

К методике расчета горного давления у короткого забоя

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-7-50-55>

АКИЖАНОВА Ж.Т.

Докторант кафедры
«Разработка месторождений полезных ископаемых»
НАО «Карагандинский технический университет
им. А. Сагинова,
100017, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: Kakim08@mail.ru

ЖЕТЕСОВА Г.С.

Доктор техн. наук, профессор
НАО «Карагандинский технический университет
им. А. Сагинова»,
100012, г. Караганда, Республика Казахстан,
Email: zhetesova@mail.ru

БЕЙСЕМБАЕВ К.М.

Доктор техн. наук, профессор
кафедры «Технологическое оборудование,
машиностроение и стандартизация»
НАО «Карагандинский технический университет
им. А. Сагинова»,
100017, г. Караганда, Казахстан,
e-mail: Kakim08@mail.ru

БУЯЛИЧ Г.Д.

Доктор техн. наук,
профессор Кузбасского государственного
технического университета,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: gdb@kuzstu.ru

НОКИНА Ж.Н.

Старший преподаватель кафедры
«Технологическое оборудование,
машиностроение и стандартизация»
НАО «Карагандинский технический университет
им. А. Сагинова»,
100017, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: Kakim08@mail.ru

Рассмотрены методики лавной, короткозабойной выемки методом конечных элементов в Ansys для статических систем и в Adams для определения взаимодействия динамически смещающейся кровли с крепью с учетом ее конструкции и связей со слоями пород, включая и блокообразование в кровле. Установлены влияния крепи в режиме деформации и активного распора на распределение горного давления в глубину пласта в зоне опорного давления. Ее максимальное влияние зафиксировано при отслоении основной кровли и ее поперечном разломе. Модель камерной выемки должна быть объемной с возможностями быстрого изменения конфигурации расположения целиков, выработок и имитации подвигания забоя при неизменном расстоянии между забоем, зонами сдвижения и краем модели со стороны забоя.

Ключевые слова: опорное давление, крепь, активный распор, режим деформации, поперечный облом, отслоение.

Для цитирования: К методике расчета горного давления у короткого забоя / Ж.Т. Акижанова, Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев и др. // Уголь. 2023. № 7. С. 50-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-50-55.

ВВЕДЕНИЕ

При лавной выемке угля горное давление определяют на основе плоских решений для однородного пласта. Объемные решения требуются при его разрывных нарушениях, на сопряжениях и при короткозабойной выемке. Но в них не учитывается динамическое сдвижение кровли после отделения от основного массива пород. Расчеты учитывают три вида обрушения пород: с периодическим обрушением и формированием их ступенчатого профиля вплоть до земной поверхности; с плавным опусканием пород на обрушенные и при сводообразовании [1]. При камерной выемке шириной 10-20 м может иметь место сдвижение пород по типу лавы в том случае, если крепится штрек, где расположен конвейер, а остальная их часть над забоем обрушается. Такие же особенности могут быть при выемке камеры с боковым уступом с разворотом забоя для выемки обратным ходом. При обычных камерах до 6 м образуется череда целиков, и пространство камер закреплено только в рабочей камере. Если целики оставляются тонкими и они, начиная от первого, постепенно разрушаются, вызывая обрушение кровли в

направлении к работающей камере, то последовательные обрушения (аналогия периодического обрушения в лаве) будут реализовываться у максимально отдаленной от начала столба стенки рабочей камеры, которая теперь является аналогом забоя лавы. Ее тонкий целик влияет на НДС, как забойная крепь. Таким образом, реализуются все три вида сдвижения кровли. Существенная разница моделей будет при поддержании отработанных камер (всех или частично), когда их используют для производственных нужд [2]. Поэтому требуется создание методики 3D-решения учета перечисленных факторов и динамического сдвижения пород.

