

ЧЕБЫШЕВСКИЙ СБОРНИК

Том 18 Выпуск 3

УДК 539.3, 539.4, 519.6 DOI 10.22405/2226-8383-2017-18-3-350-362

**К РАЗРАБОТКЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ
ПАНЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ
ГОРНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННЫХ
РЕШЕНИЙ ПО ПРОГНОЗУ РАЗВИТИЯ
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА
ГОРНЫХ ПОРОД И ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ**С. Э. Лапин¹, В. Б. Писецкий²**Аннотация**

Развитие инженерно-геологических процессов, в том числе и опасных, в границах области активного влияния горно-технических работ в подземной выработке (тоннеля, подготовительного или очистного забоев) на горный массив обусловлено, как хорошо известно, изменением структуры и параметров напряженно-деформированного состояния (НДС). Оценка напряжений в ближней зоне обнажения массива (в пределах первых метров) осуществляется рядом инструментальных методов, регламентированных федеральными или ведомственными документами для тех или иных инженерно-геологических условий и технологий ведения горных работ (давильные установки, дискование керна, извлечение штыба и др.). Широко известны и экспериментально-аналитические методы, основанные на расчетах напряжений в окрестности выработки по известным (измеренным) первоначальным напряжениям на обнажении массива.

Существенным продвижением по развитию экспериментально-аналитического подхода к организации непрерывного контроля и прогноза развития опасных инженерно-геологических процессов в подземном строительстве является совершенствование сейсмических методов дистанционной оценки структуры и параметров НДС [1, 6, 12, 13]. Отметим, что в настоящее время действует несколько нормативных документов по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений, а также состояния шахтной атмосферы в выработках и которые регламентируют, в

¹Лапин Сергей Эдуардович, научный сотрудник кафедры автоматизации и компьютерных технологий Уральского государственного горного университета, ingortech@yandex.ru

²Писецкий Владимир Борисович, заведующий кафедрой геоинформатики Уральского государственного горного университета

том числе, применение сейсмических систем контроля [2, 3, 4]. Подобные документы в ведомственных форматах действуют и для условий строительства транспортных тоннелей, гидросооружений и других объектов повышенной степени ответственности.

Предложен подход к созданию геоинформационной панели безопасности подземных горных работ на основе связанных решений по прогнозу развития напряженного состояния массива горных пород и газовых потоков в рамках пакета прочностного анализа Фидесис.

Ключевые слова: геоинформационная панель безопасности, дискретная структура массива, численное моделирование напряженно деформированного состояния горного массива, газовые потоки, междисциплинарные задачи.

Библиография: 15 названий.

INFORMATION TO DEVELOP GEOINFORMATION SAFETY PANEL OF UNDERGROUND MINING WORKS BASED ON RELATED SOLUTIONS IN PROGNOSIS OF THE DEVELOPMENT OF STRESSED STATE OF THE MASSIF OF MOUNTAIN ROCKS AND GAS FLOWS

S. E. Lapin, V. B. Pisetskiy

Abstract

Development of engineering-geological processes, including dangerous, within the boundaries of the area of active influence of mining operations in the underground minings (tunnels, preparatory face or working face) at the massif of mountain rocks, is due to, as is well known, changing in structure and parameters stress-strain state (SSTS).

Estimation of stresses in the near zone of exposures of the massif (within the first meters) is carried out by a number of instrumental methods, regulated by federal or departmental documents for those or other engineering and geological conditions and technologies for mining (pressure installations, diskings of core, extraction of rubbles, etc.). Widely known and experimental analytical methods based on stress calculations in the neighborhood of working area from known (measured) initial stresses on the exposures of the massif.

A significant advance in the development of the experimental and analytical approach to the organization of continuous monitoring and forecasting the development of hazardous engineering and geological processes in underground construction is the improvement of seismic

methods of remote evaluation of the structure and parameters of SSTs [1, 6, 12, 13]. It should be noted that at present several regulatory documents on the forecast of dynamic phenomena and monitoring of rock mass during mining of coal deposits, as well as the state of the mine atmosphere in the excavations and which regulate, among other things, the use of seismic monitoring systems [2, 3, 4]. Similar documents in departmental formats are also applicable to the conditions of construction of transport tunnels, hydroconstructions and other objects of increased responsibility.

