ISNN:2181-1296



SHAROF RASHIDOV NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ШАРОФА РАШИДОВА

SAMARKAND STATE UNIVERSITY NAMED AFTER SHAROF RASHIDOV

ILMIY AXBOROTNOMA

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК
SCIENTIFIC JOURNAL

ANIQ VA TABIIY FANLAR SERIYASI

Matematika, Mexanika, Informatika
Fizika, Kimyo, Biologiya, Geografiya

№ 5/1 (141)
2023

ISSN 2181-1296

ILMIY AXBOROTNOMA

НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК **SCIENTIFIC JOURNAL**

2023-yil, 5-son (141) **ANIQ VA TABIY FANLAR SERIYASI**

Matematika, Mexanika, Informatika, Fizika, Kimyo, Biologiya, Geografiya

Samarqand viloyat matbuot boshqarmasida ro‘yxatdan o‘tish tartibi 09-25.
Jurnal 1999-yildan chop qilina boshlagan va OAK ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR **R. I. XALMURADOV, t.f.d., professor**
BOSH MUHARRIR O‘RINBOSARLARI: **H.A. XUSHVAQTOV, f-m.f.d., dotsent**
A. M. NASIMOV, t.f.d., professor

TAHRIRIYAT KENGASHI:

ANIQ FANLAR

SH.A.ALIMOV - O‘zFA akademigi
S.N.LAKAYEV - O‘zFA akademigi (SamDU)
M.M.MIRSAIDOV - O‘zFA akademigi
A.S.SOLEEV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
I.A.IKROMOV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
B.X.XO‘JAYAROV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
A.G.YAGOLA - f.-m.f .d., professor (Moskva davlat universiteti, Rossiya)
I.I.JUMANOV - f.-m.f .d., professor (SamDU)
X.X.XUDOYNAZAROV - t.f.d., professor (SamDU)
ALBERTO DEL BIMBO - Florensiya universiteti professori, Italiya
L.SABIROV - f.-m.f .d., professor (SamDU)
A.JUMABOYEV - f.-m.f .d., professor (SamDU)
N.N.NIZAMOV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
O.Q.QUVONDIQOV - f.-m.f.d., professor (SamDU)
I.A.RAXMATULLAYEV - f.-m.f .d., professor
A.SH.YARMUXAMEDOV - f.-m.f.n., (SamDU)
X.S.XAYDAROV - f.-m.f.n., dotsent (SamDU)

TABIY FANLAR

M.X.ASHUROV - O‘zFA akademigi
N.B. FERAPONTOV - k.f .d., professor (Moskva davlat universiteti, Rossiya)
SH. M. TUGIZOV - professor, Koliforniya universiteti, AQSh
H. I. AKBAROV - k.f.d., professor (O'zMU)
E. A. ABDURAXMONOV - k.f.d., professor (SamDU)
N. K. MUXAMADIYEV - k.f.d., professor (SamDU)
L. A. BULAVIN - Kiev milliy universiteti professori, Ukraina
X. Q. XAYDAROV - b.f.d., professor (SamDU)
Z. I. IZZATULLAYEV - b.f.d., professor (SamDU)
Sh. T. XOLIQULOV - g.f.d., professor (SamDU)
S. B. ABBASOV - g.f.d., professor (SamDU)
Q. S. YARASHEV - g.f.d., professor (SamDU)
GUN-SIK PARK - Seul univeriteti professori, Koreya
D.B.XURSANOV - g.f.f.d., dotsent (SamDU)
M. S. QUZIYEV - b.f.f.d., dotsent (SamDU)

Obuna indeksi – yakka tartibdagi obunachilar uchun **- 5583,**
tashkilot, korxonalar uchun **- 5584**

