

Моделирование камерной выемки с уступной формой забоя*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-14-20>

ЖЕТЕСОВА Г.С.

Доктор техн. наук, профессор,
первый проректор КарТУ,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: zhetesova@mail.ru

БЕЙСЕМБАЕВ К.М.

Доктор техн. наук, доцент кафедры
«Технологическое оборудование, машиностроение
и стандартизация» КарТУ,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: Kakim08@mail.ru

НОКИНА Ж.Н.

Докторант кафедры
«Разработка месторождений
полезных ископаемых» КарТУ,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: zh.nokina@mail.ru

АКИЖАНОВА Ж.Т.

Докторант кафедры
«Разработка месторождений
полезных ископаемых» КарТУ,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: zhanar_1988@inbox.ru

АСМАГАМБЕТ Д.К.

Докторант кафедры
«Технологическое оборудование,
машиностроение и стандартизация» КарТУ,
100027, г. Караганда, Республика Казахстан,
e-mail: kenzhebaeva_d@mail.ru

Рассмотрены новые технологии камерной выемки нарушенных запасов твердых минералов с применением маневрирующих крепей. Выемка ведется короткими заходками от основного штрека с использованием в забое и подготовительной выработке поворотного конвейера и с разворотом камеры при обратном ходе. Они сокращают потери минерала и позволяют применить схемы крепления в зависимости от горного давления. На основе Ansys APDL рассмотрены модели состояния массива с уступной формой забоя с поддержкой уступа и полосы кровли за ним и креплением выработки стационарно-переносными секциями с учетом изменяющейся архитектуры выработок. Модель учитывает нарастающее при деформировании пород сопротивление секций с приведенным модулем упругости, а также активные нагрузки, вычисленные из условия срабатывания предохранительного клапана гидростойки. Показано, что изменением величины распора секций крепи можно управлять состоянием забоя и уступа, обеспечивать его самообрушение и безопасную работу персонала, а в технологиях с выпуском потолочины обеспечить производительную работу выдвижных исполнительных органов по дроблению и выпуску минерала уступа с ограждением от обрушенных пород.

Ключевые слова: камерная технология выемки, маневрирующие крепи, поворотный конвейер, модели состояния массива, модуль упругости, объемные модели взаимодействия «порода – крепь».

Для цитирования: Моделирование камерной выемки с уступной формой забоя / Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев, Ж.Н. Нокина и др. // Уголь. 2021. № 1. С. 14-20. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-1-14-20.

ВВЕДЕНИЕ

В Казахстане запасы угля, залегающие в идеальных горно-геологических условиях, заканчиваются. А объем запасов угля, залегающих в сложных геологических условиях, – не менее добытых. Камерная технология может решить проблемы отработки таких участков обходом нарушенных зон, а расширение камеры сокращает потери минерала в целиках. Актуальны и схемы с уступной формой забоя, где давление пород формирует трещины в пласте. Это возможно, когда со стороны почвы или кровли выполняется вруб и сформированный уступ изгибается горным давлением. Ранее рассматривалось и влияние цен-

* Работа выполнена по программе МОН РК АР05134441 «Разработка, изготовление и испытание новой конструкции поворотного узла конвейера с поворотом грузопотока на угол до 90° в плоскости почвы выработки для систем забойной выемки и криволинейных выработок».

тральной полости от забурника комбайна А.Н. Шманева [1]. Сложность архитектуры выработок, видов сдвижения пород, новых приемов выемки ставит задачи их исследования и комплексного использования [2].

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Статья посвящена вопросам моделирования и разработки камерной выемки с применением поворотных конвейеров. Камерная технология может решить проблемы обработки участков обходом нарушенных зон, а расширение камеры позволит сокращать потери минерала в целиках. При увеличении ширины камеры (рис. 1) могут применяться секции крепи, выполненные по схеме упрощенного андроида (рис. 2, 3) [3] из забойной и задней частей, соединенных механизмом передвижения – манипулятором.

Они могут поворачиваться, подниматься и опускаться для обхода нарушений. За комбайном из подготовительной выработки в камеру перемещается конвейер поворотный скребковый (КПС). Он может протягиваться самим комбайном (усилие подачи – до 7 кН) или секцией крепи (см. рис. 2). Подготовительная выработка (ПВ) крепится стационарной переносной крепью (СПК), состоящей из верхняка и двух раздвижных стоек, разворачиваемых манипулятором за комбайном. Шаг установки – переменный, исходя из прогнозируемых давлений. Если одна из сторон

камеры окажется в зоне нарушения, то приближающиеся секции постепенно разворачиваются в противоположную сторону, ширина камеры сокращается, а лишние секции выходят на выработку. Затем они могут быть возвращены.