МЕТОДИКА

Современные методы расчета НДС основаны на статическом конечно-элементном моделировании (МКЭ), в Ansys без учета разрушений, хотя имелись отдельные работы [3, 4, 5], где они учитывались и затем изымались из схемы с продолжением расчетов в обновленных условиях. Параметры сетки в блоках модели (С-Д) (рис. 1) должны контролироваться для предотвращения искажения НДС в элементах при сопоставлении технологических схем. Имитация отслоений и поперечных трещин производится вставкой в их зоны тонких полостей, в том случае если растягивающие напряжения в них превышают предельные. Сдвигание же этих отделившихся слоев – балок, сравнимых по весу с распором крепи, моделируют в пакете Adams. Выделяются зоны, где возможны общие области решений для тестирования результатов. Точность расчета достигается геометрическим и силовым подобием лавы и модели. Поэтому размеры между забоем и торцом модели со стороны подвигания должны

сохраняться, для чего модель со стороны забоя расширяется, исключая концентрацию напряжений от сближения поверхностей. Это касается положения контуров свода, ступенчатого профиля кровли за лавой, поперечных трещин и учитывается в коде для переменных, трехмерной геометрии лавы, см. фрагмент:

! Ключевые точки	k,30,ld+T,0,,
T=3000	!точки свода
.....	K,14,ld+T,h1,,
K,1,L1+T,0,,!крепь.нач.	K,13,l7+T,0,,
K,2,l1+T,h1,,!крепь.кон.	K,15,l7+T,h2,,
k,3,l2+T,0,,	K,16,ld2+2*T,h2,,
K,4,l2+T,h1,,!параметр T для подвигания	
!переменная цикла	

Здесь в точках, создаваемых командой K к параметрам координат по оси X прибавляется T – шаг подвигания. Это производится в ручном режиме или программно (язык A, Ansys – Fortran), если задать цикл типа «*Do,t,0,60000,10000. (начало цикла при шаге 10000 с изменением подвигания от 0 до 60000) ... (команды тела цикла).....*Enddo !конец цикла.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Условия отслоения создаются изменением распора крепи, плотности пород. Обычно для слоя, примыкающего к крепи, она должна быть больше, чем у вышележащего. Далее рассматриваются возможности отслоения вышележащих слоев, создающих пригрузку и поперечное разрушение балки, которое происходит либо над торцом пласта (б), или в глубине забоя (в), для сильно деформированной зоны. В теоретических задачах, не учитывающих разрушение управления пород крепью, маловероятно, хотя прак-

