

10.25558/VOSTNII.2023.74.91.001

УДК 622.023.23

© Н.В. Черданцев, 2023

**Н.В. ЧЕРДАНЦЕВ**

д-р техн. наук,

главный научный сотрудник

ФИЦ УХХ СО РАН, г. Кемерово

e-mail: nvch2014@yandex.ru



## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ВЫБРОСЕ УГОЛЬНОЙ ПЕРЕМЫЧКИ, РАСПОЛОЖЕННОЙ МЕЖДУ МАГИСТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНОЙ И КРОМКОЙ ПЛАСТА

*В статье решается задача о выбросе угольной перемычки при выполнении ранее сформулированного условия образования раскрытых трещин, расположенных в краевой зоне угольного пласта и заполненных свободным метаном.*

*Решение осуществляется в рамках модели, объединяющей модель геомеханического состояния угленородного массива, вмещающего угольный пласт и очистную выработку, а также концепцию акад. С.А. Христиановича о газодинамических процессах, происходящих в обрабатываемом угольном пласте.*

*Известно, что кливажные трещины, расположенные в предельно напряжённой краевой зоне пласта, при определённом сочетании горного давления, действующего на их берегах, и порового давления метана могут раскрываться с образованием пересекающих пласт от кровли до почвы магистральных трещин, заполненных свободным метаном. При нарушении условия равновесия угольного блока в виде перемычки между магистральной трещиной и кромкой пласта происходит его выброс как твёрдого тела.*

**Ключевые слова:** МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, НЕПРОЧНЫЙ ПРОСЛОЕК, ПЛАСТОВАЯ ВЫРАБОТКА, ПРЕДЕЛЬНО НАПРЯЖЁННЫЕ ЗОНЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ ПЛАСТА.

### ВВЕДЕНИЕ

В большинстве исследований по геодинамическим явлениям установлено, что внезапные выбросы угля и газа обусловлены следующими важнейшими факторами: распределением поля напряжений в краевой зоне пласта и изменением давления порового метана вглубь пласта [1–7]. В свою очередь, характер поля напряжений в краевой зоне зависит от наличия в пласте нарушений, представленных, например, непрочными прослойками, часто называемыми «слабыми» («перемычками») пачками. Изменение же

давления метана в пласте зависит от ряда коэффициентов: пористости, проницаемости, а также вязкости метана и скорости движения забоя выработки.

В работах [6, 7] показано, что на основании условия [8] о развитии трещин в твёрдых телах вдоль контакта слоёв, на котором отсутствует сцепление, страгивание трещины и её рост происходят в том случае, если внутреннее давление в ней превышает внешнее давление, действующее на берега трещины. Применительно к развитию кливажной трещины условие её раскрытия и превращение в маги-

стральную трещину происходит при следующем условии:

$$p_* \geq \sigma_n, \quad (1)$$

где  $p_*$  — давление порового метана,  $\sigma_n$  — нормальное к поверхности трещины напряжение в пласте.

Из теории напряжённого состояния известно, что нормальные к направлению кливажа напряжения  $\sigma_n$  связаны с компонентами поля напряжений в системе координат  $yOz$  известными формулами преобразования напряжений при повороте координатных осей [9]:

$$\sigma_n = \sigma_z \cdot \sin^2 \alpha + \sigma_y \cdot \cos^2 \alpha + \tau_{yz} \cdot \sin 2\alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — угол между вертикалью и направлением кливажных трещин.

Если напряжения  $\sigma_n$  определяются вдоль трассы выработки  $y$ , то  $\sigma_1 = \sigma_z$ ,  $\sigma_3 = \sigma_y$ ,  $\tau_{yz} = 0$ , и формула (2) принимает вид:

$$\sigma_n = \sigma_1 \cdot \sin^2 \alpha + \sigma_3 \cdot \cos^2 \alpha. \quad (3)$$

## ЗАДАЧИ О НАПРЯЖЁННОМ СОСТОЯНИИ МАССИВА С ОЧИСТНОЙ ВЫРАБОТКОЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПОРОВОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТАНА ВГЛУБЬ ПЛАСТА

Расчётная схема задач показана на рис. 1. На этом рисунке приняты следующие обозначения: 1 — очистная выработка высотой  $h$  и пролётом  $a$ ; 2 — механизированная крепь; 3 — угольный пласт; 4 — регулярная система кливажных трещин, наклонённых к вертикали под углом  $\alpha$ ; 5 — низко прочный прослоек угля мощностью  $h_s$ ; 6 — слой обрушенных пород позади очистной выработки;  $L$  — ширина предельно напряжённой зоны пласта;  $L_u$  — размер приконтурной части пласта, в которой раскрытие кливажных трещин и их переход в магистральные трещины, содержащие свободный метан под давлением  $p_0$ . Система координат  $yOz$  совпадает с центральными осями выработки.