Возможен и вариант, когда вся камера без изменения ширины смещается в сторону (см. рис. 3). Ширина камеры может достигать 20 м, а длина заходки – 30–40 м, что обеспечивает простое управление кровлей и сокращение потерь угля в целиках. Осуществив максимальный ход, комбайн разворачивается на 180° и возвращается на штрек. Для уменьшения нарезных работ выемка ведется в обе стороны от него.

Стреловидный исполнительный орган комбайна может придать уступную форму забою. Это имеет место и в струговых лавах, когда в кровле остается уступ, предотвращающий обрушения неустойчивой непосредственной кровли, а также при применении технологий с выпуском угля потолочины. Для потолкоуступного забоя (см. рис. 1, в) рассмотрено влияние сопротивления, когда нижняя консоль крепи длиной 1 м (см. А.С. 775333 СССР, кл. Е 21 D 23/06, 1980. (54). Устройство для крепления кровли) поддерживает уступ с распределенной нагрузкой $R_1 = 3,6$ МПа. Кровля за первой полусекцией поддерживается козырьком длиной 0,5 м с нагрузкой $R_2 = 4,8$ МПа. Разработана программа для исследования таких ситуаций с нижним уступом

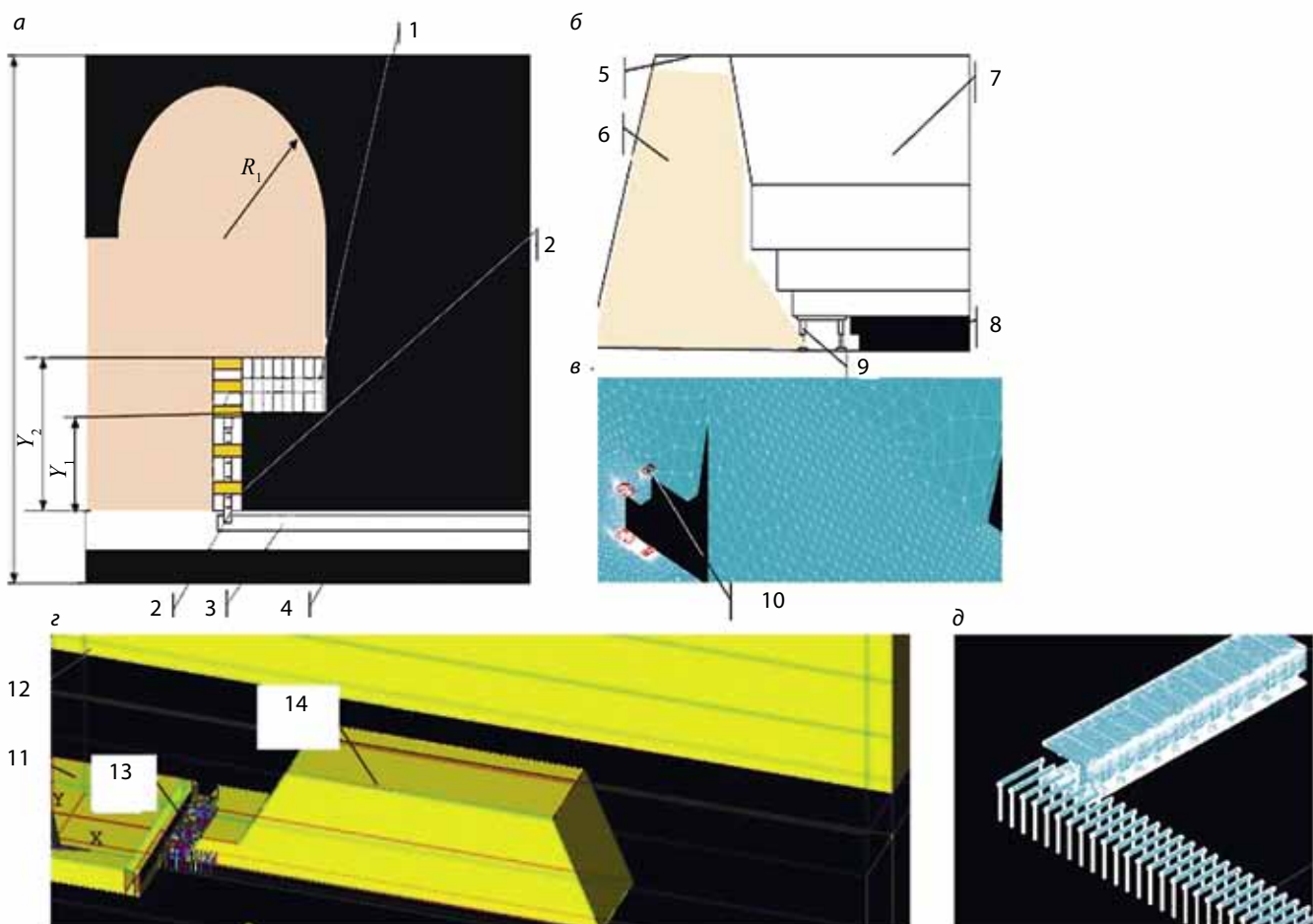


Рис. 1. Расчетная схема: а – схема: 1 – камера; 2 – КПС в выработке и камере; 3 – конвейер штрека; 4 – целик; б – схема: 5 – сводообразование; 6 – обрушение; 7 – породы ВУ; 8 – пласт у камеры; 9 – выработка с СПК; в – сетка КЭ; 10 – зоны нагрузки от крепи; г – элементы 3d-модели: 11 – пласт с зонами дезинтеграции; 12 – свод; 13 – крепь и СПК; 14 – обрушенные породы из свода; д – сетка КЭ для крепи камеры и СПК

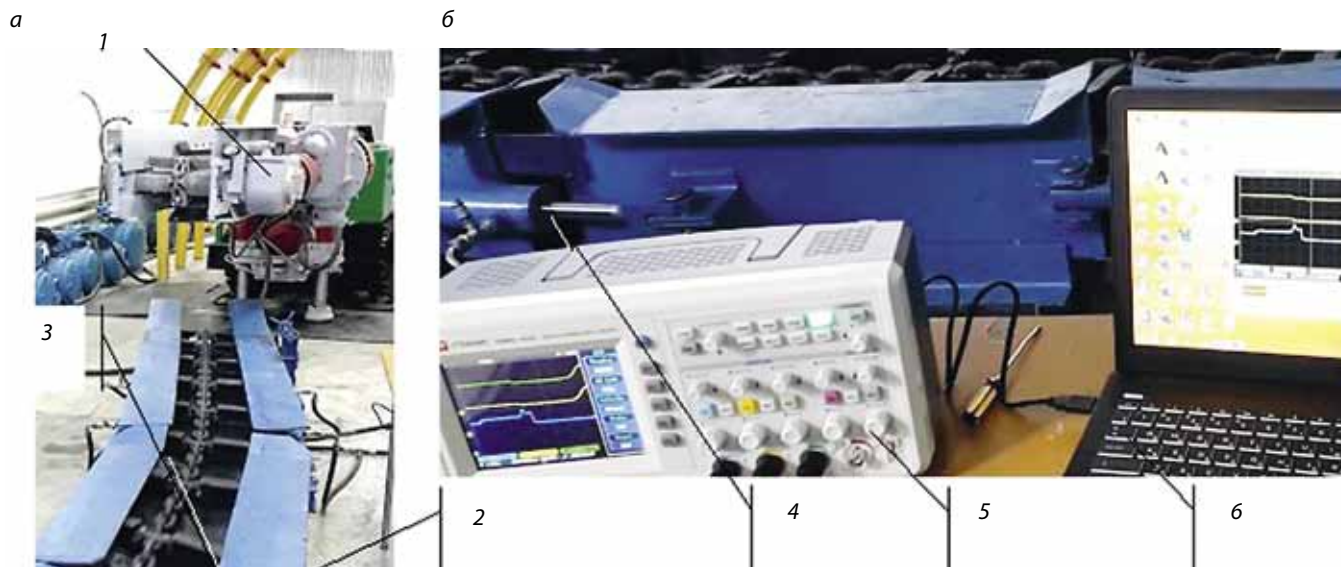


Рис. 2. Исследование передвижения с поворотом рештаков на стенде: а – за комбайном типа ГПК; 1 – ГПК; 2 – КПС; 3 – гидродатчик давления; б – запись процесса; 4 – гидроцилиндр поворота; 5 – осциллограф; 6 – ноутбук для управления