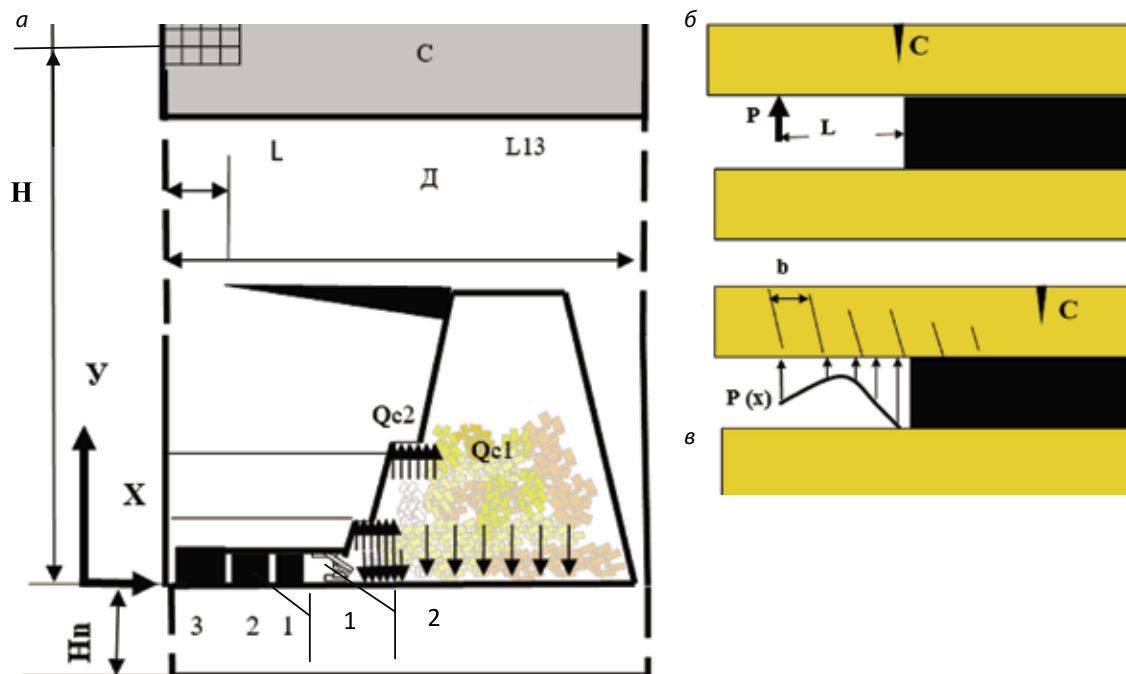


Рис. 1. Расчетная схема: пласт – породы (а): 1 – участки дезинтеграции пласта, 2 – секция крепи; схемы поддержания кровли с управлением трещиной изгиба С (б) и цикловыми трещинами сдвига (в)
 Fig. 1. Calculation scheme: formation-rocks (а): 1 – areas of formation disintegration, 2 – rock support section; layouts of roof support with control of bending crack C (б) and cyclic shear cracks (в)

тика доказывает обратное. Но в пласте возникает дезинтеграция в виде участков со скачкообразно изменяющимся модулем деформации [1, 2, 3], а также бифуркации [6, 7]. Последнее вызвано накоплением повреждений в слоях. При освобождении от связей (близком к хаотичному) между слоями пород и пласта форма деформации системы может резко измениться с возрастанием нагрузок на забой. Практика показывает, что влияние крепи на сближение пород (рис. 2) связано с возникновением зоны дезинтеграции с увеличенными свойствами к деформациям [1, 2, 3] и отделением слоев пород от основного массива.

Воздействие крепи на массив для лавной или камерной выемки может быть сведено к схемам (см. рис. 1). В случае б для управления трещиной изгиба важны значения равнодействующей усилия распора кровли P и плеча силы L . В случае в, чтобы удержать кровлю от разрушения по трещинам давления, возникающих с шагом b , важен характер распределения нагрузки $P(x)$ на перекрытие [8]. Эти трещины возникают от больших контактных давлений на торцах участков дезинтеграции. Они растут с каждым шагом подвигания и приводят к разделению на блоки, индивидуально воздействующие на элементы крепи (рис. 3).

И тут важно распределение сопротивлений вдоль них. Схема на рис. 1, в позволяет улучшить управление забоем, так, как длина трещин давления увеличивается к концу секции, и при сходе с нее порода обрушится небольшими кусками [7], так как рост трещин сдвига сопровождается и внутренними отслоениями. Для схемы б следует выявить закономерности распределения нагрузок $P(x)$ вдоль кровли. При неоптимальном $P(x)$ сечение слоя кровли будет ослабляться за счет вывалов пород и возможности управления по схеме в уменьшатся. Очевидно, что модель должна учитывать действие блоков на крепь и давление на эти блоки вышележающего слоя. Расположение распорного усилия подальше от забоя противоречит традиционному мнению. Но в реальности, для крепи Glinik, пролет пород кровли от забоя до ближней гидростойки достигает 5 м, а завальная часть крепи – не более 2 м. Поэтому гидростойки максимально удалены от забоя. Это происходит из-за того, что выдвигная часть козырька постоянно выдвинута, и часто противоотжимный щит занимает верхнее, параллельное кровле положение. Необходимые же скачки реакции сопротивления у забоя достигаются распором гидростойки козырька и щита (таких зон 3 три). Положения