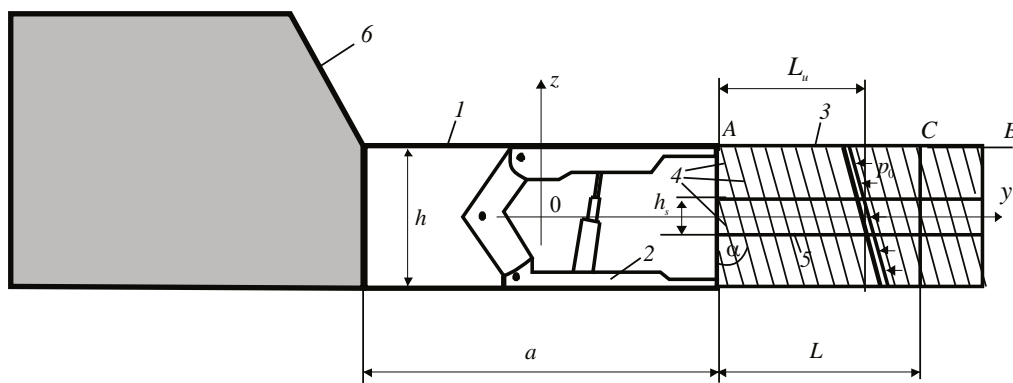


Рис. 1. Расчётная схема задачи

Основными параметрами задач являются следующие величины:  $H$  — глубина ведения горных работ (глубина заложения выработки);  $\gamma$  — средневзвешенный объёмный вес налегающих пород; характеристики прочности пласта:  $\sigma_0$  — предел прочности пласта на одноосное сжатие,  $\delta$  — угол внутреннего трения пласта,  $C'$  — коэффициент сцепления,  $\delta'$  — угол внутреннего трения на контактах пласта с остальным массивом,  $p_*$  — поровое давление метана,  $p_0$  — давление газа на свободной по-

верхности,  $K$  — коэффициент проницаемости пласта в произвольном сечении,  $K_*$  — коэффициент проницаемости пласта на достаточном удалении от его кромки,  $K_0$  — коэффициент проницаемости пласта на кромке пласта,  $L_K$  — расстояние от кромки пласта, при котором коэффициент проницаемости принимает значение, близкое к  $K_*$ ,  $m$  — коэффициент пористости угольного пласта,  $T_*$  — начальная температура газа,  $p_a$  — атмосферное давление,  $q_*$  — сорбция ( $m^3/t$ ) при давлении  $p_*$ ,  $q$  — сорб-

ция при давлении  $p$ ,  $\theta$  — скорость движения забоя выработки.

В ряде работ [10–12] приведены результаты решения задач напряжённого состояния в окрестности пластовых выработок как штрековых, так и очистных при переходе краевой части пласта в предельно напряжённое состояние, соответствующее возникновению необратимых пластических деформаций. В этих работах рассматривались условия перехода в предельное состояние как структурно однородного пласта, так и при наличии в нём непрочной прослойки. Даны сравнительные оценки параметров опорного давления краевой зоны пласта. Параметрами опорного давления являются максимальные значения вертикальных нормальных напряжений, действующих на пласт, а также ширина его предельно напряжённой (пластической) зоны. Кроме этого, показано, что наличие кливажа в пласте не изменяет характер напряжений в предельно напряжённой зоне, если в задаче учитываются горизонтальные поверхности

ослабления, представленные контактами пласта с массивом.

Кривые распределения порового метана вглубь пласта строятся в рамках концепции акад. С.А. Христиановича, представленной в работе [13].

При проведении вычислительного эксперимента в качестве исходной информации приняты следующие данные:  $H = 600$  м,  $\gamma = 25$  кН/м<sup>3</sup>,  $\alpha = 12^\circ$ ,  $\sigma_0 = 10$  МПа,  $\delta = 20^\circ$ ,  $\sigma_{0s} = 1,95$  МПа,  $\delta_s = 20^\circ$ ,  $\delta' = 10^\circ$ ,  $C' = 0$ ,  $a = 25$  м,  $h = 3$  м,  $h_s = 0,75$  м,  $\theta = 13$  м/сутки,  $m = 0,12$ ; величина  $K$  принимает значение, равное  $10^{-5}$  мД (миллидарси, 1 миллидарси =  $1,02 \cdot 10^{-15}$  м<sup>2</sup>) на расстоянии  $L_K = L$  от кромки пласта, на которой величина проницаемости  $K_0$  принимает значения 3 мД,  $\mu = 0,012$  сП =  $1,1 \cdot 10^{-11}$  МПа·с; атмосферное давление  $p_a = 0,1$  МПа,  $T_* = 293$  К. Сорбционная изотерма, определяющая параметры кривой порового давления метана в пласте, приведена в работах [6, 7] и показана на рис. 2.

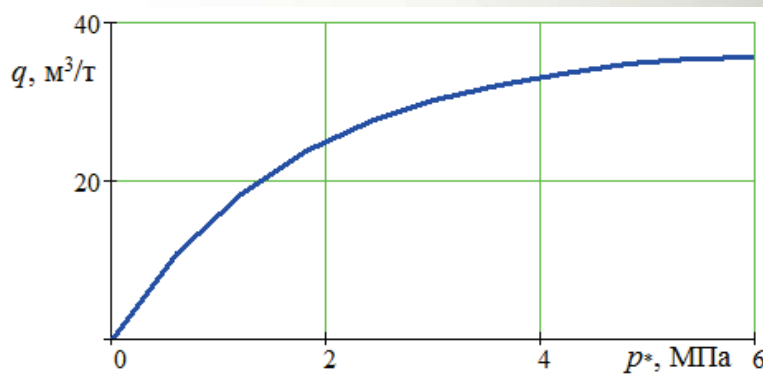


Рис. 2. Сорбционная изотерма пласта

Результаты расчёта напряжённого состояния в угольном пласте представлены на рис. 3, 4.