MUNDARIJA

Икромов И.А, Баракаев А.М. *Об ограниченности максимальных операторов для выпуклых функций, не имеющих конечный линейный тип*…….....	3-10
Safarov A.N., Muzafarov A.M., To‘xtayev U.O‘., Tog‘ayev B.S., Salimov Sh.G‘., Esanov I.T. *Tabiiy suvlar tarkibidagi radionuklidlar miqdorini radiokimyoviy radiometriya usullari yordamida aniqlash metodikasi*……..	11-20
Ruziyev J.E., Abduraxmanov I.E., Suvonqulov Sh.B. *Analitik obyektlardagi bariy ionlarini ionometrik aniqlash*……..	21-25
O‘rozov S., Aslanov Q., Qo‘ldoshev O. *Oltingugurt qoplamali fosforli o‘g‘itlar olish*……..	26-30
Mamatov Sh., Omonov Sh. *Differensial tenglamalar misolida fanlararo bog‘lanish*……..	31-35
Ахмеджанов Ф.Р., Тугалов Ф.Б., Курбанов Ж.О. *$NaCl_xBr_{1-x}$ кристалларининг акустик хоссалари*……	36-40
Inxonova A., Eshtursunov D., Botirov S., Murtazaqulov M., Bekchanov D. *Oqava suvlarni biologik tozalashda pvc&pei asosida olingan mis polimer komlpleksining qo’llanilishi*……	41-48
Qurbonov P.R. *O‘zbekiston respublikasi urbanistik tarkibi rivojlanishining geografik jihatlari*.....	49-55
Ikromov I.A., Jo‘raqulov A.J. *Regulyarlashtirilgan o‘lchovning bahosi haqida*……	56-63
Байжуманов А.А., Бердимуродов М.А. *Метод решения систем нелинейных булевых уравнений на основе минимизации дизъюнкций сложных конъюнкций*……	64-70
Abdullayev J.U. *Uglevodorodlar asosida spirtlar sintezi*……	71-75
Boyqobilov D.B., Jumag‘ulov Sh.H., Ro‘zimuradov O.N. *Tartiblangan titan dioksid nanotrubkalarining shakllanishi*……	76-80
Ахмеджанов Ф.Р., Мустафаев Т.Ш., Эшниязов О.И., Нуждов Г.С., Авдиевич В.Н. *Лантан трифторид кристалларида ионларнинг харакатига эластик деформациянинг таъсири*……	81-85
Хайдаров И.К. *Моделирование переноса растворенного вещества в неоднородном пороупругом глинистом сланце*……	86-91
Urolov Sh.Z., Shaymardanov Z.Sh., Jalolov R.R., Rustamova B.N., Arziqulov E.U. *Rux oksidi nanostrukturalarining morfologik va kristallografik xossalarining sintez sharoitiga bog‘liqligi*……	92-99
Zufarov A.M., Sagdeyev D.O., Galyametdinov Yu.G., Muxamadiyev N.K. *Turli xil anion stabilizatorlar bilan stabillashgan* CdS *sintezi va uning fotokatalitik xossalari*……	100-108

УДК 519.95 **DOI: https://doi.org/10.59251/2181-1296.2023.v5.141.1.1231**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА В НЕОДНОРОДНОМ ПОРОУПРУГОМ ГЛИНИСТОМ СЛАНЦЕ

И.К.Хайдаров
Университет науки и технологии, Ташкент, Узбекистан
E-mail: khaydarov_iq@rambler.ru

Аннотация. Работа посвящена моделированию переноса растворителя и растворенного вещества в химически инертной упруго-деформируемой неоднородной горной породе, для которой учитываются только изменения напряжения и порового давления. Химические эффекты учитываются посредством изменения порового давления и деформации горных пород в уравнениях переноса. Для численного решения рассматриваемой задачи используются комбинации метода интегрального преобразования Лагерра и метода конечных разностей. Представлены результаты численных расчетов для модели переноса растворенного вещества через полупроницаемый глинистый сланец.

Ключевые слова: поровое давление, преобразование Лагерра, флюидонасыщенная среда, изотермический случай, напряжение, численное решение, метод конечных разностей.