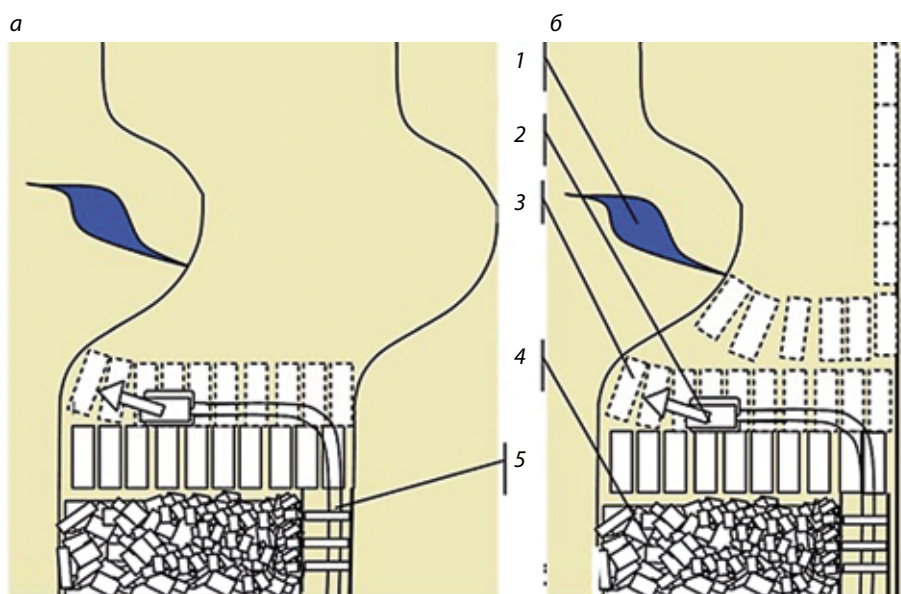


Рис. 3. Обход нарушений без изменения ширины камеры (а) и с изменением (б): 1 – нарушение; 2 – комбайн с КПС; 3 – маневрирующая крепь; 4 – зона обрушения; 5 – выработка с СПК

в забое (НУ) и уступом вышезалегающих пород (ВУ). Учитывается пластовая дезинтеграция зоны опорного давления и ситуации, когда обрушение пород идет с плавным опусканием и сводообразованием [4]. Расчетная схема (см. рис. 1, а, б, в) для разворота забоя включает часть пласта, к которой примыкает транспортная выработка с СПК (см. рис. 1, б, д). Схемы работы СПК и камерной крепи близки [5].

Но «забой» (стенка выработки) СПК не обновляется, а длина сокращается за счет подвигания забоя в направлении к штреку камеры. За андроидами также зависит уступ пород, который затем обрушается. Слева от СПК и за камерой слои над уступом могут образовывать свод или

плавно опускаться на обрушения [3]. Модель ВУ над забоем близка к модели пород над СПК. При построении модели примитивы пакета Ansys [6, 7], использованные для пород, протянуты до пересечения между собой и образуют г-образную зону поддержки вышезалегающих пород с образованием свода (см. рис. 1, б) либо с плавным смыканием. Структура и переменные модели в том числе позволяют легко менять схему расчета за счет использования цифрового кодирования [7, 8]. Для расчета напряжений при уступной выемке можно использовать плоские решения (см. рис. 1, в), что особенно принято в ситуациях, когда управление процессом добычи ведется в режиме обратной связи и необходимы быстрые расчеты [4, 9].

