

Рівненський державний гуманітарний університет

**ВОЛИНСЬКИЙ
МАТЕМАТИЧНИЙ
ВІСНИК**

СЕРІЯ ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

Збірник наукових праць

Випуск 8 (17)

Рівне-2011

"Волинський математичний вісник. Серія прикладна математика" публікує результати досліджень з математичного моделювання і обчислювальних методів та суміжної проблематики в галузі математики, інформатики, механіки. Розрахований на наукових працівників, викладачів ВНЗ, аспірантів та студентів старших курсів.

"Волинский математический вестник. Серия прикладная математика".
The "Volyn Mathematical Bulletin. Applied Mathematics Series".

Редакційна колегія

Барановський С.В.	Ляшенко І.М.
Бейко І.В.	Недашковський М.О.
Бомба А.Я. (<i>головний редактор</i>)	Новіков О.М.
Булавацький В.М.	Петрівський Я.Б.
Бурак Я.Й.	Пригорницький Д.О. (<i>секретар</i>)
Власюк А.П.	Присяжнюк І.М.
Войтович М.М.	Савула Я.Г.
Гарашенко Ф.Г.	Свідзинський А.В.
Гарбарчук В.І.	<u>Скопечкий В.В.</u> (<i>консультант</i>)
Джунь Й.В.	Сяський А.О.
Каштан С.С.	Турбал Ю.В.
Климюк Ю.Є. (<i>технічний секретар</i>)	Чикрій А.О.
Кратко М.І.	Шваб'юк В.І.
Кузьменко А.П.	Янчук П.С.
Кундраг М.М.	

Видається у Рівненському державному гуманітарному університеті при сприянні Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, навчальних закладів та наукових товариств Волинського регіону. Друкується за ухвалою Вченої ради РДГУ (протокол № 4 від 25 листопада 2011 р.).

Адреса редакції: 33028, Україна, м. Рівне, вул. Остафова, 31,
Рівненський державний гуманітарний університет,
кафедра інформатики та прикладної математики, редакція ВМВ.
Тел.: +380362260444. E-mail: vmvspm@gmail.com.

Зміст

<i>Бабич С. М. Розрахунок прямобічного шліцьового з'єднання трибосистеми «пружна пластинка – жорсткий диск».....</i>	<i>5</i>
<i>Бехта М. І., Савула Я. Г. Задача оптимального вибору параметрів об'єднання безсіткового методу та методу скінченних елементів.....</i>	<i>15</i>
<i>Бомба А. Я., Сінчук А. М. Застосування квазіконформних відображень до математичного моделювання процесів вибуху.....</i>	<i>32</i>
<i>Булавацький В. М. Математичне моделювання динаміки неізотермічного консолідаційного процесу насиченого сольовим розчином пористого середовища за умов масообміну.....</i>	<i>42</i>
<i>Климюк Ю. Є., Пригорницький Д. О. Просторові аналоги крайових задач на конформні відображення для одного класу кусково-однорідних областей.....</i>	<i>51</i>
<i>Климюк Ю. Є., Пригорницький Д. О., Сівак В. М. Числова реалізація аналога методу конформних відображень побудови просторового фільтраційного поля для одного класу фільтрів із однорідною засипкою.....</i>	<i>63</i>
<i>Климюк Ю. Є., Теслюк А. О., Шепетько Ю. О. Математичне моделювання одного класу просторових нелінійних сингулярно збурених процесів масопереносу забруднюючих речовин у двошарових ізотропних насичених пористих середовищах.....</i>	<i>76</i>
<i>Конет І. М. Гіперболічні крайові задачі в кусково-однорідних циліндричних півпросторах.....</i>	<i>92</i>
<i>Кузьменко А. П., Гладка О. М. Застосування методу прямих сумісно з R-трансформаціями для розв'язування просторової початково-крайової задачі.....</i>	<i>108</i>

<i>Петрик М. Р. Методи моделювання та аналізу причинних характеристик крайових задач масопереносу з використанням матриць впливу для неоднорідних багатоскладових середовищ</i>	113
<i>Присяжнюк О. В., Присяжнюк І. М. Асимптотичний метод розв'язання нелінійних сингулярно збурених задач типу «конвекція-дифузія-масообмін-терморежим»</i>	140
<i>Романюк В. В. Точне розв'язування інтегрального рівняння з виродженим ядром з поліноміалізованою функцією, котра додається, з використанням граничної рекурсії</i>	152
<i>Савюк Є. В. Комплексний підхід до моделювання процесу руху рідин у водоймах з урахуванням джерел поповнення ...</i>	171
<i>Теребус А. В. Просторові модельні аналоги крайових задач на квазіконформні відображення.....</i>	190
<i>Цимбал В. М. Мішана задача для деякого сингулярно збуреного диференціального рівняння третього порядку.....</i>	205
<i>Янчук П. С. Про оцінки похибок поліноміальної апроксимації розв'язку задачі Діріхле для рівняння Пуассона.....</i>	213
<i>Яроцак С. В. Математичне моделювання двохфазної фільтрації в просторово викривлених нафтогазових пластах ...</i>	240
* * * * *	
<i>Джунь Й. В. Закон Джеффриса і його значення як сучасної концепції імовірнісного моделювання випадкових похибок спостережень.....</i>	247
Хроніка	
<i>До 80-річчя Ніни Опанасівни Вірченко.....</i>	258