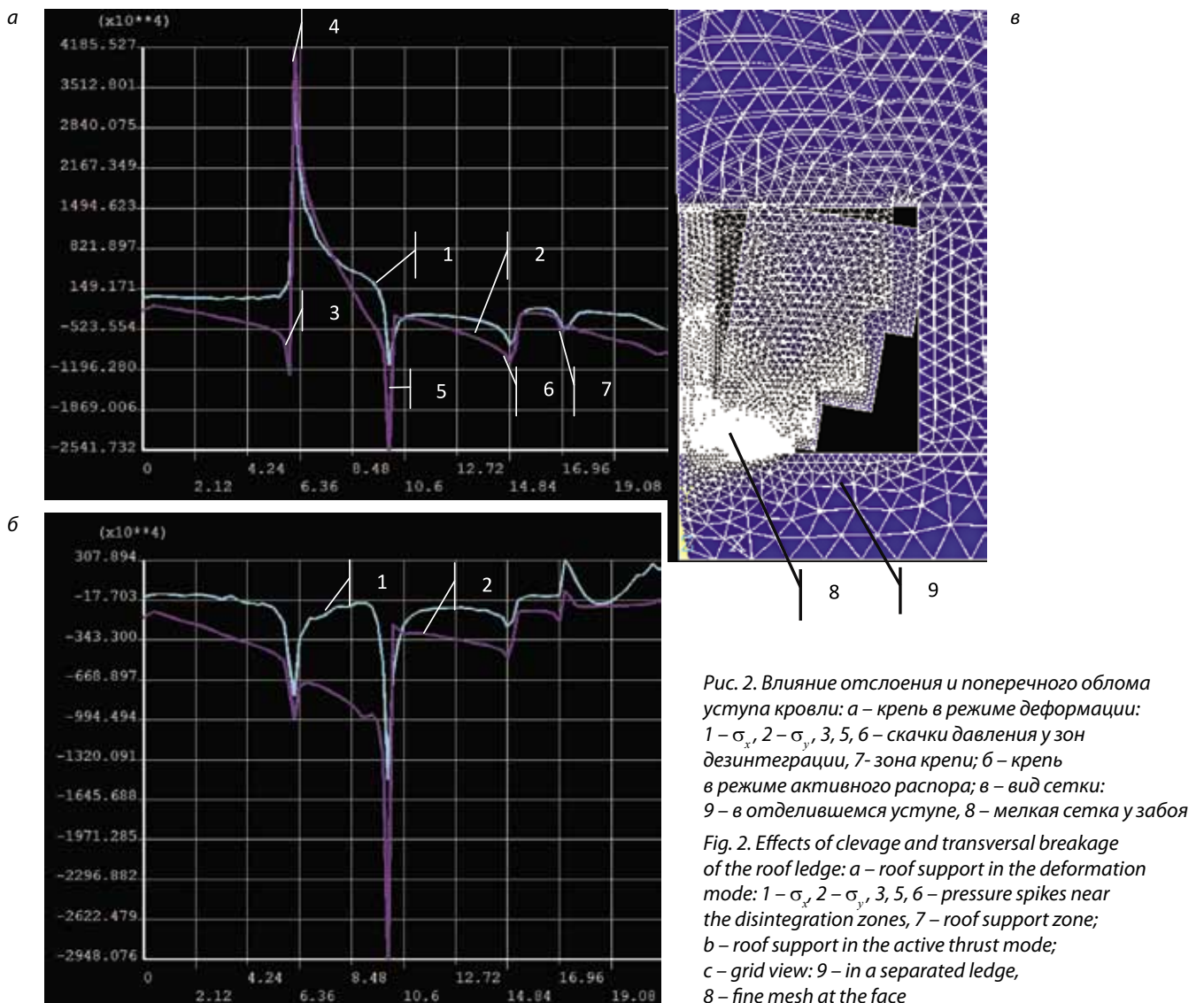


Рис. 2. Влияние отслоения и поперечного облома уступа кровли: а – крепь в режиме деформации: 1 – σ_x , 2 – σ_y , 3, 5, 6 – скачки давления у зон дезинтеграции, 7 – зона крепи; б – крепь в режиме активного распора; в – вид сетки: 9 – в отделившемся уступе, 8 – мелкая сетка у забоя

Fig. 2. Effects of cleavage and transversal breakage of the roof ledge: а – roof support in the deformation mode: 1 – σ_x , 2 – σ_y , 3, 5, 6 – pressure spikes near the disintegration zones, 7 – roof support zone; б – roof support in the active thrust mode; в – grid view: 9 – in a separated ledge, 8 – fine mesh at the face