На рис. 3 показаны эпюры нормальных  $\sigma_z$  (кривые 1, 2) и касательных  $\tau_{yz}$  (кривые 3, 4) напряжений, построенные вдоль кровли пласта (линия АСВ). Эпюры 1, 3 построены в пре-

дельно напряжённой зоне, а кривые 2, 4 — в упругой области. Параметры опорного давления (максимальные нормальные напряжения  $\sigma_{z,max}$ , ширина предельно напряжённой зоны  $L$ ) принимают следующие значения:  $\sigma_{z,max} = 3,141 \gamma H$  (47,113 МПа),  $L = 7,303$  м.

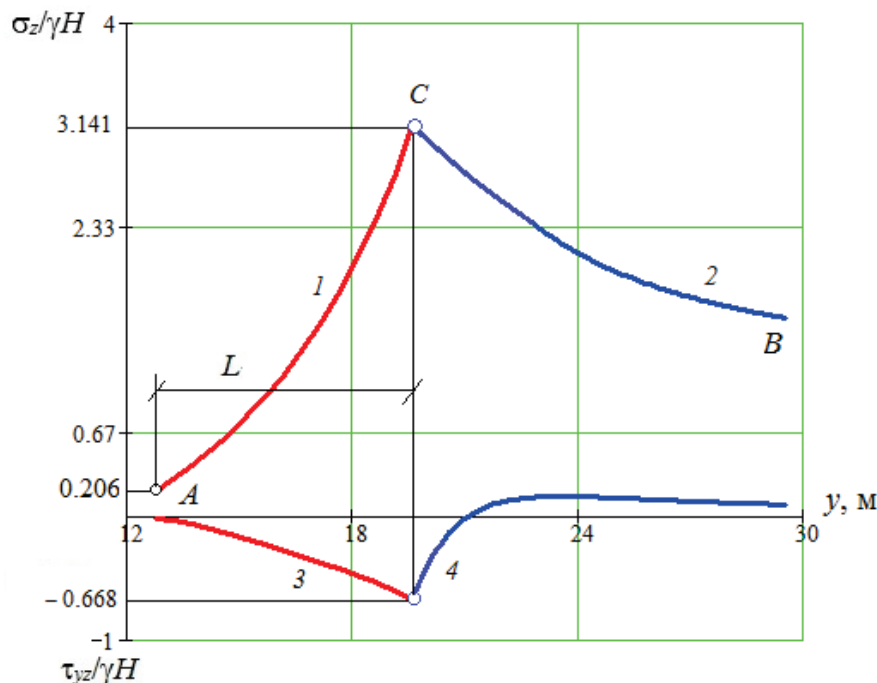


Рис. 3. Эпюры нормальных (кривые 1, 2) и касательных напряжений (кривые 3, 4), построенные вдоль кровли пласта

На рис. 4 представлены графики зависимости нормальных напряжений  $\sigma_n$  на берегах кливажных трещин. Кривая 1, построенная по формуле (3), показывает распределение напряжений вдоль оси пласта. Кривая 2 построена по формуле (2) и демонстрирует изменение напряжений  $\sigma_n$  вдоль кровли пласта.

Из рисунка видно, что на участке пласта между точкой *O*, расположенной вблизи его кромки, и точкой *D*, расположенной на пересечении кривых 1 и 3, величина порового давления метана превышает значения напряжений на берегах кливажной трещины, как на оси пласта, так и на его контакте с массивом. Ордината точки *D*, являющаяся давлением порового метана, равна 4,26 МПа, а абсцисса составляет 14,4 м, при этом расстояние от кромки пласта до точки *B* равно 1,9 м (14,4–12,5). Таким образом, в соответствии с усло-

вием (1) на этом участке длиной 1,9 м может произойти раскрытие кливажных трещин с образованием пересекающих мощность пласта магистральных трещин, заполненных свободным метаном.

Из сказанного следует, что раскрытой произвольной кливажной трещине соответствуют давление в произвольной точке на участке *OD* кривой 3 и ширина  $L_n$  части пласта (блока, перемычки) между трещиной и его кромкой. При размере перемычки больше 1,9 м образование магистральных трещин при заданных характеристиках среды невозможно.

Таким образом, зная характер распределения напряжений в краевой части пласта и распределение порового метана в нём, можно определить размер краевой зоны, в которой возможно образование свободных поверхностей.