УДК [519.876.5:530.182]:553.98

Ярошак С. В.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДВОХФАЗНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ В ПРОСТОРОВО ВИКРИВЛЕНИХ НАФТОГАЗОВИХ ПЛАСТАХ

На основі ідей методів квазіконформних відображень та поетапної фіксації характеристик процесу і середовища сформовано задачу двофазної фільтрації в просторово викривлених нафтогазових пластах, та побудовано підхід до її розв'язання.

Вступ. При дослідженні характеристик фільтраційних процесів, що змінюються в результаті руху флюїдів (нафти, газу і води), які насичують пористі пласти, досить часто приходиться мати справу із складними по своїй структурі системами диференціальних рівнянь в частинних похідних (рівняння яких характеризуються сукупністю параметрів, розподілених в просторі і часі), що вимагає побудови якісних методів їх розв'язання.

Так, в роботах [2–4] нами запропоновано методику розв'язання нестационарних задач багатofазної фільтрації (коли фільтраційний процес, породжений серіями нагнітальних та експлуатаційних свердловин, проходить в досить тонких пластах постійної товщини), яка базується на ідеях методу квазіконформного відображення та поетапної фіксації характеристик середовища і процесу. Проте, при розробці нафтогазових родовищ приходиться мати справу з просторово викривленими пластами змінної потужності, де окрім складності, пов'язаної з проектуванням розстановки свердловин та дослідженням їх взаємодії, виникає також необхідність врахування перетоків між пропластками і величин відбору з кожного із них.

У цій роботі поширено розроблену в [2–4] методику дослідження фільтраційних процесів на випадок просторово-викривлених нафтогазо-

вих пластів та побудовано підхід до розв'язання відповідних нелінійних задач багатофазної фільтрації.

Побудова моделі двофазної фільтрації в просторово викривленому пласті. При побудові математичних моделей процесів, що відбуваються в нафтогазових пластах, досить часто, вдається ввести апроксимацію тривимірної фільтраційної течії фільтрацією по стаціонарним поверхням струму [5, 6]. Для цього відносно пласта (деякої області $G_{(x,y,z)} = A_*B_*C_*D_*A^*B^*C^*D^*$) введемо криволінійну (ортогональну) систему координат ξ, η, ζ (див., рис. 1), підоснову $A_*B_*C_*D_*$ і кривлю $A^*B^*C^*D^*$ якого представимо у вигляді відповідних координатних поверхонь $\zeta = \zeta_1 = const$ і $\zeta = \zeta_2 = const$.

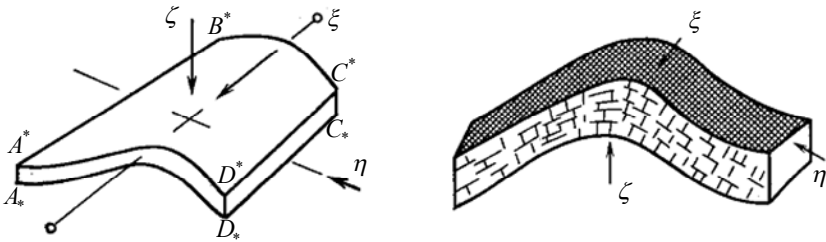


Рис. 1. Викривлений пласт змінної потужності в ортогональній системі координат ξ, η, ζ

Плоску область зміни (ξ, η) позначимо як $G_z = ABCD$ та далі вважатимемо, що рух частинок здійснюється по поверхнях $\zeta = const$. На основі міркувань, закладених у [3, 4, 6], закон Дарсі та рівняння нерозривності течії для кожної з рідин в ортогональній системі координат (ξ, η, ζ) , запишемо у вигляді:

$$\bar{v}_1 = (v_{1\xi}, v_{1\eta}) = \left(\frac{k\tilde{k}_1}{\mu_1 H_1} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi}, \frac{k\tilde{k}_1}{\mu_1 H_2} \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \right),$$

$$\bar{v}_2 = (v_{2\xi}, v_{2\eta}) = \left(\frac{k\tilde{k}_2}{\mu_2 H_1} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi}, \frac{k\tilde{k}_2}{\mu_2 H_2} \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \right),$$

$$\int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \left(\frac{\partial(H_2 H_3 v_{l\xi})}{\partial \xi} + \frac{\partial(H_1 H_3 v_{l\eta})}{\partial \eta} + \sigma H_1 H_2 H_3 \frac{\partial s_l}{\partial t} \right) d\zeta = 0, \quad l=1,2,$$