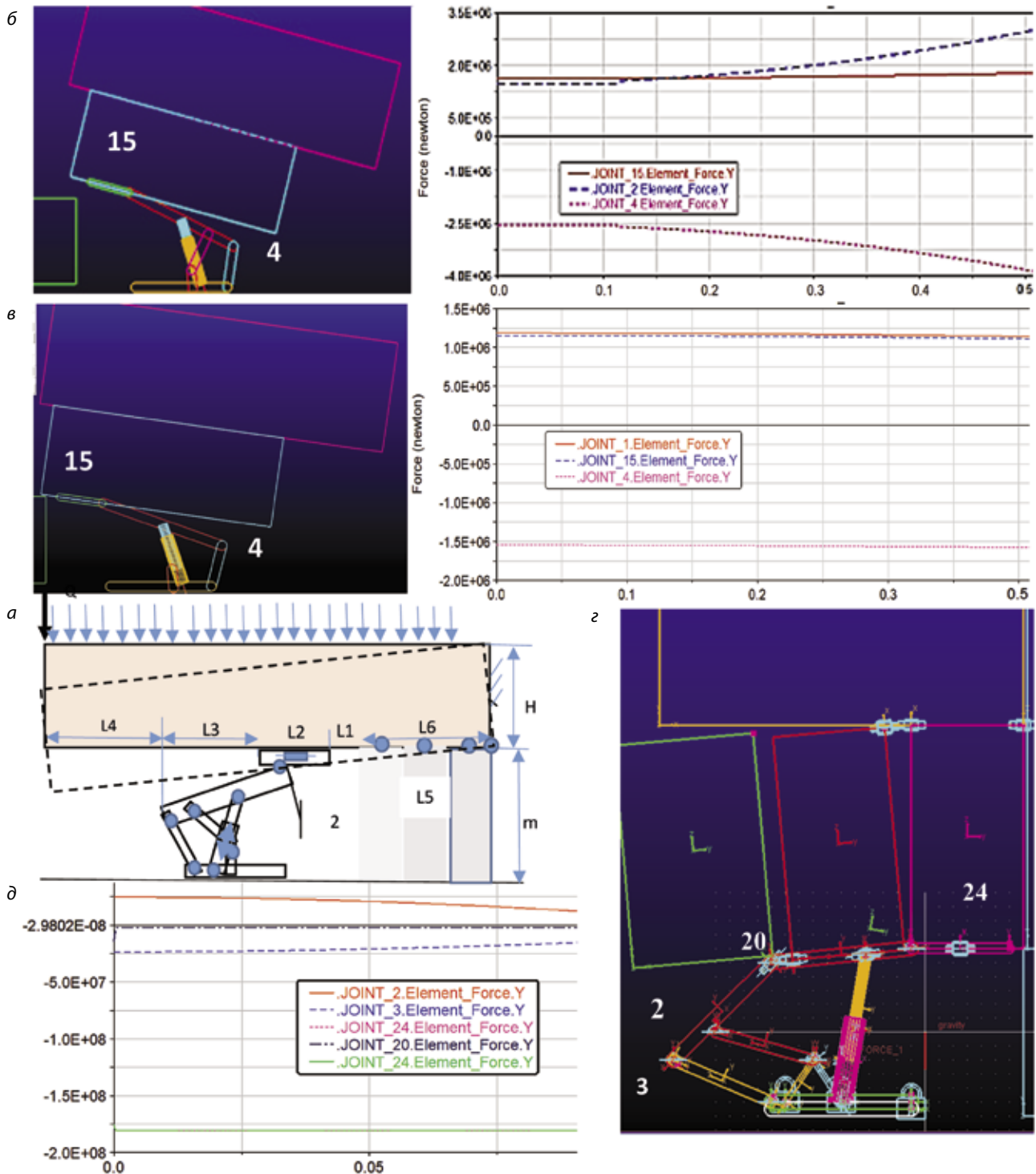


Рис. 3. Схема расчета (а) и имитация смещения секций в Adams с различными типами рычажных систем и графиками реакций при свободном смещении кровли для четырехзвенника (б) и с шарнирно-телескопическим механизмом (в), при блокировании (г) графиками реакций (д)

Fig. 3. Calculation scheme (a) and simulation of section displacement in Adams with different types of lever systems and reaction graphs with free roof displacement for four-link (б) and with articulated telescopic mechanism (в), with blocking (г) with reaction graphs (д)

рычагов могут привести к опасным нагрузкам, и на основе [3, 5] в ADAMS были выявлены такие режимы при пересечении мгновенного центра вращения МЦВ лемникатного механизма с линией перекрытия крепи. Это эффективно контролировать при наличии в системе управления про-