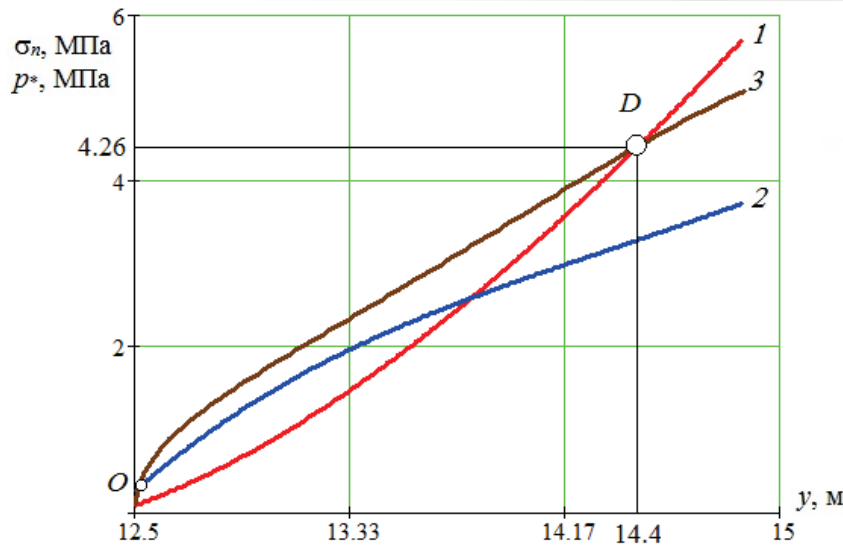


Рис. 4. Эпюры распределения нормального к кливажной трещине напряжения  $\sigma_n$  на оси пласта (кривая 1), в кровле пласта (кривая 2) и порового давления метана (кривая 3)

Следующим этапом в исследовании газодинамического процесса является этап изучения равновесия или движения части пласта (перемычки) между его кромкой и магистральной трещиной, заполненной свободным метаном.

### ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ВЫБРОСЕ (ВЫДАВЛИВАНИИ) МЕТАНОМ В ВЫРАБОТКУ УГОЛЬНОЙ ПЕРЕМЫЧКИ

Хорошо известно, что при внезапном разрушении угля без дробления в результате десорбции из угля мгновенно выделяется 10 % сорбированного в нём метана [13]. В данной задаче принято, что процесс раскрытия метаном кливажных трещин протекает быстро, поэтому при образовании магистральных трещин также выделяется 10 % метана, и это обстоятельство приводит к уменьшению давления свободного метана по сравнению с поровым давлением.

Давление метана на свободной поверхности  $p_0$  при раскрытии кливажной трещины, в которой до её раскрытия поровое давление было  $p_*$ , определяется по графику 2. График изменения давления свободного метана  $p_0$  при непрерывном раскрытии кливажных трещин вглубь пласта построен на рис. 5

(кривая 1). На этом же рисунке показан график изменения и порового давления метана (кривая 2).

Механизм выброса перемычки посредством метана, скопившегося на свободной поверхности магистральной трещины шириной  $u_0$ , образовавшейся в произвольном месте на участке  $OD$  (рис. 4), представляется следующим образом. Часть предельно напряжённой зоны шириной  $L_u$  на уровне оси пласта, расположенной между магистральной раскрывшейся кливажной трещиной и кромкой пласта, под действием скопившегося на этой поверхности метана может перемещаться в выработку на некоторую величину  $u$  (рис. 6).

Из рисунка видно, что на выдавливаемую часть пласта по его контакту с боковыми породами действует суммарная касательная нагрузка  $T$ , обусловленная касательными нагрузками по контактам пласта (верхнему  $T_b$  и нижнему  $T_n$ ), а со стороны свободной поверхности часть пласта нагружена силой  $P_0$ , которая обусловлена давлением свободного метана  $p_0$ . Сила  $P_0$  является активной нагрузкой, которая старается выдавить рассматриваемую часть в выработку, а суммарная сила  $T$  является реактивной силой, препятствующей её выдавливанию.

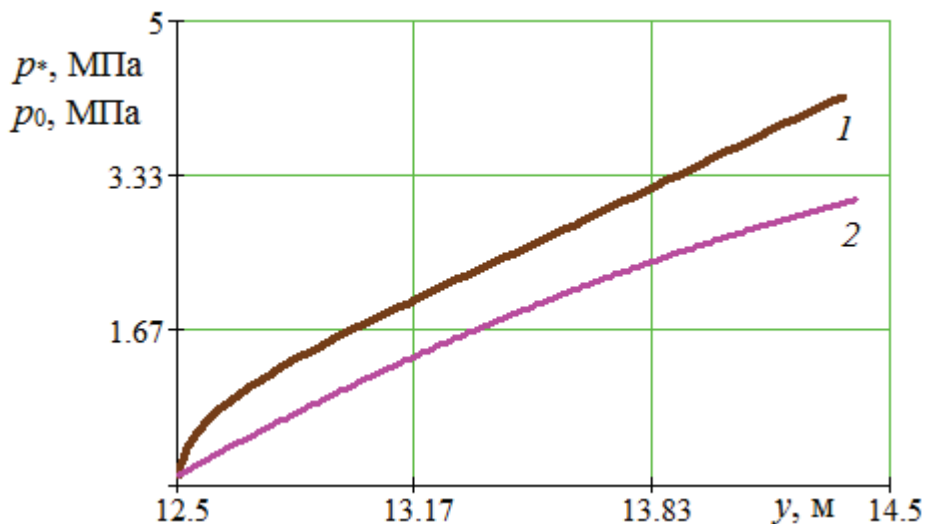


Рис. 5. Графики изменения давления порового (кривая 1) и свободного метана (кривая 2) вглубь пласта

