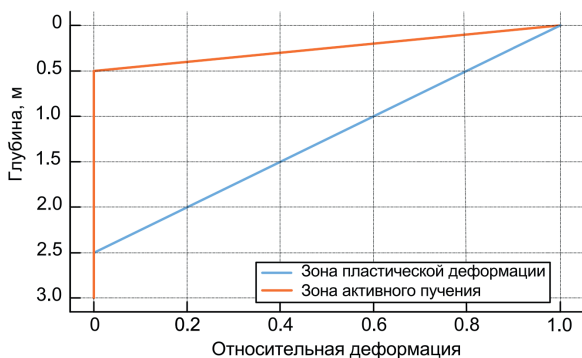


Рис. 4. Распределение деформаций в массиве горных пород.

Сурет 4. Тау жынысы массасындағы деформациялардың таралуы.

Figure 4. Distribution of deformations in a rock mass.

Пластическая зона достигает глубины 2.5 м. Активное пучение проявляется на глубине до 0.5 м, требуя локальных мер укрепления (инъекций, анкерования, армирования).

На следующем рисунке показано влияние коэффициента бокового давления K_0 на скорость пучения.

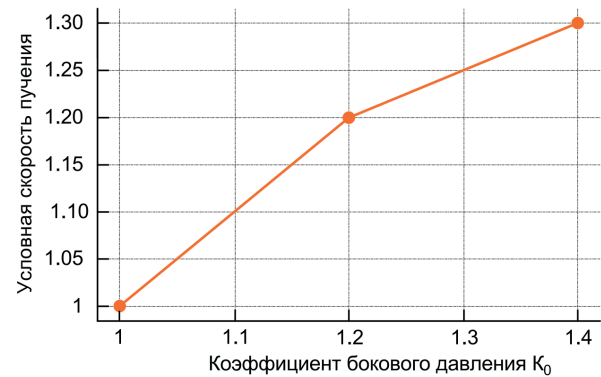


Рис. 5. Влияние коэффициента бокового давления на скорость пучения.

Сурет 5. Бүйірлік қысым коэффициентінің Гейстинг жылдамдығына әсері.

Figure 5. Effect of Lateral Pressure Coefficient on Heaving Rate.

Как видно, при $K_0 = 1.2$ происходит увеличение скорости пучения примерно на 20%, при $K_0 = 1.4$ – до 30%. Это требует усиленного контроля за состоянием почвы и обоснованного проектирования крепи. Ранее рассмотренные три значения коэффициента бокового давления использовались как реперные сценарии, отражающие базовое, неблагоприятное и критическое состояния массива. Вместе с тем для повышения достоверности результатов были смоделированы также промежуточные значения ($K_0 = 0,8; 1,0; 1,2; 1,3; 1,5$). Это позволило построить зависимость скорости пучения и параметров деформации от изменения бокового давления. Полученные результаты показывают устойчивую тенденцию роста интенсивности деформаций при увеличении K_0 , что подтверждает корректность сделанных выводов.

Предложение по применению анкерного крепления для предотвращения пучения пород. На основании результатов численного моделирования, показавших распространение зоны активного пучения до 0.5 м от контура выработки и влияние коэффициента бокового давления $K_0 > 1.2$ $K_0 > 1.2$ на ускорение процессов деформации, обосновано внедрение систем анкерного крепления пола (почвы выработки) как эффективной меры стабилизации массива.

Технические решения

1. Установка вертикальных или наклонных анкеров в днище выработки позволяет ограничить пучение за счет удержания нестабильных пород.

Рекомендуемые параметры: длина анкеров 1.5–2.5 м, диаметр: ≥ 22 мм (с применением смол или механические), шаг 0.8–1.2 м в шахматном порядке и установленные в почву выработки (рис. 6).

2. Смешанная система «анкер + опорный элемент» – применение анкерных стержней с предварительно уложенными бетонными плитами, деревянными шпалами или металлическими прогонами позволяет перераспределить усилия, снизить локальные деформации, обеспечить равномерное осаждеие почвы.

3. Смолоинъекционное упрочнение зоны пучения, до установки анкеров целесообразно провести инъекционное укрепление слабых грунтов подошвы с использованием полиуретановых, эпоксидных или цементно-известковых смол и силикатных растворов с использованием жидкого стекла и хлористого калия.

Такая мера снижает водонасыщенность, повышает модуль сдвига пород и уменьшает амплитуду и скорость пучения.