The article proposes an approach to the creation of a geoinformation safety panel of underground mining works based on related solutions in prognosis of the development of stressed state of the massif of mountain rocks and gas flows within the framework of the Fidesis strength analysis package.

Keywords: geoinformation safety panel, discrete massif structure, gas flows, interdisciplinary tasks.

Bibliography: 15 titles.

1. Введение

Принципиально важным обстоятельством в решении проблемы организации эффективного и детерминированного на значимом уровне метода прогноза событий, связанных с пикативной или импульсной потерей прочности массива является безальтернативная возможность дистанционной оценки структуры и параметров НДС по сейсмическому отклику горного массива [5, 6, 14]. Действительно, фундаментальная связь тензора “малых” напряжений во фронте упругой волны с тензором “больших” напряжений, действующих в том же объеме массива [7] представляет собой прямую основу для функционального перехода от сейсмических атрибутов сигналов упругих волн различного типа к оценкам структуры и параметров НДС в объеме пространства от первых до нескольких десятков метров во все стороны от обнажения массива в выработке. Такие оценки не совпадают по уровню с оценками инструментальных методов на обнажении массива по следующим понятным причинам:

- различие в физических процессах прямых и дистанционных методов измерений;
- вблизи обнажения массива оценки напряжений искажены свободной поверхностью с неизвестной функцией релаксации.

Формирование и изменчивость параметров НДС горного массива в реальных условиях строительства подземных сооружений определяется суперпозицией естественных гравитационных и геодинамических полей в совокупности с процессами техногенной трансформации подземного пространства [15]. В такой динамической природно-технической системе (ПТС) развитие многих инженерно-геологических процессов происходит по неочевидным сценариям. Именно по этим причинам достоверность прогноза структуры и пара-

метров НДС на безопасном удалении от обнажения массива возможна только с применением современных сейсмических технологий и будет зависеть от точности определения упругих параметров, которые могут быть далее положены в основу аналитического перехода к регламентным оценкам прочности массива.

2. Основная часть

Принципиальной физической основой для постановки и решения задач по оценки прочности и критериев устойчивости является представление о структуре дискретности массива горных пород. По существу, любую трещинную систему можно рассматривать с двух точек зрения: как систему плоских элементов нарушения сплошности и как систему отдельных блоков, на которые среда разделилась в системах трещин, замкнутых друг на друга. Вторая точка зрения позволяет оперировать не с параметрами трещин, которые практически невозможно измерить, а с параметрами блоковой (дискретной) структуры тех или иных литологических элементов (рисунок 1). Поскольку геометрия и физические свойства стратиграфических и литологических объектов в процессах подземной разработки устанавливаются по факту проходки выработок, то представляется возможным оценить и параметры дискретной структуры этих объектов в формате горно-геологической модели с дискретной структурой. Заметим особым образом, что переход ПТС в динамическое состояние с последующим разрушением подчиняется блоковому механизму (рисунок 2).

Ключевым понятием развития деформационных процессов в дискретных средах с переменными напряжениями в окрестности подземной выработки является фрикционный механизм, который “разрешает” каждому дискрету и их ансамблям, входящим в рассматриваемый объем среды, деформироваться индивидуально за счет процессов проскальзывания. В свою очередь, фрикционный механизм, кроме величины и знака внешнего силового воздействия, будет управляться коэффициентом трения, величина которого связана с “качеством” контактных плоскостей блоков и с фазовым состоянием флюида, “смазывающим” эти контакты (газ, вода и прочие заполнители пустотного пространства).

Экспериментальным путем установлено (Byerlee J.D., 1978), что в интервале глубин 0.2-10 км блоки (дискреты) горной породы могут совместно и линейно деформироваться до того момента, пока выполняется неравенство $\tau < 0.85\sigma$ (для “сухой” среды), где τ — сдвиговое напряжение, σ — нормальное напряжение. Как только это условие будет нарушено, линейная деформация перейдет в нелинейную форму — в состояние пластического течения в интервале А-В графика фрагмента “а” на рисунке 2. При наличии “смазки” (вода, глинистый заполнитель и пр.) коэффициент трения (0.85) существенно снизится. За точкой В могут начаться процессы импульсного характера от “тресков” до горных ударов.