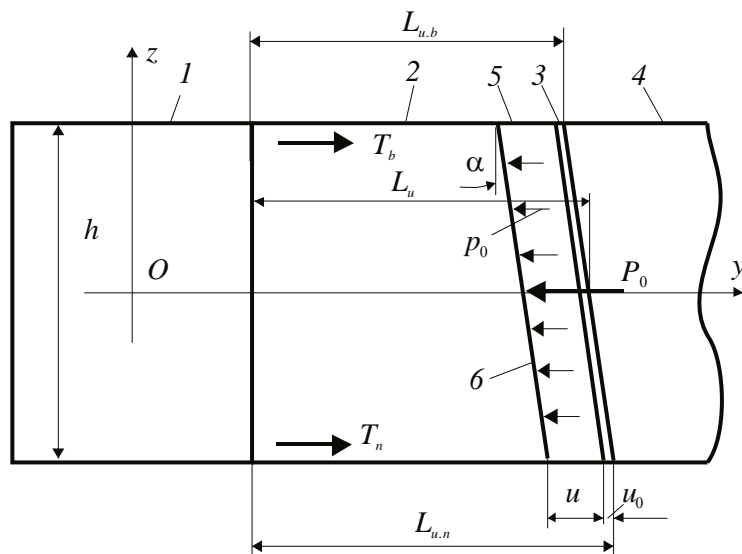


Рис. 6. Схема к задаче о выбросе перемычки. 1 — выработка, 2 — выдавливаемая часть пласта, 3 — магистральная трещина в момент раскрытия, 4 — угольный пласт, 5 — полость со свободным газом, 6 — движущаяся поверхность трещины

Касательные усилия определяются следующим образом:

$$T_b = \int_{a/2}^{L_{u,b}+a/2} \tau_{yz}(y) dy,$$

$$T_n = \int_{a/2}^{L_{u,n}+a/2} \tau_{yz}(y) dy,$$

где  $\tau_{yz}$  — касательные напряжения по верхнему и нижнему контактам пласта с масси-

вом, определяемые из решения краевых задач предельного состояния пласта,  $L_{u,b}$  — длина верхнего контакта части пласта с массивом,  $L_{u,n}$  — длина нижнего контакта части пласта с массивом.

Вместо величин  $T_b$  и  $T_n$  удобнее вычислять их суммарную величину  $T$  по следующей формуле

$$T = 2 \int_{a/2}^{L_u+a/2} \tau_{yz}(y) dy. \quad (4)$$

Следует отметить, что в момент образования магистральной трещины давление в ней равно  $p_0$ , а соответствующая этому давлению сила равна  $P_0$  и определяется следующим образом:

$$P_0 = (p_0 - p_a) \cdot h, \quad (5)$$

где  $p_a$  — атмосферное давление.

Превышение суммарной реактивной нагрузки  $T$  над активной силой  $P_0$  обеспечивает равновесие части пласта. В противном случае происходит нарушение её равновесия, и она приходит в движение.

В этой связи равенство сил  $T$  и  $P_0$  является предельным условием равновесия перемычки:

$$T - P_0 = 0. \quad (6)$$

Уравнение (6) вытекает из уравнения статики о равенстве нулю алгебраической суммы проекций всех сил на горизонтальную ось  $y$ .

Превышение активной силы над реактивной (пассивной) силой приводит к движению части пласта, которое на основании второго закона Ньютона описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$M \cdot \ddot{u} = P_0 - T. \quad (7)$$

где  $M$  — масса части пласта (его блока),  $\ddot{u}$  — перемещение рассматриваемой части пласта вдоль оси абсцисс  $y$ , точки над  $u$  обозначают операции дифференцирования по времени (первая производная обозначает скорость движения перемычки  $w$ ).

В уравнении (7) силы  $T$  и  $P_0$  являются переменными величинами, а масса блока считается постоянной, так как часть блока, перемещаясь внутрь выработки, если и рассыпается, то всё равно перемещается вместе с ним как единое целое.

Поскольку площадь контакта блока с массивом при его выдавливании уменьшается, то уменьшается и реактивная сила  $T$ . Кроме этого, при расширении трещины уменьшается

давление свободного метана  $p_0$  в ней. Таким образом, величины  $P_0$ ,  $T$ ,  $p_0$  являются функциями координаты  $u$ .

Входящие в уравнение (7) величины представляются следующим образом.

$$\begin{aligned} M &= \rho_y (L_u - u) \cdot h, \\ T_{ip} &= 2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u} \tau_{yz}(y) dy, \\ P_0 &= [p_0(u) - p_a] \cdot h. \end{aligned} \quad (8)$$

В выражении (8) для  $p_0$  определяется из графика 2 на рис. 5. Т. е. в задаче принято условие, о котором было сказано выше, что при расширении магистральной трещины давление свободного метана изменяется таким же образом, как изменялось оно при мгновенном образовании магистральных трещин на участке  $OD$ , на котором выполняются условия их раскрытия (1). При  $u = u_0$  оно равно давлению метана в момент образования магистральной трещины, а при  $u = L_u$  давление  $p_0 = p_a$ .

Подстановка выражений (8) в дифференциальное уравнение движения (7) после некоторых преобразований приводит это уравнение к следующему виду:

$$\ddot{u} = \frac{p_0(u) - p_a}{\rho_y L_u} - \frac{2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u} \tau_{yz}(y) dy}{\rho_y L_u h}. \quad (9)$$

Оно должно удовлетворять следующим однородным начальным условиям:

$$t=0. \quad 1. \quad u = u(0) = u_0 = 0, \quad 2. \quad \dot{u}(0) = w_0 = 0. \quad (10)$$

Уравнение (9) является нелинейным и в замкнутом виде не интегрируется. Для его решения используется численный метод — метод конечных разностей (МКР) [14]. Для этого перемещение  $u$  разбивается на  $n$  участков

(рис. 7), соответствующих равным интервалам времени  $\Delta t$ , и вместо первой и второй производной по времени составляются их ко-

нечно-разностные соотношения. Начальная точка 0 выбирается на контуре магистральной трещины в момент её раскрытия.