4. Использование податливых и энергоемких анкеров – рекомендуется применение анкеров с программируемой податливостью – втулки, пружинные элементы или зоны контролируемой пластической деформации.

5. В дополнение к креплению необходимо предусмотреть: бурение шпуров наблюдения (на глубину 0.5–1.5 м), установку реперов и деформационных маркеров; регулярный геомеханический мониторинг состояния почвы и анкеров.

Ожидаемый эффект от внедрения: снижение темпов пучения на 30–50%, стабилизация подошвы на период ≥ 12 месяцев, уменьшение затрат на повторное профилирование и ремонт, повышение безопасности и устойчивости ведения горных работ.

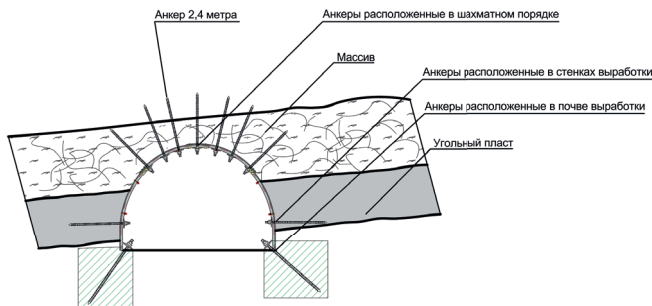


Рис. 6. Схема установки анкеров.
Сурет 6. Анкерлерді орнату схемасы.
Figure 6. Scheme of anchor installation.

Заключение

В результате проведенного исследования с использованием программных комплексов FLAC3D и UDEC установлено, что зона пластических деформаций вмещающих пород распространяется на глубину до 2,5 м от контура выработки, при этом наиболее интенсивное пучение концентрируется в приповерхностной зоне до 0,5 м. Такой характер распределения деформаций подчеркивает необходимость применения локальных мер стабилизации, направленных на укрепление подошвы выработки. Показано, что при увеличении коэффициента бокового давления выше значения 1,2 скорость пучения возрастает примерно на 20%, а при значениях около 1,4 достигает 30%, что указывает на прямую зависимость интенсивности деформационных процессов от напряженного состояния массива.

Анализ полученных данных подтвердил эффективность использования активного крепления, включающего установку анкеров, смолоинъекционное упрочнение слабых пород и применение податливых элементов, позволяющих компенсировать постепенные деформации. Такой подход обеспечивает снижение скорости и амплитуды пучения, продление срока службы выработок без ремонта и повышение общей устойчивости горных работ.

Выявлено, что процессы пучения носят комплексный характер и зависят не только от глубины разработки, но и от литологических особенностей, влажности и степени трещиноватости массива. Это требует системного подхода к прогнозированию и контролю, который должен включать численное моделирование, инструментальный мониторинг, геомеханическое районирование и адаптацию схем крепления к конкретным горно-геологическим условиям.

Реализация предложенных решений позволит существенно снизить риски аварий, оптимизировать затраты на ремонт и восстановление и обеспечить безопасное и устойчивое ведение горных работ в условиях повышенного горного давления и слабых вмещающих пород.

Благодарность

Данное исследование выполнено при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по реализации научной и научно-технической программы ИРН BR24992803.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование механических свойств и механической реакции при добыче угля на глубине 1000 м и более / Се Х. [и др.] // *Rock Mech. Rock Eng.* 2019. № 52. С. 1475–1490 (на английском языке)
2. Оптимизация схем армирования для стабилизации рабочего пола в угольных шахтах на основе оценки его деформационного состояния / Ахматнуров Д. [и др.] // *Материалы.* 2025. № 18 (13). С. 4–10 (на английском языке)
3. Чен Х., Ли Дж., Ван С. Характеристики пучения пола и технология управления проезжим полотном в глубоких угольных шахтах // *J. Rock Mech. Geotech.* 2024. № 16. С. 567–578 (на английском языке)
4. Ма Х., Зобак М.Д. Прогнозирование литологически контролируемых изменений напряжений в сланцах Вудфорд по данным каротажа скважин с помощью вязкопластической релаксации // *SPE J.* 2020. № 25. С. 2534–2546 (на английском языке)
5. Контроль пучения пола в боковом входе, удержание при бесстоечной добыче угля с технологией защиты от свай со сдвигом / Сахно И. [и др.] // *Наука.* 2024. № 14. С. 4992 (на английском языке)