Bir jinsli bo‘lmagan g‘ovak-elastik loyli slanetsda erigan moddaning uzatilishini modellashtirish

Аннотация. Mazkur tadqiqiot ishi kimyoviy inert elastik deformatsiyalanuvchi bir jinsli bo‘lmagan tog’li jismda erituvchi va erigan moddalarning uzatilishini modellashtirishga bag‘ishlangan bo‘lib, buning uchun faqat kuchlanish va g‘ovak bosimining o‘zgarishi hisobga olinadi. Kimyoviy ta'sirlar uzatish tenglamalarida g‘ovak bosimini va jinslarning deformatsiyasini o‘zgartirish orqali hisobga olinadi. Ko‘rib chiqilayotgan masalani sonli yechish uchun Lagerr integral o‘zgartirish usuli va chekli ayirmalar usulining kombinatsiyalari qo‘llaniladi. Yarim o‘tkazuvchan loyli slanets orqali erigan moddaning uzatilishi modeli uchun sonli hisoblar natijalari keltirilgan.

Kalit so‘zlar: g‘ovak bosimi, Lagerr o‘zgartirishi, suyuqlik bilan to‘yingan muhit, izotermik holat, kuchlanish, sonli echim, chekli ayirmalar usuli.

Modeling of dissolved substance transport in a nonhomogeneous poroelastic clay slate

Abstract. The work is devoted to modeling the transfer of solvent and solute in a chemically inert elastically deformable inhomogeneous rock formation, for which only changes in exertion and pore pressure are taken into account. Chemical effects are taken into account by changing the pore pressure and deformation of rock formations in the transport equations. For the numerical solution of the problem under consideration, combinations of the Laguerre integral transformation method and the finite difference method are used. The results of numerical calculations for the model of dissolved substance transport through semipermeable clay slate are presented.

Keywords: pore pressure, Lugerr transformation, fluid-saturated medium, isothermal case, exertion, numerical solution, finite difference method.

Присутствие поровых флюидов может повлиять на процесс деформации и облегчить или задержать разрушение материала [1]. Расширение породы при недренированной деформации вызывает уменьшение порового давления и рост предельного значения напряжения [2]. С другой стороны, ответная реакция вызывает увеличение порового давления и снижение напряжения разрушения [3].

Важный механизм устойчивости скважин, пробуренных в химически активных сланцевых пластах с буровыми растворами на водной основе, основан на физико-химических взаимодействиях между горной породой и буровым раствором. А именно, поровое давление в призабойной зоне может быть уменьшено за счет осмотического оттока поровой жидкости из реакционноспособного сланца, что вызвано повышенной минерализацией бурового раствора [4-7].

Теория, разработанная в [8, 9] для описания связанных механических, гидравлических и химических взаимодействий для заполненных жидкостью пористых тел, основана на модификации теории пороупругости Био [10-12].

В прикладных задачах распространения упругих волн часто возникает потребность учесть пористость, флюидонасыщенность среды и гидродинамический фон. В частности, эти вопросы возникают в разведочной геофизике при поиске нефтяных слоев и при выборе параметров волнового воздействия на месторождения нефти и газа с целью интенсификации добычи. Аналогичные вопросы имеются в сейсмологии при геофизическом мониторинге свойств очаговой зоны с целью прогноза землетрясений [13]. Реальные среды являются пористыми, трещиноватыми и поглощающими (в системе происходит потеря энергии).

Следуя работе [9], для простоты, рассмотрим пористую жидкость, состоящую из одного незаряженного растворенного вещества с мольной фракцией $\Psi = x^s$ в растворителе (воде) с мольной фракцией $x^w = 1 - \Psi$. Раствор считается идеальным. Химические потенциалы растворенного вещества μ^s и растворителя μ^w имеют вид

$$\mu^s = pV_s + RTln\Psi,$$
$$\mu^w = pV_w + RTln(1-\Psi),$$

Молярный объем раствора (при атмосферном давлении) равен

$$V_{soln} = (1-\Psi)V_w + \Psi V_s.$$

В [14] рассмотрена химопороупругая модель для оценки профиля напряжений околоскважинного пространства, а в [15] решена система уравнений химотермопороупругости на основе неявного конечно-разностного метода. Далее, в предлагаемой работе предположим, также как в [9], что объемный модуль K раствора не зависит от Ψ, и ограничимся изотермическим случаем при постоянной температуре.

Постановка задачи задачи переноса растворенного вещества в пороупругом глинистом сланце.