граммы прогнозирования реакций в шарнирах и давления в силовых гидроцилиндрах. Такое предложение было применено в системе управления фирмы Марсо на основе показаний гравитационных датчиков. Показано, что более эффективной является 3-стоечная схема, когда две

гидростойки установлены «во фронт» в завальной части, а одна – впереди по схеме «1+2». Такое решение использовалось в советской крепи ЗМК на шахте им. Костенко в 1980-х годах и было эффективным. Наши расчеты в Ansys в соответствии с [4, 5] показали, что управляемость пород в этом случае повышается, а напряжения на торце забоя, при отсутствии поперечных трещин по типу «С», уменьшаются на 15%. Для анализа используем две схемы: крепь набирает сопротивление за счет деформации; распор задается активной нагрузкой крепи. В них можно рассматривать начало трещинообразования либо этап, когда оно уже произошло (см. рис. 2). Для схемы а НДС зависит от модуля деформации крепи, а его значение 2×10^8 превосходит в два раза жесткость 1 участка пласта. Для схемы б выдается распор в 360 т. Скачки давления приурочены к торцам зон дезинтеграции и снижаются к поверхности забоя, за исключением пика 3, в зоне трещины облома, пик 4 объясняется разворотом отделившегося от остального массива пород уступа в сторону выработанного пространства к почве, с подъемом его забойного торца (сопротивление крепи за счет деформирования системы). При действии активного распора крепи пик 5 увеличивается, но НДС на ближних к забою зонах уменьшается до 100% (положения зон дезинтеграции одинаковы для обеих схем). Это можно объяснить тем, что балка, приподнятая распором крепи, снимает давление в ближних зонах и повышает в зоне, где ее торец опускается при повороте. Для схемы с обломом балки влияние активного распора на НДС явно выражено, но для работы в режиме деформации это не происходит. При моделировании в Adams, установлено, что лемнискатный механизм, обеспечивая смещение козырька параллельно забою, вызывает перераспределение нагрузок в ее элементах. Adams в отличие от Ansys, легко учитывает кинематику связей деталей в 3D при действии балки пород с опиранием переднего конца о пласт и без опирания, с разворотом заднего – вниз (см. рис. 3, а), связывая параметры крепи и технологии. Условия облома балки можно установить из рис. 1 на основе МКЭ и теоретического решения, методом теории комплексной переменной с учетом забойной пластической зоны, сопротивления крепи и реальных характеристик пород и пласта [6, 7]. Эти решения, основанные на упрощенном рассмотрении слоя пород как балки, предусматривают и корректировку методики по шахтным замерам. Поэтому предварительно для теоретической схемы с последующей реализацией в Adams можно рассмотреть и оценить параметры балки и возможности ее облома, учитывая, что изгибающий момент, напряжение и момент сопротивления слоя в зоне трещины пропорциональны выражениям:

$$M_u = P \times L + Q \times L \times L/2 + \gamma \times L \times L/2 - R_c \times (L/2 + L_1 + L_6)$$

$$\sigma_u = M_u/W$$

$$W = b \times H_p^2/6.$$

Момент равен сумме от моментов силы P , нагрузки Q , веса слоя породы. На рис. 3 приведены результаты моделирования взаимодействия пород с различными секциями крепи и схемами сдвижения. Они уточняют роль конструкции крепи. Для схемы б нагрузка в шарнире 4 посто-

янна и меньше, чем для схемы а в 2-2,6 раза. Нагрузка на козырьке для схемы а больше в 1,3 раза при нагрузке на гидростойку – 300 т. То есть при одних и тех же расстояниях гидростойки от забоя и размерах контура секции при лемнискатном механизме сопротивление у забоя возрастает до 30% за счет роста реакций в ее рычагах. Причем они неравномерны в диапазоне смещения секции. Применение козырька с завальной частью в схеме в практически не влияет на реакции в шарнирах, но при их действии по переднему и заднему торцам позволит уменьшить усилие на гидропатроне. В схеме в задний рычаг 4 имеет гидравлическую выдвигную часть, улучшающую сход пород с крепи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен расчет горного давления для выемки коротким забоем, при которой актуальны три схемы сдвижения пород, действующие относительно забоя, стенок камеры и при применении тонких и широких целиков. Расчет для контроля решения и применения в схемах прогнозирования может строиться на теоретической основе, с использованием экспериментальных данных, МКЭ до стадии обширных отслоений и поперечного облома слоев над пластом. Переход к динамическому моделированию позволяет учесть конструкцию и силовые параметры крепи. Так, для секции типа ОКП-70 до 30% повышается сопротивление у забоя за счет нагрузки на рычаги. Получены модели и для крепи типа Глиник при блокообразовании кровли и индивидуальном действии блоков вдоль перекрытия.