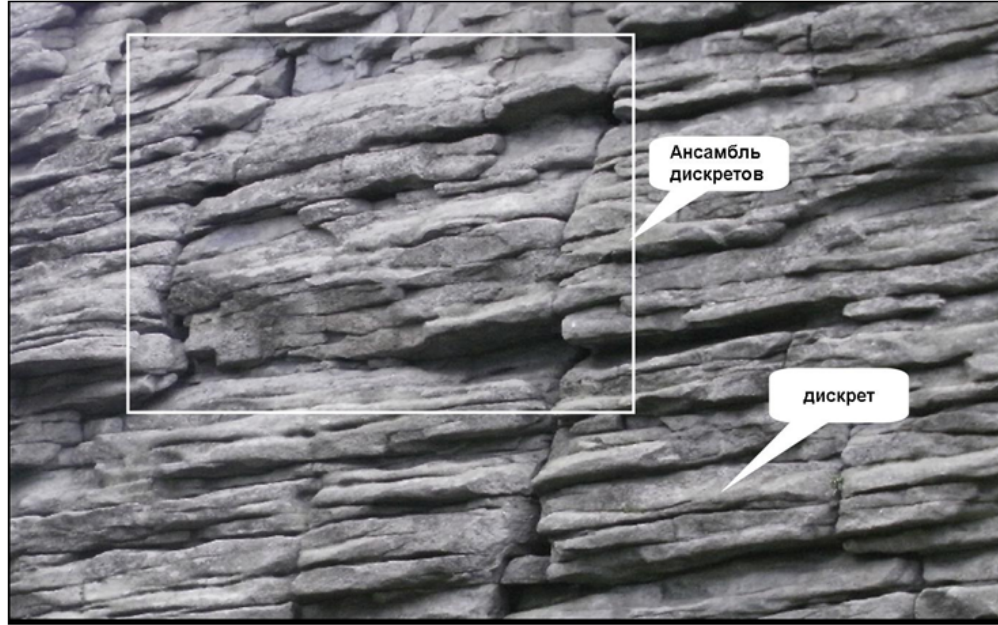


Рис. 1: Типичные элементы дискретной структуры массива горных пород

Внешняя силовая нагрузка на верхнюю кромку дискретной модели σ_{zz} и трение между блоками порождает появление дополнительных поперечных напряжений τ , которые можно рассматривать как граничные условия и решать с учетом этих условий систему классических уравнений теории упругости. Сила τ определяется в соответствии с законом Амонтона.

Дифференциальные уравнения равновесия записываются с учетом дополнительных напряжений на вертикальных контактах следующим образом [5]:

$$\begin{pmatrix} \lambda + 2 \cdot \mu & \lambda & \lambda \\ \lambda & \lambda + 2 \cdot \mu & \lambda \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2 \cdot \mu \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\partial u_1}{\partial x} \\ \frac{\partial v_1}{\partial y} \\ \frac{\partial w_1}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tau \\ \tau \\ -\sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \lambda + 2 \cdot \mu & \lambda & \lambda \\ \lambda & \lambda + 2 \cdot \mu & \lambda \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2 \cdot \mu \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\partial u_2}{\partial x} \\ \frac{\partial v_2}{\partial y} \\ \frac{\partial w_2}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tau \\ \tau \\ -\sigma_{zz} \end{pmatrix} \quad (1)$$

при выполнении в плоском случае граничного условия $u_1(x = 0) = u_2(x = 0) = 0$ решение систем имеет вид:

$$\begin{aligned} u_1 = u_2 &= \frac{\lambda \cdot \sigma_{zz} + 2 \cdot (\lambda + \mu) \cdot \tau}{2 \cdot \mu \cdot (3 \cdot \lambda + 2 \cdot \mu)} \cdot x; \\ v_1 = v_2 &= \frac{\lambda \cdot \sigma_{zz} + 2 \cdot (\lambda + \mu) \cdot \tau}{2 \cdot \mu \cdot (3 \cdot \lambda + 2 \cdot \mu)} \cdot y; \\ u_1 = u_2 &= -\frac{\lambda \cdot \tau + 2 \cdot (\lambda + \mu) \cdot \sigma_{zz}}{2 \cdot \mu \cdot (3 \cdot \lambda + 2 \cdot \mu)} \cdot z; \end{aligned} \quad (2)$$