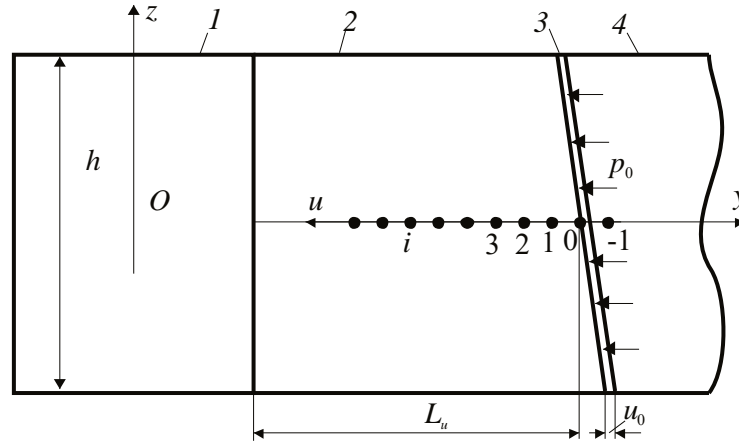


Рис. 7. Пояснения к методу конечных разностей

Для произвольной точки  $i$  конечно-разностные соотношения представляются следующими формулами [14]:

$$\begin{aligned} \dot{u}_i &= \frac{du_i}{dt} = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2\Delta t}, \\ \ddot{u}_i &= \frac{d^2u_i}{dt^2} = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta t^2}, \end{aligned} \quad (11)$$

Далее по формулам (11) последовательно составляются разностные соотношения для точек 0, 1, 2, 3, ...  $i$ .

Выражение первой производной для точки 0, соответствующей начальному моменту времени  $t = 0$  имеет следующий вид

$$\dot{u}_0 = \frac{u_1 - u_{-1}}{2\Delta t}. \quad (12)$$

С учётом второго начального условия (10) из формулы (12) следует, что

$$u_{-1} = u_1. \quad (13)$$

Выражение второй производной для точки 0

$$\ddot{u}_0 = \frac{u_1 - 2u_0 + u_{-1}}{\Delta t^2} =$$

$$= \frac{p_0(u_0) - p_{aT}}{\rho_y L_u} - \frac{2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u_0} \tau_{yz}(y) dy}{\rho_y L_u h}. \quad (14)$$

С учётом условий  $u_0 = 0$  и (13) из уравнения (14) следует, что

$$2u_1 = \left[ \frac{p_0 - p_a}{\rho_y L_u} - \frac{2 \int_{a/2}^{L_u + a/2} \tau_{yz}(y) dy}{\rho_y L_u h} \right] \Delta t^2. \quad (15)$$

Конечно-разностное уравнение для точки 1 представляется следующим образом

$$\ddot{u}_1 = \frac{u_2 - 2u_1 + u_0}{\Delta t^2} =$$

$$= \frac{p_0(u_1) - p_a}{\rho_y L_u} - \frac{2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u_1} \tau_{yz}(y) dy}{\rho_y L_u h}.$$



Отсюда с учётом того, что  $u_0 = 0$  определяется перемещение в точке 2.

$$u_2 = \left[ \frac{p_0(u_1) - p_a}{\rho_y L_u} - \frac{2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u_1} \tau_{yz}(y) dy}{\rho_y L_u h} \right] \Delta t^2 + 2u_1. \quad (16)$$

Конечно-разностное уравнение для точки 2 представляется в виде:

$$\ddot{u}_2 = \frac{u_3 - 2u_2 + u_1}{\Delta t^2} = \frac{p_0(u_2) - p_a}{\rho_y L_u} - \frac{2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u_2} \tau_{yz}(y) dy}{\rho_y L_u h}.$$

Отсюда определяется выражение для перемещения в точке 3

$$u_3 = \left[ \frac{p_0(u_2) - p_a}{\rho_y L_u} - \frac{2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u_2} \tau_{yz}(y) dy}{\rho_y L_u h} \right] \Delta t^2 + 2u_2 - u_1. \quad (17)$$

Для произвольной точки  $i$  конечно-разностное уравнение принимает вид

$$\ddot{u}_i = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta t^2} = \frac{p_0(u_i) - p_a}{\rho_y L_u} - \frac{2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u_i} \tau_{yz}(y) dy}{\rho_y L_u h}.$$

Отсюда выражение перемещения для точки  $i + 1$  и скорости точки  $i$  принимают вид

$$u_{i+1} = \frac{1}{\rho_y L_u h} \left[ (p_0(u_i) - p_a) h - 2 \int_{a/2}^{L_u + a/2 - u_i} \tau_{yz}(y) dy \right] \cdot \Delta t^2 + 2u_i - u_{i-1},$$

$$\dot{u}_i = w_i = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2\Delta t}. \quad (18)$$

Конечно, разностные соотношения (15) – (18) полностью определяют перемещения в точках, расположенных вдоль середины пласта.