Список литературы

1. Векслер Ю.А., Бейсембаев К.М., Жетесов С.С., Каппасов Н., Мендикенов К.К. Исследование состояния горного массива при подвижке лавы // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2013. № 3. С. 69-76.
2. Лысенко М.В., Аушев Е.В., Дудин А.А. Способы повышения полноты извлечения запасов угля // Уголь. 2022. № 11. С. 48-54. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-48-54.
3. Ройтер М., Крах М., Кислинг У., Векслер Ю. Обеспечение безопасной работы в лаве с системой управления Марко «Цифровая шахта» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 6. С. 366-371.
4. Reuter M., Krach M., Kießling U., Veksler Y. Zonal disintegration of rocks around breakage headings // Journal of Mining Science. 2015. No. 2. P. 46-52.
5. Хапилова Н.С. Задача об обрушении консольно-зависающей кровли // ФТПРПИ. 1970. № 1. С.13-18.
6. Бейсембаев К.М. Проблемы расчета аттрактора нестационарной системы // Актуальные проблемы современности. Международный научный журнал. 2010. № 7. С. 11-16.
7. Казьмин В.М. Таблицы для вероятностной оценки распределения сопротивления механизированных крепей по ширине призабойного пространства и методика их применения. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1974. 43 с. URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-tablitsy-dlya-veroyatnostnoy-ocenki-raspredeleniya-soprotivleniya.pdf> (дата обращения: 15.06.2023).
8. Lukasz Boloz. Dynamic model of a longwall shearer with a chain haulage system // Acta Montanistica Slovaca. 2022. Vol. 27. P. 3. DOI: 10.46544/AMS.v27i3.03.

9. Ройтер М., Крах М., Кислинг У., Векслер Ю.А. Разработка метода сейсмоакустического мониторинга динамических явлений в очистных забоях угольных шахт // ФТПРПИ. 2021. № 1. С. 28-35. DOI: 10.15372/FTPRPI20210104.
10. State-of-the-art ultrasonic sensor designed to improve longwall production rates and operation safety / Sławomir Bartoszek, Sebastian Jendrysik, Joanna Rogala-rojek et al. // Acta Montanistica Slovaca. 2021. Vol. 26. No 1. P. 149-160.
11. Modelling and simulation of an adsorption process using activated carbon from coconut shells / Edward Samuel Efreteui, Idowu Iyabo Olateju, John Olusoji Owolabi et al. // A ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2022. Vol. 17. No. 9. P. 932-946.
12. Kinematics and singularity analysis of 3-PRS parallel kinematic mechanism / Liaquat Ali Khan, Muhammad Faizan Shah, Muhammad Ramiz et al. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2022. Vol. 17. No. 8. P. 849-857.

Original Paper

UDC 622.621 © Zh.T. Akizhanova, G.S. Zhettesova, K.M. Beisembayev, G.D. Buyalich, Zh.N. Nokina, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 7, pp. 50-55
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-7-50-55>

Title

TO THE METHOD OF CALCULATION OF ROCK PRESSURE AT A SHORT FAGE

Authors

Akizhanova Zh.T.¹, Zhettesova G.S.¹, Beisembayev K.M.¹, Buyalich G.D.², Nokina Zh.N.¹

¹ NAO Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, 100017, Kazakhstan

² Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Akizhanova Zh.T., Doctoral student of the Department of Mineral Deposit Development, e-mail: Kakim08@mail.ru

Zhettesova G.S., Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: zhettesova@mail.ru

Beisembayev K.M., Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, e-mail: Kakim08@mail.ru