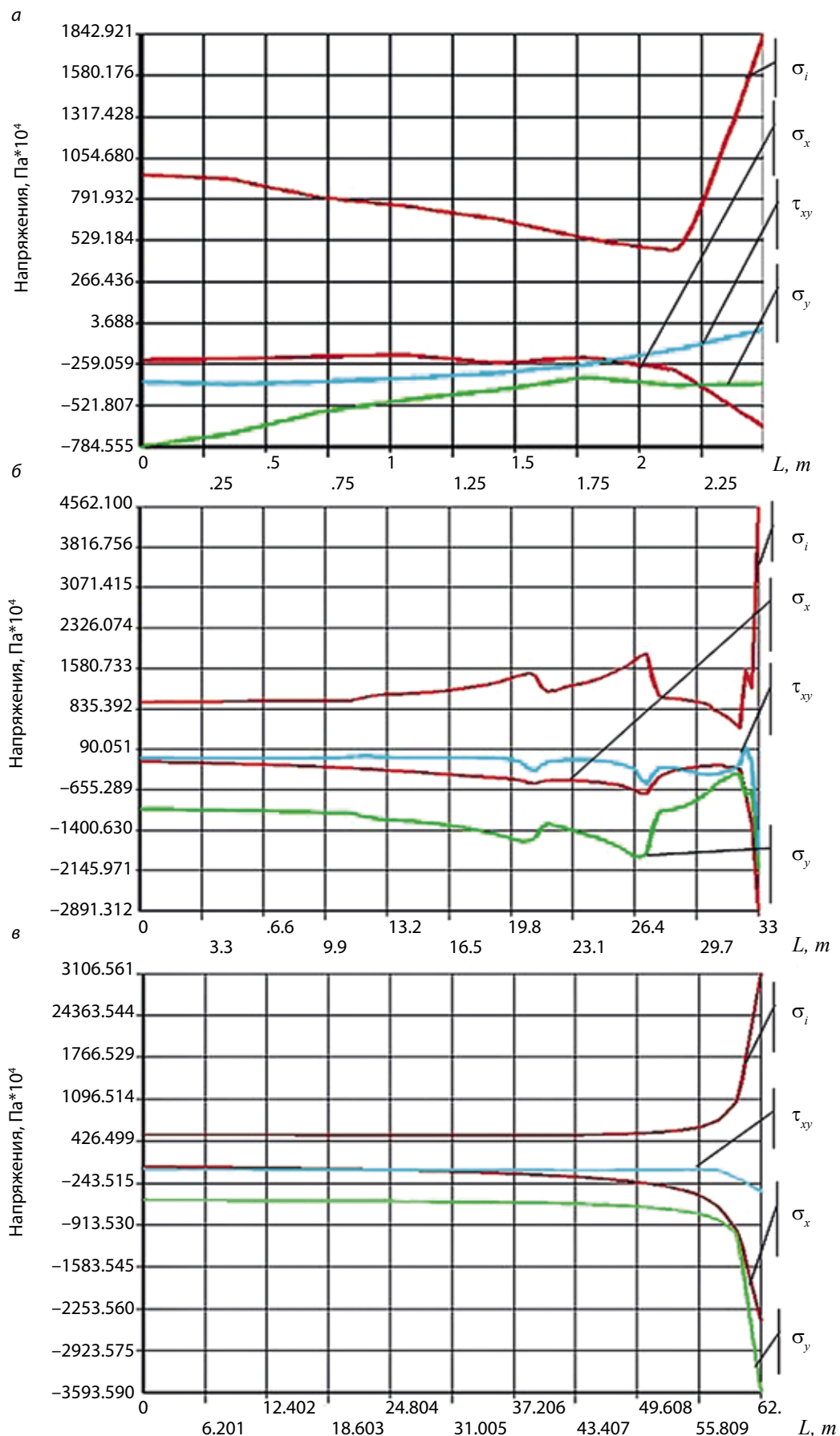


Рис. 4. Распределение напряжений: а – при нулевом сопротивлении; б – на длине от 60 до 92 м (верхний козырек) по верхней линии пласта; в – по ВУ от $x = 70$ до точки 301 (б) при сопротивлении крепи $R_1 = 3,8$ МПа; $R_2 = 4,8$ МПа; $\sigma_i, \sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – интенсивность, горизонтальные, вертикальные и касательные напряжения

В середине камеры напряжения плоской и объемной задачи (см. рис. 1, з) мало отличаются.

Расчеты выполнены для линий, проведенных:

- по сопряжению НУ с породами над крепью (рис. 4);
- линии, делящей уступ на две равные верхнюю и нижнюю части;
- линии выше на 0,1 м над нижней поверхностью поддержания.

При действии сопротивлений R_1 и R_2 происходит увеличение σ_x с 2,3 до 2,88 МПа, т.е. на 20% а σ_y возрастает примерно так же, что соответствует давлению около 8100 кН/м², или 81 кг/см², повышение напряжений происходит до уровня, когда опасных значений не достигнуто. Высокий распор крепи может поджать верхний уступ к кровле до возобновления контакта, что уменьшит изгибные напряжения в зоне сопряжения ВУ с вышелегающими породами (ВЗП). Тогда высокие напряжения сжатия в нижнем уступе позволят разрушить его к моменту схода с верхняка, где интенсивность напряжений (σ_x) резко повышается и вероятность трещинообразования увеличивается. Так происходит инициация мелкокускового обрушения сразу за крепью, что известно из практики. Вышелегающая кровля обрушается крупными блоками от изгиба.