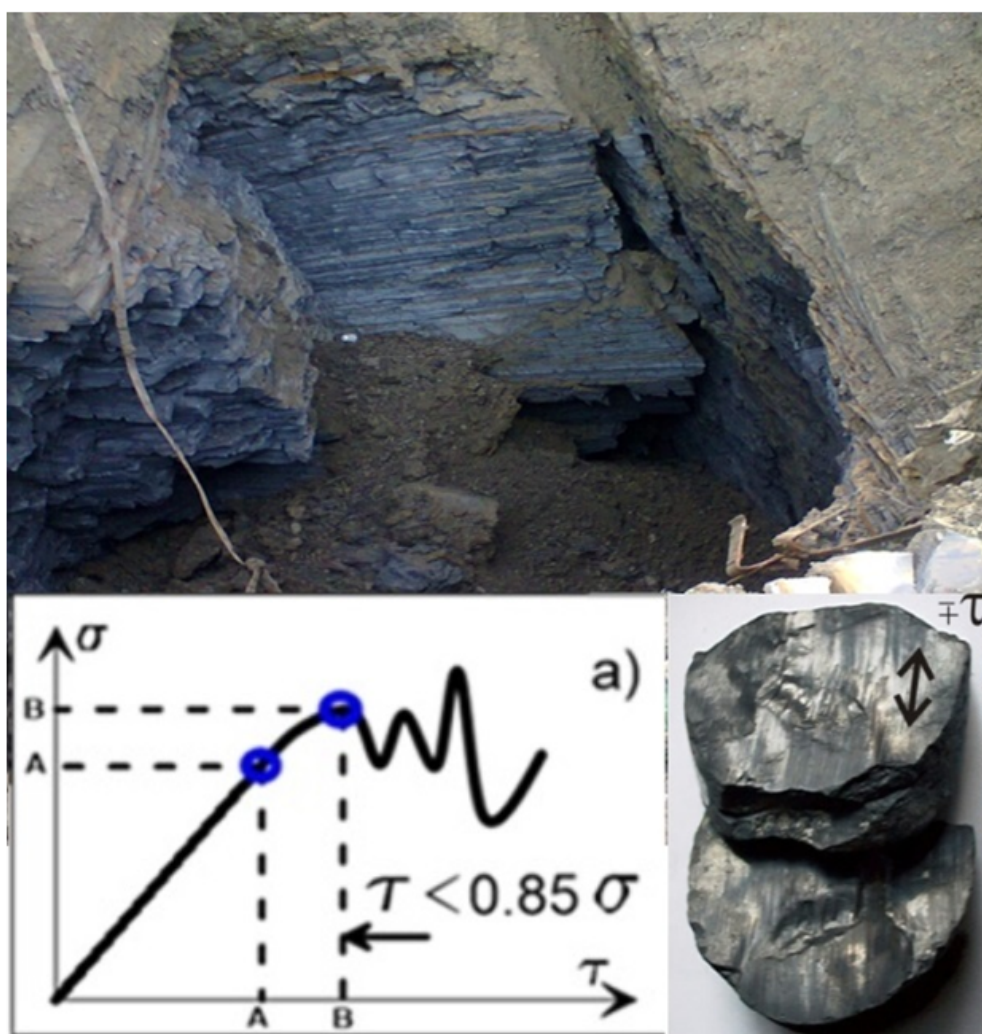


Рис. 2: Блоковый характер разрушения горного массива над подземной выработкой и соотношение сдвигового и нормального напряжений в дискретных средах

Отсюда можно получить решения для упругих модулей как функций дискретности и давления.