Согласно принятому выше условию о том, магистральная трещина проходит через точку  $D$  (рис. 4), тогда абсцисса её середины равна 14,4 м, следовательно, ширина перемычки  $L_u$  на уровне оси пласта составляет 1,9 м. Ордината, соответствующая поровому давлению метана  $p_*$  равно 4,26 МПа. Давление  $p_0$  свободного метана на берегах только что образованной магистральной трещины, найденное с помощью адсорбционной изотермы на рис. 2, равно 3,06 МПа. Плотность угля  $\rho_y$ , принята равным 1350 кг/м<sup>3</sup>.

На рис. 8, 9 по разработанному выше алгоритму представлены результаты решения задачи о движении перемычки. На этих рисунках построены график перемещения, а на рис. 9 — график изменения скорости за время полного выброса перемычки в выработку.

Из анализа графиков следует, что угольная перемычка полностью выбрасывается (выдавливается) в выработку всего за 0,074 секунды, при этом её скорость в этот момент достаточно большая и достигает величины 43,48 м/с.

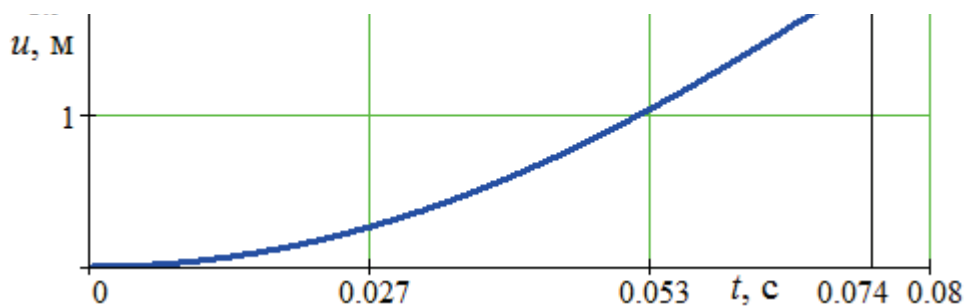


Рис. 8. График зависимости перемещения перемычки от времени

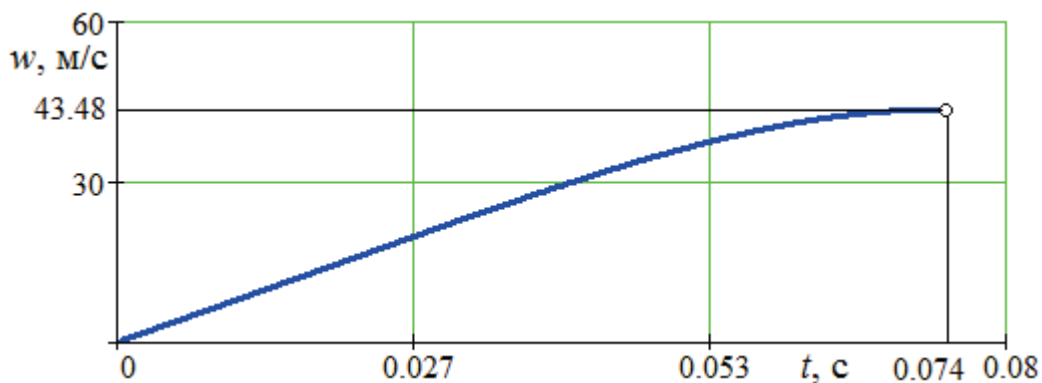


Рис. 9. График изменения скорости блока с течением времени

В представленном примере приведено только решение о выбросе угля (выдавливании перемычки). Что касается метана, то в момент полного выброса перемычки его давление равно атмосферному давлению, поэтому ударной воздушной волны не возникает.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В основе разработанного подхода к решению задачи о выбросе угля в выработку лежат фундаментальные разработки С.А. Христиановича о газодинамических процессах в угольном пласте, а также модель геомеханического состояния углепородного анизотропного по прочности углепородного массива в окрестности пластовой выработки. Показана связь опорного давления пласта и кривой давления порового метана, по которой определяются выбросоопасные участки в краевой зоне пласта.

2. Образование магистральных трещин инициирует дальнейшие газодинамические

процессы в краевой части угольного пласта, которые происходят, в основном, путём простого выброса (выдавливания) угольной перемычки (части угольного пласта между трещиной и забоем выработки).