При действии только R_1 вертикальное напряжение повысилось не более чем на 10%, что, по-видимому, объясняется разгружающим действием в первом случае R_2 , удаленном от рассматриваемой точки, приподнимающем НУ. По графику (см. рис. 4, б) можно судить о возможности обрушения ВУ, так, напряжение вдоль верхнего контура ВУ составляет 0,59 МПа (сжатие), а вертикальное – около 4,66 МПа. ВУ не отслаивается от ВЗП и несколько пригружен им. Контурное напряжение – небольшое сжатие, и поэтому оно может легко перейти в растяжение и привести к обрушению. Когда достигнуть обвала, следовало бы решать управленцам в зависимости от величины ожидаемого удара по забою, то есть в зависимости от длины уступа и состояния камеры. σ_y в зоне пласта – опорное давление, а частота его скачков увеличивается к поверхности забоя, уменьшаясь по амплитуде. Скачок же с ростом напряжений происходит в зоне крепи. Из анализа следует, что управление состоянием НУ должно производиться при наличии данных о виде, сдвиге и обрушении пород, что возможно при теоретическом построении графиков опорного давления и их сравнении с данными из массива, то есть работой в режиме обратной связи. Важна и информация о характере отслоения пород и, в частности, ВУ от ВЗП.

Таким образом, влияние сопротивления крепи на состояние уступа неоднозначно и определяется составом пород, структурой горного массива, складывающегося у забоя. Поэтому управляющие решения должны приниматься для каждого этапа подвигания. При подпоре только по кровле за уступом также наблюдается труднопрогнозируемое распределение напряжений. Так, при распоре уступа горизонтальное сжатие на первом участке контура пласта возросло и превысило 9,06 МПа (см. рис. 3, а), при отсутствии сопротивлений – 7,17 МПа и свыше 5,02 МПа при распоре только верхним козырьком, и около 6,92 МПа при полном распоре. Это соответствует и ранее приведенным данным [10, 11], поскольку распор козырька крепи прило-

жен ниже точки замера напряжения. Плоскость распора верхнего козырька находится выше и вызывает разгрузку. Для σ_x при снижении сопротивления происходит переход от сжимающих к опасным растягивающим по всей ширине камеры, и поэтому циклическая разгрузка может способствовать разрушению кровли. Изменение нагрузок на козырьки уступа P_k и кровли P_c может существенно повлиять на состояние призабойного массива. Управление зависит от текущего состояния массива и при наличии аномалий может потребоваться существенное изменение его методов, что моделируется программным комплексом.

Подтверждены возможности управления НДС уступа и призабойной части пласта распором крепи. Но степень этого влияния надо рассматривать для конкретного сочетания условий. В рассмотренных моделях уступ над крепью может быть легко доведен до самообрушения. Поэтому для технологий выпуска минерала из потолочины роль выдвигаемых исполнительных органов может быть сведена к дроблению негабаритов, защите рабочего пространства от прорыва пород и к дополнительному поддержанию кровли. СПК (см. рис. 1, д) вызывает существенную концентрацию напряжений, которая максимальна в зоне последней секции СПК и в 2 раза превышает пик опорного давления, что свидетельствует о пластическом деформировании пород под верхняками. Это связано с тем, что СПК набирает сопротивление как жесткая система за счет высокого модуля деформации, поэтому следует определить его оптимальное значение. В рамках данной модели [12, 13] и при усложнении модели [14] не представляет затруднений моделирование НДС при различных схемах разворота камеры и для возможных аномальных его распределений, например при пересечениях зоны работ другими выработками, что нередко происходит при работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях сложнотелегающих запасов эффективной системой разработки является камерная технология, в основе которой технические решения с КПС и выемкой угля проходческим очистным комбайном. Созданы объемные модели взаимодействия «породы – крепь» в условиях переменной архитектуры выработок, учтены пластовая дезинтеграция, специфика структурообразования и обрушения пород по схемам сводообразования и плавного смыкания пород с обрушенными, при этом возможности управления горным давлением возрастают.

Как показал МКЭ-анализ, представление об отслоениях как о первичных факторах сдвига пород у выработки подтверждается. Отслоения возможны при определенных соотношениях приведенных модулей упругости, модулей деформации уступа пород над крепью и их плотностей. Активная нагрузка существующих крепей для многих диапазонов этих соотношений позволяет уменьшить отслоения, а значит, и регулировать пригрузку на НУ, что позволяет управлять его разрушением. Влияние крепи рассматривается в режимах: при нарастающем сопротивлении, при постоянно действующей нагрузке, равной достигнутой на момент срабатывания предохранительного клапана, и при любой нагрузке меньше этой предельной.