Далее можно считать, что процессы “течений” твердой и флюидной фаз в дискретных средах согласуются в диапазоне скоростей, сопоставимых со скоростями подземных горных работ (проходческие или очистные процессы). Такой подход имеет целый ряд содержательных отличий и преимуществ, которые в первую очередь позволяют конструктивно решать проблемы миграции флюида в приложении к геодинамическим процессам. С этой точки зрения общее давление в любой точке массива горных пород с дискретной структурой представляется следующим образом [6,7]:

$$\tilde{P} = P_g \pm P_d, \quad (3)$$

где : P_g — нормальное (статическое, или гидростатическое) давление, P_d — добавочное (динамическое, или сверхгидростатическое) давление, зависящее от времени.

В таком случае скорость и направление течения флюидного потока $\vec{V}$ будет определяться уравнением Дарси в следующем виде [6, 7]:

$$\vec{V} = -\frac{c}{\mu} \nabla P_d. \quad (4)$$

Здесь, c — проницаемость среды в данной точке, μ — вязкость флюида.

В моделях сред с дискретной структурой общая проницаемость k для выбранного объема среды определяется тремя типами проницаемости:

- матричной проницаемостью материала блоков k_I ,
- проницаемостью межблокового пустотного пространства k_{II} ,
- контактной проницаемостью на границах блоковых ансамблей k_{III} .

В порядке перечисления типов проницаемости понятно, что самое высокое значение проницаемости в модели дискретных сред — k_{III} .

Проницаемость композиции слоев с дискретной структурой по нормальному (вертикальному) направлению будет существенно ниже, чем в горизонтальном направлении, т. к. величина пустотного промежутка между слоями (горизонтальный контакт блоков) всегда значительно меньше, чем между боковыми сторонами блоков. Пересечения сторон блоков в соседних слоях в отдельных точках так же не могут существенно увеличить “вертикальную” проницаемость дискретной толщи. Тогда следует предположить, что при существовании какого то общего направления флюидного потока, в каждом из рассматриваемых слоев будет собственная величина и направление флюидного потока $\vec{V}$. Таким образом, дискретные системы обладают явной анизотропией параметров флюидного течения и, следовательно, проницаемость в таких системах является тензором.

По аналогии с общепринятым представлением течений как проводимости рассмотрим подобный однородный тонкий анизотропный слой и в качестве исходного возьмем уравнение неразрывности для несжимаемого флюида с вязкостью μ :

$$\nabla \vec{V} = 0. \quad (5)$$

Пусть:

$$\vec{V} = \frac{\hat{k}}{\mu} \nabla P_d = \frac{\hat{k}}{\mu} \left(\frac{\partial P_d}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial P_d}{\partial y} \vec{j} \right). \quad (6)$$

Здесь $\hat{k}$ — тензор проницаемости в главных осях:

$$\hat{k} = \begin{vmatrix} k_{xx} & 0 \\ 0 & k_{yy} \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Тогда из уравнения неразрывности:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial P_d}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial P_d}{\partial y} \right) = k_{xx} \frac{\partial^2 P_d}{\partial x^2} + k_{yy} \frac{\partial^2 P_d}{\partial y^2} = 0. \quad (8)$$

Введем координаты: $\xi = \frac{x}{\sqrt{k_{xx}}}$; $\eta = \frac{y}{\sqrt{k_{yy}}}$. Тогда: $\frac{\partial^2 P_d}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 P_d}{\partial \eta^2} = 0$ и откуда:

$$P_d = A \ln (\xi^2 + \eta^2) = A \ln \left(k + \frac{y^2}{k_{yy}} \right). \quad (9)$$

Изолинии равного давления имеют вид: $\frac{x^2}{k_{xx}} + \frac{y^2}{k_{yy}} = const$ и являются эллипсами с отношением полуосей: $l^2 = \frac{k_{yy}}{k_{xx}}$. Константу А находим из условия:

$$Q = \int_l D_n dl, \quad (10)$$

где l — контур, окружающий область источника давления, а Q — дебит флюида из деформируемой области малых размеров D_n . Отсюда:

$$A = \frac{\mu Q}{4\pi \sqrt{k_{xx} k_{yy}}}, \quad (11)$$

$$P_d = -\frac{\mu Q}{4\pi \sqrt{k_{xx} k_{yy}}} \ln \left(\frac{x^2}{k_{xx}} + \frac{y^2}{k_{yy}} \right), \quad (12)$$