Buyalich G.D., Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: gdb@kuzstu.ru

Nokina Zh.N., Senior Lecturer of the Department of Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization, e-mail: Kakim08@mail.ru

Abstract

The methods of longwall, short-hole mining by the finite element method in Ansys for static systems and in Adams are considered to determine the interaction of a dynamically displaced roof with a lining, taking into account its design and connections with rock layers, including block formation in the roof. The effects of the support in the deformation mode and active thrust on the distribution of rock pressure in the depth of the formation in the zone of support pressure are established. Its maximum influence was recorded during the detachment of the main roof and its transverse fracture. The model of the chamber excavation should be three-dimensional with the ability to quickly change the configuration of the location of the pillars, workings and simulate the advancement of the face with a constant distance between the face, displacement zones and the edge of the model from the side of the face.

Keywords

Support pressure, Support, Active thrust, Deformation mode, Transverse breakage, Delamination.

References

1. Veksler Yu.A., Beysembayev K.M., Zhettesov S.S., Kappasov N. & Mendikenov K.K. Studies of the rock mass state during the face advancement. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij, Gornyj zhurnal*, 2013, (3), pp. 69-76. (In Russ.).
2. Lysenko M.V., Aushev E.V. & Dudin A.A. Ways to increase the recovery ratio of coal reserves. *Ugol*; 2022, (11), pp. 48-54. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-11-48-54.
3. Reuter M., Krach M., Kießling Y. & Veksler Yu. Ensuring safe operation in the longwall with the Marco "Digital mine" control system. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2014, (6), pp. 366-371. (In Russ.).

4. Reuter M., Krach M., Kießling U. & Veksler Y. Zonal disintegration of rocks around breakage headings. *Journal of Mining Science*, 2015, (2), pp. 46-52.

5. Khapilova N.S. The cantilever-hanging roof collapse problem. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 1970, (1), pp.13-18. (In Russ.).

6. Beysembayev K.M. Challenges in calculating a nonstationary system attractor. *Aktualnye problemy sovremennosti*, 2010, (7), pp. 11-16. (In Russ.).

7. Kazmin V.M. Tables for probabilistic estimation of resistance distribution of powered roof supports along the face width and methodology of their application. Moscow, A.A. Skochinsky Institute of Mining, 43 p. Available at: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-tablicy-dlya-veroyatnostnoy-ocenki-raspredeleniya-soprotivleniya.pdf> (accessed 15.06.2023).

8. Lukasz Boloz. Dynamic model of a longwall shearer with a chain haulage system. *Acta Montanistica Slovaca*, 2022, (27), pp. 3. DOI: 10.46544/AMS.v27i3.03.

9. Reuter M., Krach M., Kießling Y. & Veksler Yu.A. Method for seismic and acoustic monitoring of longwall face areas in coal mines. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2021, (1), pp. 28-35. (In Russ.). DOI: 10.15372/FTPRPI20210104.

10. Sławomir Bartoszek, Sebastian Jendrysik, Joanna Rogala-rojek, Mariusz Woszczyński, Krzysztof Krauze & Jarosław Joostberens. State-of-the-art ultrasonic sensor designed to improve longwall production rates and operation safety. *Acta Montanistica Slovaca*, 2021, Vol. 26, (1), pp. 149-160.

11. Edward Samuel Efreteui, Idowu Iyabo Olateju, John Olusoji Owolabi & Abdulwahab Giwa. Modelling and simulation of an adsorption process using activated carbon from coconut shells. *A ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2022, Vol. 17, (9), pp. 932-946.

12. Liaquat Ali Khan, Muhammad Faizan Shah, Muhammad Ramiz & Kamran Nazir. Kinematics and singularity analysis of 3-PRS parallel kinematic mechanism. *A ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2022, Vol. 17, (8), pp. 849-857.

For citation

Akizhanova Zh.T., Zhettesova G.S., Beisembayev K.M., Buyalich G.D. & Nokina Zh.N. To the method of calculation of rock pressure at a short fage. *Ugol*; 2023, (7), pp. 50-55. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-7-50-55.

Paper info

Received March 9, 2023

Reviewed June 14, 2023

Accepted June 26, 2023

UNDERGROUND MINING