Для третьего случая НДС таково, что в призабойной зоне забой устойчив либо будет обрезан по кровле с шагом,

превышающем захват комбайна, при этом дробление потолочины из-за особенностей распределения нагрузок на верхняках может быть достигнуто. Это подтверждает ранее выдвинутые предположения об управлении состоянием забоя за счет циклической работы перекрытиями. Модель позволяет имитировать и возможности аномально-го распределения напряжений и, в частности, при пересечении зоны работы иными выработками, когда необходимы резкие изменения по управлению забоем. Для технологий с выпуском угля на забойный конвейер самообрушение уступа практически гарантировано, что может обеспечить высоко производительный выпуск угля статическими исполнительными органами и надежное перекрытие от обрушенных пород, но высота выпуска будет зависеть от высоты их выдвижения.

Список литературы

1. Программирование, управление и цифровые модели забоев газоугольных шахт / Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев, Ж.Н. Нокина и др. М: Академия Естествознания, 2020. 176 с.
2. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Геоэкология освоения недр и экогеотехнологии разработки месторождений. М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015. 360 с.
3. Евразийский патент № 031964 В1. Секция шагающей крепи / К.М. Бейсембаев, Г.С. Жетесова, Н.С. Малыбаев и др. Патентообладатель Бейсембаев К.М. 2019. Бюл. 3.
4. Разработка модели лавы для системы управления механизированной крепью с обратной связью / К.М. Бейсембаев, Н.С. Малыбаев, С.К. Тутанов и др. // Горный журнал. 2019. № 8. С. 38-43.
5. Клишин В.И. Перспективные технологии и средства реализации эффективной добычи угля / Материалы

Национальной научно-практической конференции по вопросам горного машиностроения «Гормаш-2018». М., 2018.

6. Gaofeng Song, Yoginder P. Chugh, Jiachen Wang. A numerical modelling study of longwall face stability in mining thick coal seams in China // International Journal of Mining and Mineral Engineering. 2017. Vol. 8. N 1. P. 35-55.
7. Alshoabi M.A. Finite element modeling of mixed mode crack propagation // International Journal of Soft Computing and Engineering (TM). 2015. Vol. 5. N 5. P. 61-66.
8. A mesh free method for beams on elastic foundation / G.R.Dodagoudar et al. // International Journal of Geotechnical Engineering. 2015. Vol. 9. N 5. P. 298-306.
9. Łazuka E., Łazuka M. Application of ANSYS in teaching FEM on the example of a loaded Mars rover chassis // Advances in Science and Technology Research Journal. 2016. Vol. 10. N 32. P. 269-274. DOI: 10.12913/22998624/66682.
10. Зональная дезинтеграция горных пород вокруг очистных выработок / М. Ройтер, М. Крах, У. Кислинг, Ю. Векслер // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 2. С. 46-52.
11. Черняк И.Л. О проявлении опорного давления в подготовительных горных выработках // Уголь. 1989. № 1. С. 7-12.
12. Sadam Houcine Habib, Idir Belaidi. Crack analysis in bimaterial interfaces using t-spline based xiga // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. 2017. Vol. 55. N 1. P. 55-65.
13. Моделирование численными методами процессов обрушения пород кровли / Ю.М. Говорухин, С.В. Риб, А.М. Никитина, В.Н. Фрянов // Горный журнал. 2019. № 4. С. 23-26.
14. Ankush Galav, S.K. Sahoo, G.S.P. Singh, Sanjay K. Sharma. Study of Strata Behaviour in a Contiguous Seam Depillaring Working / Int. Conf. on Deep Excavation. Energy Resources and Production. IIT Kharagpur. India. 24-26 January, 2017. Paper No. 136.

Original Paper

UDC 622.273.3:622.272.6 © G.S. Zhetesova, K.M. Beysembayev, Zh.N. Nokina, Zh.T. Akizhanova, D.K. Asmagambet, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 1, pp. 14-20
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-14-20>

Title

MODELING A CHAMBER EXCAVATION WITH FACE SHAPE CONTROL

Authors

Zhetesova G.S.¹, Beysembayev K.M.¹, Nokina Zh.N.¹, Akizhanova Zh.T.¹, Asmagambet D.K.¹

¹ Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan

Authors' Information

Zhetesova G.S., Doctor of Engineering Sciences, Professor, First Vice-rector, e-mail: zhetesova@mail.ru

Beysembayev K.M., Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, e-mail: Kakim08@mail.ru