и далее:

$$V_x = -\frac{k_{xx}}{\mu} \frac{\partial P_d}{\partial x} = \frac{Q}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{k_{xx} k_{yy}}} \frac{x}{\frac{x^2}{k_{xx}} + \frac{y^2}{k_{yy}}}, \quad (13)$$

$$V_y = -\frac{k_{yy}}{\mu} \frac{\partial P_d}{\partial y} = \frac{Q}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{k_{xx} k_{yy}}} \frac{y}{\frac{x^2}{k_{xx}} + \frac{y^2}{k_{yy}}}. \quad (14)$$

Вектор скорости потока $\vec{V}$ направлен радиально: $\frac{V_{xx}}{V_{yy}} = \frac{x}{y}$, тогда

$$V_{x(y=0)} = \frac{1}{x} \frac{Q}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{xx}}{k_{yy}}}; \quad V_{y(x=0)} = \frac{1}{y} \frac{Q}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{yy}}{k_{xx}}}. \quad (15)$$

При этом на круге $x = y$ имеем:

$$\frac{V_{x(y=0)}}{V_{y(x=0)}} = \frac{k_{xx}}{k_{yy}}. \quad (16)$$

Таким образом, отсюда следует, что где больше проницаемость, там и скорость больше. Но градиенты давления равны при $\varphi = 0$; $\varphi = \frac{\pi}{2}$:

$$\frac{\partial P_d}{\partial x} (y = 0) = -\frac{1}{x} \frac{\mu Q}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{k_{xx} k_{yy}}}; \quad (17)$$

$$\frac{\partial P_d}{\partial y}(x=0) = -\frac{1}{y} \frac{\mu Q}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{k_{xx}k_{yy}}}. \quad (18)$$

Отсюда ясно, что градиенты давления при $\varphi = \frac{\pi}{4}$ максимальны, а при всех остальных значениях φ меньше. В то же время, при трехосной анизотропии в пространстве на некоторой плоскости, проходящей через два главных направления, имеем круговую диаграмму. Применительно к рассматриваемой проблеме течения флюида в дискретной среде все сказанное означает, что реальный формационный объект в виде дискретного слоя обладает анизотропией проницаемости и способен отклонять направление флюидного потока от исходного направления и изменять его величину.

Далее рассмотрим случай, когда источники и стоки флюида образуются в каждой единице объема дискретной среды за счет изменения общей пустотности, что является следствием непрерывного изменения общего горного давления в сторону его увеличения (сжатие) или уменьшения (разгрузка). Тогда из уравнения неразрывности:

$$\frac{\partial}{\partial t}(Fr) + \nabla(rV) = 0, \quad (19)$$

для несжимаемого флюида с постоянной плотностью ρ_0 следует, что

$$\nabla V = -\frac{\partial F}{\partial t} = -q, \quad (20)$$

где V — скорость течения Дарси, F — общая пустотность (трещинно-поровое пространство), q — скорость его изменения (c^{-1}). Будем считать так же, что скорость объемной деформации $\Delta D/\Delta t$ некоторого объема дискретной среды D связана исключительно со скоростью изменения общей пустотности:

$$q = \frac{\Delta D}{D\Delta t}. \quad (21)$$

Подставляя в (13) выражение для скорости течения Дарси, имеем для давления уравнение Пуассона вида:

$$\nabla^2 P_d = -\frac{\mu}{k} \nabla \frac{k}{\mu} \nabla P_d + \frac{\mu}{k} q. \quad (22)$$

В случае однородной по проницаемости k_0 среды и однородного флюида с вязкостью μ_0 имеем, что:

$$\Delta P_d = -\frac{\mu_0 q}{k_0} \quad \text{и} \quad P_0 = -\frac{\mu_0}{4\pi k_0} \int_{D_0} \frac{q dD_0}{R}, \quad (23)$$

где $dD_0 = dx_0 dy_0 dz_0$ — деформируемый объем, $R^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2$.