Используя законы сохранения массы и предполагая, что Ψ меняется достаточно мало [9], после простых преобразований получим систему уравнений параболического типа:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = A\nabla^2\Phi + H\nabla^2\Psi, \quad (1)$$
$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = C\nabla^2\Phi + E\nabla^2\Psi, \quad (2)$$

где $\Phi = \sigma_{kk} + \frac{3p}{B}$, σ_{kk}– след тензора напряжений,

$$A = \frac{2GB^2k(1-\nu)(1+\nu_u)^2}{9(1-\nu_u)(\nu_u-\nu)V_{soln}}[\gamma V_s x_0^s + V_w(1-x_0^s)],$$
$$H = \frac{2GB(1+\nu)(1+\nu_u)(\gamma-1)RTk}{3(\nu_u-\nu)},$$
$$C = \frac{(\gamma-1)Bk(1-\nu)(1+\nu_u)V_sV_wx_0^s(1-x_0^s)}{3(1-\nu_u)(1+\nu)\alpha V_{soln}},$$
$$E = \frac{V_s}{\alpha V_{soln}}[\gamma D V_{soln} + (1-\gamma)RTkx_0^s],$$

γ -- коэффициент пропускания, D -- коэффициент диффузии.

Функции $\Phi(x,t)$ и $\Psi(x,t)$ в одномерном случае определяются из системы уравнений теплопроводности [16]

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = A\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + H\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L, \quad t > 0, \quad (3)$$
$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = C\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + E\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L, \quad t > 0, \quad (4)$$

с граничными

$$\Phi|_{x=0} = \Phi_0(t), \quad \Phi|_{x=L} = \Phi_1(t), \quad t > 0, \quad (5)$$
$$\Psi|_{x=0} = \Psi_0(t), \quad \Psi|_{x=L} = \Psi_1(t), \quad t > 0, \quad (6)$$

и нулевыми данными Коши

$$\Phi|_{t=0} = 0, \quad \Psi|_{t=0} = 0, \quad 0 < x < L. \quad (7)$$

Для решения начально-краевой задачи (3) – (7) используем метод Лагерра интегральное преобразование по времени [17-19].

После применения преобразования Лагерра исходная задача (3) – (7) сводится к одномерной краевой задачи для обыкновенного дифференциальной системы в спектральной области, которая переписывается в виде:

$$\frac{h}{2}\Phi^m = A\frac{d^2\Phi^m}{dx^2} + H\frac{d^2\Psi^m}{dx^2} - h\sum_{k=0}^{m-1}\Phi^k, \quad 0 < x < L, \tag{8}$$

$$\frac{h}{2}\Psi^m = C\frac{d^2\Phi^m}{dx^2} + E\frac{d^2\Psi^m}{dx^2} - h\sum_{k=0}^{m-1}\Psi^k, \quad 0 < x < L \tag{9}$$

с граничными условиями

$$\Phi^m|_{x=0} = \Phi_0^m, \quad \Phi^m|_{x=L} = \Phi_1^m, \tag{10}$$

$$\Psi^m|_{x=0} = \Psi_0^m, \quad \Psi^m|_{x=L} = \Psi_1^m. \tag{11}$$

Для решения задачи (8)–(11) используем конечно-разностный метод со вторым порядком точности [19].

Численные результаты. Для численных расчётов, вместо параболической системы (3), (4), рассматривалась гиперболическая система с соответствующими начально-краевыми условиями (5)-(7). На рисунках 1-4 представлены результаты расчетов сейсмических трасс $\Phi(t)$ и $\Psi(t)$ компонент для двухслойной модели среды.

Для расчётов были заданы две двухслойные модели среды имеющих следующие общие физические характеристики: $x_0^s = 0.1$, $\varphi = 0.14$, $B = 0.92$, $T = 300K$, $\nu = 0$, $\nu_u = 0.44$, $V_w = 1.8 \cdot 10^{-5}$м^3, $V_s = 2.6 \cdot 10^{-5}$м^3, $R = 8.3$ ДжК$^{-1}$мол$^{-1}$.

Границы первого слоя определялись как $0 \le x \le 5 \cdot 10^{-4}$, а второго $5 \cdot 10^{-4} \le x \le 10^{-3}$.