Nokina Zh.N., Doctoral student PhD, e-mail: zh.nokina@mail.ru

Akizhanova Zh.T., Doctoral student PhD, e-mail: zhanar_1988@inbox.ru

Asmagambet D.K., Doctoral student PhD, e-mail: kenzhebaeva_d@mail.ru

Abstract

New technologies for chamber excavation of disturbed reserves of solid minerals using maneuvering supports are considered. The excavation is carried out by short runs from the main drift with the use of a rotary conveyor in the face and preparatory workings and by turning the chamber during the return stroke. They reduce the loss of mineral and allow the application of fastening schemes depending on the rock pressure. On the

basis of Ansys APDL, models of the state of the rock mass with a ledge bottom shape with support of the ledge and a strip of the roof behind it, and support of the working with stationary-portable sections, taking into account the changing architecture of the workings, are considered. The model takes into account the resistance of the sections with the reduced modulus of elasticity that grows during deformation of rocks, as well as active loads calculated from the condition of the safety valve of the hydraulic prop. It is shown that by changing the size of the support sections, it is possible to control the state of the face and bench, to ensure its self-collapse and safe work of personnel, and in technologies with the release of the ceiling, to ensure the productive work of the retractable executive bodies for crushing and releasing the mineral of the bench with a fence from collapsed rocks.

Keywords

Modeling, Face, Bench, Self-caving, Rotary conveyor.

UNDERGROUND MINING

References

1. Zhetesova G.S., Beysembayev K.M., Nokina Zh.N. et al. Programming, control and digital models of faces in gas-coal mines. Moscow, Akademiya Estestvoznaniya Publ., 2020, 176 p. (In Russ.).
2. Trubetskoy K.N. & Galchenko Yu.P. Geoecology of mineral resources exploitation and ecogeotechnology of deposit development. Moscow, Nauchtekhizdat Publ., 2015, 360 p. (In Russ.).
3. Beysembayev K.M., Zhetesova G.S., Malybaev N.S. et al. Walking support section. Eurasian Patent No. 031964 B1. Patent holder: Beysembayev K.M., 2019, Bull. No. 3
4. Beysembayev K.M., Malybaev N.S., Tutanov S.K. et al. Development of longwall face model for closed-loop shield support control system. *Gornyi Zhurnal*, 2019, (8), pp. 38-43. (In Russ.).
5. Klishin V.I. Prospective technologies and means for effective coal mining / Proceedings of the Gormash-2018 National Scientific and Practical Conference on Mining Engineering, Moscow, 2018. (In Russ.).
6. Gaofeng Song, Yoginder P. Chugh & Jiachen Wang. A numerical modeling study of longwall face stability in mining thick coal seams in China. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 2017, Vol. 8(1), pp. 35-55.
7. Alshoaibi M.A. Finite element modeling of mixed mode crack propagation. *International Journal of Soft Computing and Engineering (TM)*, 2015, Vol. 5(5), pp. 61-66.
8. Dodagoudar G.R et al. A mesh free method for beams on elastic foundation. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 2015, Vol. 9(5), pp. 298-306.
9. Łazuka E. & Łazuka M. Application of ANSYS in teaching FEM on the example of a loaded Mars rover chassis. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2016, Vol. 10(32), pp. 269-274. DOI: 10.12913/22998624/66682.
10. Reuter M., Krach M., Kießling U., Veksler Yu. Zonal disintegration of rocks around breakage headings. *Fiziko-tehnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 2015, (2), pp. 46-52. (In Russ.).
11. Chernyak I.L. On manifestation of support pressure in development workings. *Ugol'*, 1989, (1), pp. 7-12. (In Russ.).
12. Sadam Houcine Habib & Idir Belaidi. Crack analysis in bimaterial interfaces using t-spline based xiga. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2017, Vol. 55(1), pp. 55-65.
13. Govorukhin Yu.M., Rib S.V., Nikitina A.M. & Fryanov V.N. Modeling of roof caving processes using numerical methods. *Gornyi Zhurnal*, 2019, (4), pp. 23-26. (In Russ.).
14. Ankush Galav, S.K. Sahoo, G.S.P. Singh, & Sanjay K. Sharma. Study of Strata Behaviour in a Contiguous Seam Depillaring Working / Int. Conf. on Deep Excavation. Energy Resources and Production, IIT Kharagpur, India, 24-26 January, 2017, Paper No. 136.

Acknowledgements

The work was performed as part of Program MOH RK AP05134441 "Development, manufacturing and testing of a new conveyor swivel block design with changing the material flow direction up to 90° within the floor plane for face excavation and curvilinear excavation systems".

For citation

Zhetesova G.S., Beysembayev K.M., Nokina Zh.N., Akizhanova Zh.T. & Asmagambet D.K. Modeling a chamber excavation with face shape control. *Ugol'*, 2021, (1), pp. 14-20. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-1-14-20.

Paper info

Received September 3, 2020
 Reviewed September 24, 2020
 Accepted December 11, 2020