Известно, что на основании (2.38) выражение для давления при наличии неоднородной области D , в которой k и μ являются функциями координат, может быть записано в виде:

$$P_d = P_0 - \frac{1}{4\pi} \int_D \left(\frac{k\mu_0}{k_0\mu} - 1 \right) \nabla_D P_d \frac{r}{r^3} dD, \quad (24)$$

$$r = (x - \xi)i + (y - \eta)j + (z - \zeta)k, dD = d\xi d\eta d\zeta,$$

где P_0 в частности может соответствовать (2.40).

Выражения (23) и (24) непосредственно обобщаются на случай нескольких деформируемых и неоднородных объемов, причем D и D_0 могут частично или полностью совпадать. Предположим, что малая деформация не приводит к существенному перемещению границ проницаемости рассматриваемых объемов, что деформируемых объемов несколько $D_0 = \Sigma D_{0j}$, $j = 1, 2, 3 \dots, n$, что в каждом D_{0j} своя скорость объемной деформации q_j , причем разного знака — в направлениях сжатия или растяжения объемов. Именно таким образом можно сконструировать осадочную толщу в виде модели дискретной динамической системы, о чем мы рассуждали в предыдущем разделе по поводу проблемы динамики сред с блоковой структурой. В данном случае проблема динамики бассейна непосредственным образом смыкается с проблемой изменения проницаемости среды, причем в виде временной функции, что, в конечном счете, и приводит к образованию вполне закономерных “переливающихся” блоковых схем — одна система блоков выталкивает флюид, другая — поглощает.

Для областей, достаточно протяженных по оси OY по сравнению с размерами по другим осям, запишем уравнение в двумерном случае, аналогичное уравнениям (23) и (24) в виде:

$$P_d = \frac{\mu_0}{2\pi k_0} \int_{S_0} q \ln R dS_0 - \frac{1}{2\pi} \int_S \left(\frac{k\mu_0}{k_0\mu} - 1 \right) \nabla_D P_d \frac{r}{r^2} dS, \quad (25)$$

причем из (13) для внутренних точек сечения S может быть получено интегральное уравнение для градиента потенциала:

$$\nabla_A P_d = \frac{\mu_0}{2\pi k_0} \int_{S_0} q \frac{R}{R^2} dS_0 - \frac{1}{2\pi} \nabla_A \int_S \left(\frac{k\mu_0}{k_0\mu} - 1 \right) \nabla_M P_d \frac{r}{r^2} dS, \quad (26)$$

где: $\nabla_A = i\partial/\partial x + k\partial/\partial z$, $\nabla_D = i\partial/\partial \xi + k\partial/\partial \zeta$, $dS = d\xi d\zeta$, $R = (x - x_0)i + (z - z_0)k$, $r = (x - \xi)i + (z - \zeta)k$, $dS_0 = dx_0 dz_0$.

Решив интегральное уравнение (26) определим давление из (24), используя ту же матрицу внутренних значений $\nabla_D P_d$.

Далее рассмотрим тонкий горизонтальный слой, помещенный в непроницаемую для флюида среду, а так же совместим области деформации и неоднородности S и S_0 . В этом случае уравнения (25) и (26) следует записать в

виде

$$P_d = \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\mu_0}{k_0} q \ln R dS - \frac{1}{2\pi} \int_S \left(\frac{k\mu_0}{k_0\mu} - 1 \right) \nabla_M P_d \frac{r}{r^2} dS, \quad (27)$$

$$\nabla_A P_d = \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\mu_0}{k_0} q \frac{r}{r^2} dS - \frac{1}{2\pi} \nabla_A \int_S \left(\frac{c\mu_0}{k_0\mu} - 1 \right) \nabla_M P_d \frac{r}{r^2} dS, \quad (28)$$

$\nabla_A = i\partial/\partial x + j\partial/\partial y$, $\nabla_M = i\partial/\partial \zeta + k\partial/\partial \eta$, $dS = d\xi d\eta$, $r = (x - \xi)i + (y - \eta)k$.

Векторное интегральное уравнение (28) после скаляризации можно рассматривать как систему интегральных уравнений Фредгольма 2-го рода, если известно распределение k/μ и требуется определить градиент давления, а так же как уравнение Фредгольма 1-го рода относительно неизвестного распределения k/μ , если задано распределение градиента давления. Если целевой задачей поставить оценку соответствия между давлением и проницаемостью, то логично решать прямую задачу определения градиента давления по заданному распределению проницаемости, используя (24) в качестве уравнения Фредгольма 2-го рода, а затем вычислять давление по формуле (25).