Волновое поле моделировалось от источника, находящегося на левом конце первого пороупругого слоя: $\Phi_0(t)$=0,$\Phi_1(t)$=0, $\Psi_0(t) = f(t)$, $\Psi_1(t)$=0. Временной сигнал в источнике задавался в виде

$$f(t) = exp\left(-\frac{2\pi f_0(t-t_0)^2}{\kappa^2}\right) sin\big(2\pi f_0(t-t_0)\big),$$

где $\kappa = 4$, $f_0 = 1$ Гц, $t_0 = 1{,}5$с.

Для расчетов представленных на рисунках 1 и 2 были заданы следующие характеристики обоих слоёв: коэффициент диффузии $D = 10^{-7}$ *м^{2}с$^{-1}$*, проницаемость $k = 1.4 \cdot 10^{-20}$ *м^2*. Для первого слоя - модуль сдвига $G = 0.6$ ГПа и коэффициент пропускания $\gamma = 0.7$. Для второго слоя - модуль сдвига $G = 1$ГПа и коэффициент пропускания $\gamma = 0.2$.

Следовательно, коэффициенты системы (7)-(8) для первого слоя определяются как $A = 0.280 * 10^{-10}$, $H = -0.899 * 10^{-8}$, $C = -0.286 * 10^{-25}$, $E = 0.126 * 10^{-10}$, а следовательно скорости упругих колебаний в этом слое $c_1 = 0.530 \cdot 10^{-5}$м/сек, $c_2 = 0.355 \cdot 10^{-5}$м/сек.

Коэффициенты системы для второго слоя определяются как $A = 0.936 \cdot 10^{-11}$, $H = -0.299 \cdot 10^{-8}$, $C = -0.285 \cdot 10^{-25}$, $E = 0.631 \cdot 10^{-10}$, а следовательно скорости упругих колебаний в этом слое $c_1 = 0.794 \cdot 10^{-5}$м/сек,$c_2 = 0.306 \cdot 10^{-5}$м/сек.

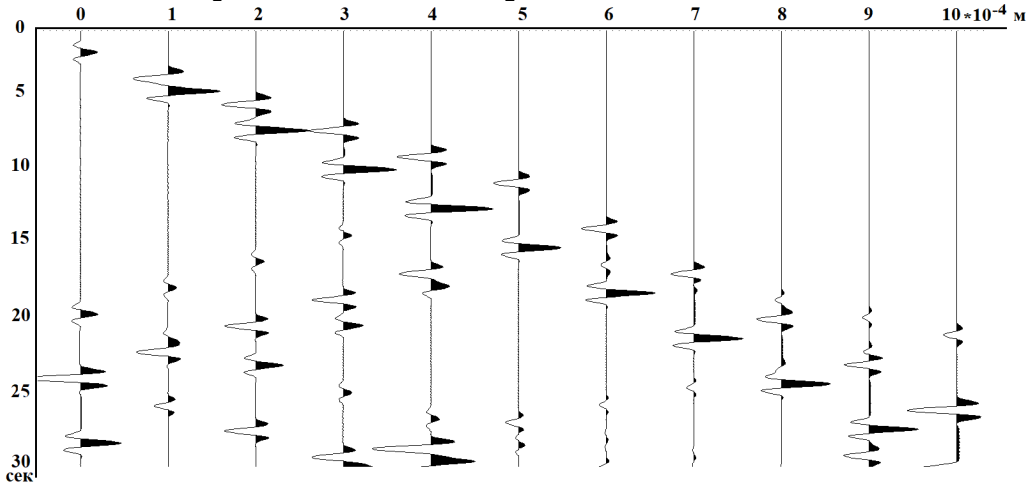

Рис 1. Трассы для компоненты $\Phi(t)$.