6. Жабко А.В. Критерий прочности для блочных массивов и обратные геомеханические расчеты // Горный журнал Казахстана. 2020. № 6. С. 37–47 (на русском языке)
7. Чжан Г.Й., Чжао Л., Шнаг Ю.К. Исследование ключевой технологии управления пучкой пола в мягкой породе // Coal Sci. Technol. 2019. № 11. С. 63–67 (на английском языке)
8. Кашиников Ю.А., Ашихмин С.Г., Механика горных пород для разработки месторождений углеводородов // Горная книга. 2019. № 2. С. 522 (на русском языке)
9. Улусай Р. Рекомендованные методы ISRM для характеристики, испытаний и мониторинга горных пород // Springer. 2015. С. 293 (на английском языке)
10. Му С.Й., Ма З. Анализ механизма деформаций и вспомогательная технология для вспучивания скального дорожного полотна в глубоких сложных геологических условиях // Угольные шахты. 2016. № 47. С. 95–98 (на английском языке)
11. Титан Н.В., Иванов С.И. Изучение формирования зоны опорного давления в системе «сдвоенных выработок» // Горные науки и технологии. 2020. № 5. С. 49–55 (на русском языке)
12. Ма С., Зобак М.Д. Прогнозирование литологически обусловленных изменений напряжений в сланце Вудфорд по данным геофизических исследований скважин с использованием вязкопластической релаксации // SPE Journal. 2020. № 6. С. 2534–2546 (на английском языке)

ПАЙДАЛЫНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. 1000 м және одан да көп тереңдікте көмір өндіруде механикалық қасиеттер мен механикалық реакцияны зерттеу / Си Х. [және т. б.] // Rock Mech. Rock Eng. 2019. № 52. Б. 1475–1490 (ағылшын тілінде)
2. Көмір шахталарындағы жұмыс қабатын тұрақтандыру схемаларын оның деформациялық жай-күйін бағалау негізінде оңтайландыру / Ахматнұров Д. [және т. б.] // Материалдар. 2025. № 18 (13). Б. 4–10 (ағылшын тілінде)
3. Чэнь Х., Ли Дж., Ван С. Еденнің ауырлау сипаттамасы және терең көмір шахталарындағы жол төсеніштерін бақылау технологиясы // J. Rock Mech. Geotech. 2024. № 16. Б. 567–578 (ағылшын тілінде)
4. Ма Х., Зобак М.Д. Вископластикалық босаңсуды пайдалана отырып, ұңғымаларды кесу деректері негізінде Вудфорд тақтатасындағы литологиялық бақыланатын кернеулердің өзгеруін болжау // SPE J. 2020. № 25. Б. 2534–2546 (ағылшын тілінде)
5. Бүйір кіреберістегі еденнің көтерілуін бақылау, көмірді тоқтаусыз өндіру кезінде жылжымалы қадалардан қорғау технологиясымен ұстау / Сахно и. [және т. б.] // Ғылым. 2024. № 14. Б. 4992 (ағылшын тілінде)
6. Жабко А.В. Блоктар массивтер мен кері геомеханикалық есептеулер үшін беріктік критерийі // Қазақстан тау-кен журналы. 2020. № 6. Б. 37–47 (орыс тілінде)
7. Чжан Г.Я., Чжао Л., Шнаг Я.К. Жұмсақ тау жынысындағы еден бумасын басқарудың негізгі технологиясын зерттеу // Coal Sci. Technol. 2019. № 11. Б. 63–67 (ағылшын тілінде)
8. Кашиников Ю.А., Ашихмин С.Г. Көмірсутегі кен орындарын игеру жөніндегі тау жыныстарының механикасы // Тау кітабы. 2019. № 2. Б. 522 (орыс тілінде)
9. Улусай Р. Тау жыныстарын сипаттау, сынау және мониторингтеу үшін ISRM-дің ұсынылатын әдістері // Springer. 2015. Б. 293 (ағылшын тілінде)
10. Ми С.У., Ма З. Күрделі терең геологиялық жағдайларда жартақ жынысты қазба табанының пучниесі жағдайындағы деформация механизмін талдау және оған қарсы қосалқы технологиялар // Coal Mines. 2016. № 47. Б. 95–98 (ағылшын тілінде).
11. Титан Н.В., Иванов С.И. «Қос жұмыс» жүйесінде тірек қысымы аймағының қалыптасуын зерттеу // Тау-кен ғылымдары және технологиялар. 2020. № 5. Б. 49–55 (орыс тілінде)
12. Ма С., Зобак М.Д. Вископластикалық релаксацияны пайдалана отырып, ұңғымаларды геофизикалық зерттеулерге сәйкес Вудфорд тақтатасындағы күйзелістердің литологиялық шартты өзгерістерін болжау // SPE Journal. 2020. № 6. Б. 2534–2546 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Study of mechanical properties and mechanical reaction in coal mining at a depth of 1000 m and more / Xie H. [et al.] // Rock Mech. Rock Eng. 2019. No. 52. 1475–1490 pp. (in English)
2. Optimization of reinforcement schemes for stabilization of the working floor in coal mines based on the assessment of its deformation state / Akhmatnurov D. [et al.] // Materials. 2025. No. 18 (13). 4–10 pp. (in English)
3. Chen H., Li J., Wang S. Characteristics of floor heaving and technology of control of roadbed in deep coal mines // J. Rock Mech. Geotech. 2024. No. 16. 567–578 pp. (in English)
4. Ma H., Zobak M.D. Prediction of lithologically controlled changes in stresses in Woodford shales based on well logging data using viscoplastic relaxation // SPE J. 2020. No. 25. 2534–2546 pp. (in English)