3. Заключение

Достоинством предлагаемого решения является функциональное сведение проницаемости и общего горного давления, что, в принципе, вполне приемлемо для решения оценочных миграционных задач, в которых не столько важно знание абсолютных параметров течения, сколько важно определить – куда направлено течение.

Следовательно, в пакете прочностного анализа Фидесис [8] логично реализовать вышеназванные решения как следствие применения сейсмического прогноза структуры и параметров НДС в подземных условиях с целью опережающего прогноза параметров флюидных течений и оценки критериев опасности притока флюида (газа) в забой подземной выработки.

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Писецкий В. Б., Лапин Э. С., Александрова А. В., Лапин С. Э. К задаче формулирования общих требований и практической реализации сейсмической системы контроля и прогноза внезапных выбросов и горных ударов// Безопасность труда в промышленности. № 12. – 2013. – С. 49-57.
2. Писецкий В. Б. Механизм разрушения осадочных отложений и эффекты трения в дискретных средах., Известия высших учебных заведений, Горный журнал.- Екатеринбург, 2005.-№ 1, -с. 48-66 .
3. Pisetski, V. B., 1995. Dislocational Rock Mechanics as a Basis for Seismic Methods in the Search for Hydrocarbons. Vol.50:3, Revue de l'Institut Francais du Petrole, Paris, pp. 35.

4. Biot M. A. Mechanics of incremental deformations// New York: GU, -1965, - P. 430.
5. Писецкий В. Б., Крылатков С. М., 2005. О коэффициенте Пуассона нефтяных коллекторов с дискретной структурой. Горный журнал, Известия высших учебных заведений, Екатеринбург, №1.
6. Баренблатт Г. И., Ентов В. М., Рыжик В. М., 1984. Движение жидкостей и газов в природных пластах. "Недра", Москва.
7. Pisetski V., Kormilcev V., Ratushnak A., 2002. Method for predicting dynamic parameters of fluids in a Subterranean reservoir. US Patent. № 6, 498, 989 B1.
8. Морозов Е. М., Левин В. А., Вершинин А. В. Прочностной анализ ФИДЕСИС в руках инженера. ООО "ЛЕНАНД". Москва, 2015.

REFERENCES

1. Pisetskiy VB, Lapin ES, Aleksandrova AV, Lapin S.E. 2013, To the task of formulating general requirements and the practical implementation of a seismic monitoring and forecast system for sudden emissions and mountain impacts *Industrial Safety in Industry*. № 12. pp. 49-57.
2. Pisetskiy V.B. 2005, Mechanism of destruction of sedimentary deposits and friction effects in discrete media., *News of Higher Educational Institutions, Mining Journal*. Ekaterinburg, № 1, pp. 48-66 .
3. Pisetski, V. B., 1995. Dislocational Rock Mechanics as a Basis for Seismic Methods in the Search for Hydrocarbons. *Revue de l'Institut Francais du Petrole*, Paris, Vol.50:3, pp. 35.
4. Biot M. A. 1965 *Mechanics of incremental deformations* New York: GU, P. 430.
5. Писецкий В. Б., Крылатков С. М., 2005. On the Poisson's ratio of oil reservoirs with a discrete structure. *Mining Journal, Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii*, Ekaterinburg, №1.
6. Barenblatt GI, Entov VM, Ryzhik VM, 1984. *Movement of liquids and gases in natural formations*. "Nedra Moscow.
7. Pisetski V., Kormilcev V., Ratushnak A., 2002. *Method for predicting dynamic parameters of fluids in a Subterranean reservoir*. US Patent. № 6, 498, 989 B1.
8. Morozov EM, Levin VA, Vershinin AV *Strength analysis FIDESIS in the hands of an engineer*. ООО "LENAND". Moscow, 2015.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» на кафедрах геоинформатики и автоматизации и компьютерных технологий

Получено 19.05.2017

принято в печать 14.09.2017