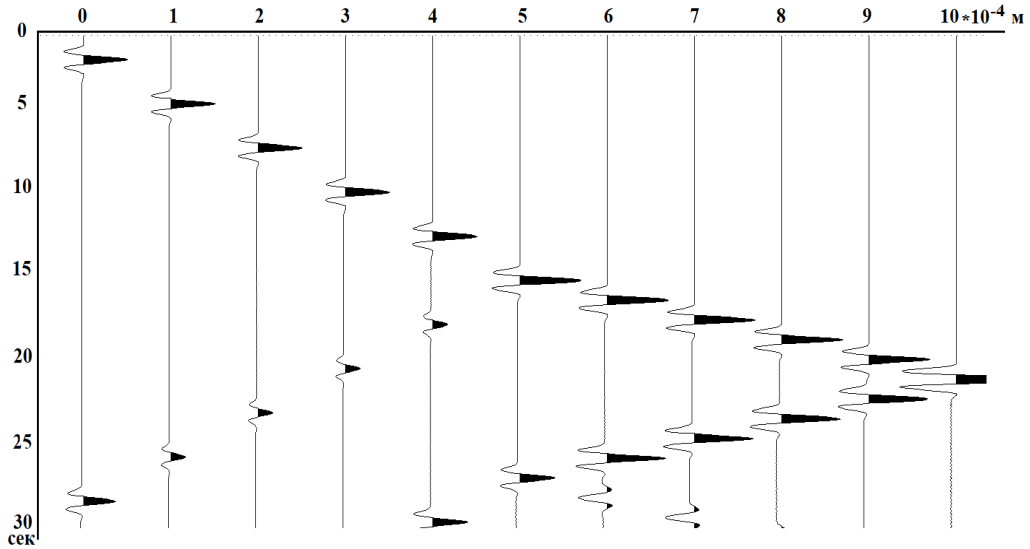

Рис 2. Трассы для компоненты $\Psi(t)$.

Для расчетов представленных на рисунках 3 и 4 была задана вторая модель с общими характеристиками обоих слоёв - проницаемость $k = 2 \cdot 10^{-20}$ *м*^{2}. Для первого слоя - коэффициент диффузии$D = 10^{-7}$ *м*^{2}*с*$^{-1}$, модуль сдвига $G = 0.6$ ГПа и коэффициент пропускания $\gamma = 0.7$. Для второго слоя - коэффициент диффузии$D = 2 \cdot 10^{-6}$ *м*^{2}*с*$^{-1}$, модуль сдвига $G = 1$ГПа и коэффициент пропускания $\gamma = 0.2$.

Следовательно, коэффициенты системы (7)-(8) для первого слоя определяются как $A = 0.182 \cdot 10^{-10}$, $H = -0.180 \cdot 10^{-7}$, $C = -0.572 \cdot 10^{-25}$, $E = 0.982 \cdot 10^{-11}$, а следовательно скорости упругих колебаний в этом слое $c_1 = 0.427 \cdot 10^{-5}$м/сек,$c_2 = 0.313 \cdot 10^{-5}$м/сек. Коэффициенты системы для второго слоя определяются как $A = 0.282 \cdot 10^{-10}$, $H = -0.8 \cdot 10^{-7}$, $C = -0.152 \cdot 10^{-24}$, $E = 0.561 \cdot 10^{-10}$, а следовательно скорости упругих колебаний в этом слое $c_1 = 0.749 \cdot 10^{-5}$м/сек, $c_2 = 0.531 \cdot 10^{-5}$м/сек.

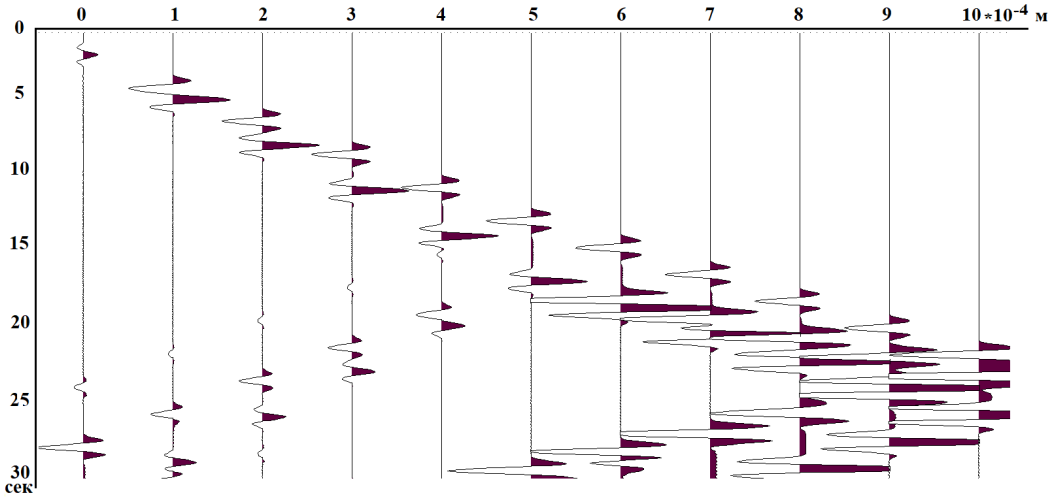

Рис 3. Трассы для компоненты $\Phi(t)$.