3. Представленный подход позволяет производить прогноз газодинамических явлений и формулировать рекомендации по безопасной отработке газоносных угольных пластов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» проект FWEZ-2021-0001 «Создание многофункциональных систем мониторинга и прогноза газодинамических явлений, контроля напряженного состояния, разработка методов их предотвращения и оценки эффективности при подземной разработке угольных месторождений» (рег. № АААА-А21-121012290020-4)*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. М.: ГосНГИ, 1961. 363 с.
2. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. М.: Недра, 1983. 280 с.
3. Зыков В.С. О механизме формирования выбросоопасной ситуации в очистном забое угольной шахты // Маркшейдерский вестник. 2016. № 5. С. 44–48.
4. Зыков В.С., Филатов Ю.М. Проявление опасности по газодинамическим явлениям в очистных забоях угольных шахт // Научноёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2018. № 4. С. 441–445.
5. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. М.: Недра, 1976. 272 с.
6. Черданцев Н.В. Решение задачи о раскрытии метаном трещин в предельно напряжённой зоне пласта // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 2. С. 13–19.
7. Черданцев Н.В. Постановка и решение задачи о раскрытии метаном кливажных трещин в краевой зоне угольного пласта // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 1. С. 14–26.
8. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1984. 560 с.
9. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970. 940 с.
10. Черданцев Н.В. Один из подходов к построению траектории трещины гидроразрыва в массиве горных пород вблизи горной выработки // Прикладная математика и механика. 2020. Т. 84. № 2. С. 208–233.
11. Черданцев Н.В. Оценка геомеханического состояния краевой зоны угольного пласта, вмещающего непрочный прослоек // Прикладная математика и механика. 2021. № 2. С. 239–256.
12. Черданцев Н.В. Об одном подходе к расчёту напряжённого состояния краевой зоны угольного пласта, вмещающего непрочный прослоек // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 1. С. 5–16.
13. Христианович С.А. Распределение давления газа вблизи движущейся свободной поверхности угля // Известия АН СССР. ОНТ, 1953. № 12. С. 1673–1678.
14. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1977. 656 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.74.91.001

UDC 622.023.23

© N.V. Cherdantsev, 2023

**N.V. CHERDANTSEV**

Doctor of Engineering Sciences,

Chief Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: nvch2014@yandex.ru

## SOLVING THE PROBLEM OF COAL BRIDGE DISCHARGE LOCATED BETWEEN THE MAIN FRACTURE AND THE RESERVOIR EDGE

*The article solves the problem of discharging the coal bridge when fulfilling the previously formulated condition for the formation of open cracks located in the edge zone of the coal seam and filled with free methane.*

*The solution is carried out within the framework of a model that combines a model of the geomechanical state of a coal-bearing massif containing a coal seam and a treatment mine, as well as the concept of*

academician S.A. Khristianovich on gas-dynamic processes occurring in the coal seam being worked out.

*It is known that cleft fractures located in the extremely stressed marginal zone of the formation, with a certain combination of the mountain pressure acting on their shores, and the pore pressure of methane, can open with the formation of main fractures crossing the formation from the roof to the soil, filled with free methane. In case of violation of the equilibrium condition of the coal block in the form of a bridge between the main crack and the edge of the formation, it is released as a solid.*

Keywords: ROCK MASSIF, COAL SEAM, WEAK INTERLAYERS, FORMATION WORKING, EXTREMELY STRESSED ZONES, FORMATION STRENGTH CHARACTERISTICS.

#### REFERENCES

1. Khodot V.V. Sudden emissions of coal and gas. Moscow: «GosNGI», 1961. 363 p. [In Russ.].
2. Petukhov I.M., Linkov A.M. Mechanics of rock impacts and emissions. M.: Nedra, 1983. 280 p. [In Russ.].
3. Zykov V.S. On the mechanism of formation of an explosive situation in the treatment face of a coal mine // Surveyor's Bulletin [Markshejderskij vestnik]. 2016. No. 5. P. 44–48. [In Russ.].
4. Zykov V.S., Filatov Yu.M. Manifestation of danger by gas-dynamic phenomena in the treatment faces of coal mines // High-tech technologies for the development and use of mineral resources [Naukoyomkie tekhnologii razrabotki i ispolzovaniya mineralnyh resursov]. 2018. No. 4. P. 441–445. [In Russ.].
5. Fisenko G.L. Limiting conditions of rocks around workings. M.: Nedra, 1976. 272 p. [In Russ.].
6. Cherdantsev N.V. Solving the problem of methane cracking in the extremely stressed zone of the formation // Occupational safety in industry [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 2022. No. 2. P. 13–19. [In Russ.].
7. Cherdantsev N.V. Formulation and solution of the problem of methane disclosure of cleavage cracks in the marginal zone of a coal seam // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti]. 2022. No. 1. P. 14–26. [In Russ.].
8. Sedov L.I. Mechanics of a continuous medium. M.: Nauka, 1984. 560 p. [In Russ.].
9. Lurie A.I. Theory of elasticity. M.: Nauka, 1970. 940 p. [In Russ.].
10. Cherdantsev N.V. One of the approaches to constructing the trajectory of a hydraulic fracturing crack in a rock massif near a mining operation // Applied Mathematics and Mechanics [Prikladnaya matematika i mekhanika]. 2020. Vol. 84. No. 2. P. 208–233. [In Russ.].
11. Cherdantsev N.V. Assessment of the geomechanical state of the marginal zone of a coal seam containing a fragile interlayer // Applied Mathematics and Mechanics [Prikladnaya matematika i mekhanika]. 2021. No. 2. P. 239–256. [In Russ.].
12. Cherdantsev N.V. On one approach to the calculation of the stress state of the marginal zone of a coal seam containing a fragile interlayer // Bulletin of the Scientific Center of VostNII on Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti]. 2021. No. 1. P. 5–16. [In Russ.].
13. Khristianovich S.A. Distribution of gas pressure near the moving free surface of coal // Proceedings of the USSR Academy of Sciences [Izvestiya Akademii nauk SSSR]. ONT, 1953. No. 12. P. 1673–1678. [In Russ.].
14. Samarsky A.A. Theory of difference schemes. M.: Nauka, 1977. 656 p. [In Russ.].