5. *Control of floor heaving in the side entrance, retention in the stochnoy mining of coal with the technology of protection from piles with a shift / Sakhno I. [et al.] // Science. 2024. No. 14. 4992 p. (in English)*
6. *Zhabko A.V. Kriterii prochnosti dlya blochnykh massivov i obratnye geomekhanicheskie raschety [Strength criterion for block arrays and inverse geomechanical calculations], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2020. No. 6. 37–47 pp. (in Russian)*
7. *Zhang G.Y., Zhao L., Shnag Y.K. Study of the key technology of floor bundle control in soft rock // Technol. 2019. No. 11. 63–67 pp. (in English)*
8. *Kashnikov Yu.A., Ashikhmin S.G. Mekhanika gornykh porod dlya razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov [Mechanics of Rocks for the Development of Hydrocarbon Deposits], Gornaya kniga [Mining book]. 2019. No. 2. 522 p. (in Russian)*
9. *Ulusai R. Recommended ISRM Methods for Characterization, Testing and Monitoring of Rock Rocks // Springer. 2015. 293 p. (in English)*
10. *Mu S.Y., Ma Z. Analysis of the mechanism of deformations and auxiliary technology for swelling of the rocky roadbed in deep complex geological conditions // Coal mines. 2016. No. 47. 95–98 pp. (in English)*
11. *Titan N.V., Ivanov S.I. Izuchenie formirovaniya zony opornogo davleniya v sisteme «sdvoennykh vyrabotok» [Study of the formation of the support pressure zone in the system of «double workings»], Gornye nauki i tekhnologii [Mining sciences and technologies]. 2020. No. 5. 49–55 pp. (in Russian)*
12. *Ma S., Zobak M.D. Forecasting of lithologically conditioned changes in stresses in Woodford shale according to geophysical studies of wells using viscoplastic relaxation // SPE Journal. 2020. No. 6. 2534–2546 pp. (in English)*

Сведения об авторах:

Мусин Р.А., Ph.D доктор, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «КарТу им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), R.A.Mussin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1206-6889>

Демин В.Ф., д.т.н., профессор кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «КарТу им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), vladfdemin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1718-856X>

Ахматнуров Д.Р., Ph.D доктор, руководитель испытательной лаборатории «Метановая энергетика в горно-металлургическом комплексе», НАО «КарТу им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), d_akhmatnurov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9485-3669>

Шмидт-Федотова И.М., доктор Ph.D, преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», НАО «КарТу им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), irinka.shmidt@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9984-4761>

Авторлар туралы мәліметтер:

Мусин Р.А., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының доценті (Қарағанды қ., Қазақстан)

Демин В.Ф., т.ғ.д., «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының профессоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Ахматнуров Д.Р., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Тау-кен металлургия кешеніндегі метан энергетикасы» сынақ зертханасының меңгерушісі (Қарағанды қ., Қазақстан)

Шмидт-Федотова И.М., Ph.D докторы, «Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Musin R.A., Ph.D, Associate Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan)

Demin V.F., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan)

Akhmatnurov D.R., Ph.D, Head of the Testing Laboratory «Methane Energy in the Mining and Metallurgical Complex», Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan)

Schmidt-Fedotova I.M., Ph.D, Lecturer of the Department of Development of Mineral Deposits, Non-Profit Joint-Stock Company «Abylkas Saginov KarTU» (Karaganda, Kazakhstan)