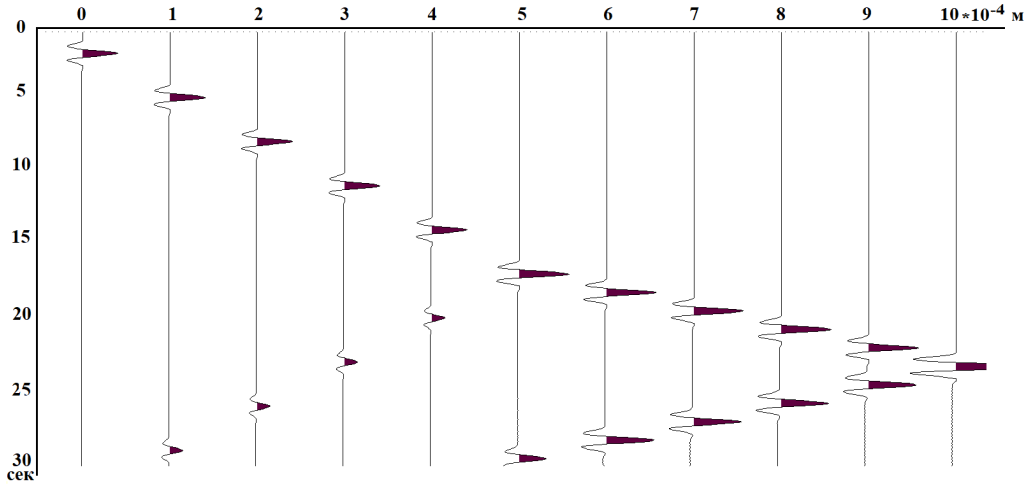

Рис 4. Трассы для компоненты $\Psi(t)$**.**

Из представленных рисунков видно, образуются соответствующие два типа проходящих и отраженных волн c_1 иc_2для компоненты $\Phi(x,t)$ и волн c_2 для компоненты $\Psi(x,t)$.

В таблицах 1 и 2 приведены значения $max|\Phi(t)|$ и $max|\Psi(t)|$ для трасс 1-ой и 2-ой модели**.** Как видно из приведённых значений, что на границе раздела слоев изменяетя степень затухания колебаний.

x (м)	$max\|\Phi(t)\|$	$max\|\Psi(t)\|$
0.0000	0.36070D+01	0.92543D+00
0.0001	0.20291D-31	0.17034D-33
0.0002	0.39048D-65	0.31101D-67
0.0003	0.68269D-99	0.54172-101
0.0004	0.12219-132	0.96930-135
0.0005	0.30625-166	0.27177-168
0.0006	0.26260-181	0.81823-183
0.0007	0.42833-196	0.13749-197
0.0008	0.72574-211	0.23306-212
0.0009	0.18841-225	0.69278-227
0.0010	0.37580-239	0.13447-240

Таблица 1. Значения $max|\Phi(t)|$ и $max|\Psi(t)|$ для трасс 1-ой модели**.**

x (м)	$max\|\Phi(t)\|$	$max\|\Psi(t)\|$
0.0000	0.14124D+01	0.83488D+00
0.0001	0.32747D-19	0.13482D-29
0.0002	0.31022D-39	0.57308D-52
0.0003	0.29264D-59	0.54068D-72
0.0004	0.26964D-79	0.49864D-92
0.0005	0.16577D-99	0.58421-112
0.0006	0.15125-125	0.26954-125
0.0007	0.55299-139	0.97660-139
0.0008	0.17988-152	0.31846-152
0.0009	0.60894-166	0.10756-165
0.0010	0.38400-179	0.67972-179

Таблица 2. Значения $max|\Phi(t)|$ и $max|\Psi(t)|$ для трасс 2-ой модели**.**

Заключение. Таким образом, моделирован перенос растворителя и растворенного вещества в химически инертной упруго-деформируемой неоднородной горной породе, для которой учитываются только изменения напряжения и порового давления. Представлен результаты численных расчетов для модели переноса растворенного вещества через полупроницаемый глинистый сланец.

Литература

1. Mroz Z., Boukpeti N., Drescher A. Constitutive model for static liquefaction // Int. J. Geomech. ASCE, 2003, No. 3, pp. 133-144.
2. Rice J.R. On the stability of dilatant hardening for saturated rock masses // J. Geophys. Res., 1975, v. 80, No. 11, pp. 1531-1536.
3. Boukpeti N., Mroz Z., Drescher A. A model for static liquefaction in triaxial compression and extension // Can. Geotech. J., 2002, v. 39, pp. 1243-1253.
4. van Oort E., Hale A.H., Mody F.K., Roy S. Transport in shales andthe design of improved water-based shale drilling fluids // SPE Drilling&Completion, 1996, (paper28309), pages 137–146.
5. Nguyen V., Abousleiman Y., Hoang S. Analyses of wellbore insta-bility in drilling through chemically active fractured rock formations // SPE J, 2009, v. 14, No. 2, pp. 283–301.
6. Ghassemi A., Tao Q., Diek A. Influence of coupled chemo-poro-thermoelastic processes on pore pressure and stress distributions around a wellbore in swelling shale // Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009, v. 67, No. 1-2, pp. 57–64.
7. Zhou X., Ghassemi A. Finite element analysis of coupled chemo-poro-thermo-mechanical effects around a wellbore in swelling shale // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2009, v. 46, No. 4, pp. 769–778.
8. Sherwood J.D. Biot poroelasticity of a chemically active shale // Proc. Roy. Soc. London, 1993, v. 440, pp. 365–377.
9. Sherwood J.D. A model of hindered solute transport in a poroelastic shale // Proc. Roy. Soc. London, 1994, v. 445, pp. 679–692.
10. Biot M.A. General theory of three-dimensional consolidation // J. Appl. Phys., 1941, v. 12, pp.155-164.
11. Detournay E., Cheng A.H-D. Comprehensive Rock Engineering, volume 2, chapter 5: Fundamentals of Poroelasticity, pages 113–171.Pergamon, New York NY, 1993.
12. Coussy O. Poromechanics. Wiley, New York, 2004.
13. Алексеев А.С., Имомназаров Х.Х., Грачев Е.В, Рахмонов Т.Т., Имомназаров Б.Х. Прямые и обратные динамические задачи для системы уравнений континуальной теории фильтрации // Сиб. ЖИМ. - 2004, т. VII, No 1(17), с. 3-8.
14. Roshan H., Rahman S. A fully coupled chemo-poroelastic analysis of pore pressure and stress distribution around a wellbore in water active rocks // Rock Mechanics and Rock Engineering, 2011, v. 44, pp. 199–210.
15. Rafieepour S., Zamiran S., Ostadhassan M. A cost-effective chemo-thermo-poroelastic wellbore stability model for mud weight design during drilling through shale formations // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2020, No. 12, pp. 768–779.
16. Khaydarov I.Q. Modeling solute transport in poroelastic shale // Bull. NCC, Mathematical Modeling in Geophysics, № 24, 2022, pp. 7-14.
17. Mikhailenko B.G., Mikhailov A.A., Reshetova G.V. Numerical modeling of transient seismic fields in viscoelastic media based on the Laguerre spectral method // Pure apll. geophys., 2003, v. 160, pp. 1207-1224.
18. Mikhailenko B.G., Mikhailov A.A., Reshetova G.V. Numerical viscoelastic modeling by the spectral Laguerre method // Geophysical Prospecting, 2003, v. 51, pp. 37-48.
19. Имомназаров Б.Х., Михайлов А.А., Хайдаров И.К., Холмуродов А.Э. Численное решение задачи переноса растворенного вещества в пороупругом глинистом сланце // СЭМИ, 2020, т. 17, с. 144-152.