де $s_1(M, t)$, $s_2(M, t)$ відповідно насиченості пористого середовища нафтою та водою в деякій біжучій точці M пласта у момент часу t ($s_1 + s_2 = 1$), σ , k – коефіцієнти пористості та абсолютної проникності ґрунту, $\tilde{k}_1 = \tilde{k}_1(s)$, $\tilde{k}_2 = \tilde{k}_2(s)$ – відносні фазові проникності ($s = s_2$); \vec{v}_l , μ_l – вектор швидкості та коефіцієнт в'язкості l - тої фази, $H_1 = \sqrt{x_\xi^2 + y_\xi^2 + z_\xi^2}$, $H_2 = \sqrt{x_\eta^2 + y_\eta^2 + z_\eta^2}$, $H_3 = \sqrt{x_\zeta^2 + y_\zeta^2 + z_\zeta^2}$ – параметри Ламе, $x = x(\xi, \eta, \zeta)$, $y = y(\xi, \eta, \zeta)$, $z = z(\xi, \eta, \zeta)$ – задані неперервно-диференційовані функції, що пов'язують фізичні декартові координати з введеними криволінійними (ξ, η, ζ) .

Звідси, з урахуванням сумарної швидкості $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$ фільтраційної течії, маємо:

$$\vec{v} = (v_\xi, v_\eta) = \bar{k}(s) \left(\frac{\varphi_\xi}{H_1}, \frac{\varphi_\eta}{H_2} \right), \quad (1)$$

$$\int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \left(\frac{\partial(H_2 H_3 v_\xi)}{\partial \xi} + \frac{\partial(H_1 H_3 v_\eta)}{\partial \eta} \right) d\zeta = 0, \quad (2)$$

$$\int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \left(\frac{\partial(H_2 H_3 f(s) v_\xi)}{\partial \xi} + \frac{\partial(H_1 H_3 f(s) v_\eta)}{\partial \eta} + \sigma H_1 H_2 H_3 \frac{\partial s}{\partial t} \right) d\zeta = 0, \quad (3)$$

де $\bar{k}(s) = \frac{k\tilde{k}_1(s)}{\mu_1} + \frac{k\tilde{k}_2(s)}{\mu_2}$, $f(s) = \frac{\mu_1 \tilde{k}_2(s)}{\mu_2 \tilde{k}_1(s) + \mu_1 \tilde{k}_2(s)}$.

Підставляючи (1) в (2) – (3) і змінюючи порядок інтегрування та диференціювання отримаємо систему диференціальних рівняння, яка при відповідних крайових та початкових умовах описує процес витіснення у викривленому пласті змінної товщини

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left(K_1 \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(K_2 \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \right) = 0, \quad (4)$$

$$K_3 \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(K_4 \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(K_5 \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} \right) = 0, \quad (5)$$

де $K_1(\xi, \eta) = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{\bar{k}(s) H_2 H_3}{H_1} d\zeta$, $K_2(\xi, \eta) = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{\bar{k}(s) H_1 H_3}{H_2} d\zeta$,

$$K_3(\xi, \eta) = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \sigma H_1 H_2 H_3 d\zeta, \quad K_4(\xi, \eta) = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{\bar{k}(s) f(s) H_2 H_3}{H_1} d\zeta,$$

$$K_5(\xi, \eta) = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{\bar{k}(s) f(s) H_1 H_3}{H_2} d\zeta - \text{характеристичні коефіцієнти, що від-}$$

повідають за збереження інформації про геометрію та фільтраційні властивості пласта. Для запису граничних умов представимо рівняння підошви і кривлі пласта та решти обмежуючих фільтраційну область поверхонь в координатах (ξ, η, ζ) наступним чином:

$$A_* B_* C_* D_* = \{(\xi, \eta, \zeta) : \zeta = \zeta_*\}, \quad A^* B^* C^* D^* = \{(\xi, \eta, \zeta) : \zeta = \zeta_*^*\},$$

$$A_* A^* B^* B_* = \{(\xi, \eta, \zeta) : f_*(\xi, \eta) = 0\}, \quad C_* C^* D^* D_* = \{(\xi, \eta, \zeta) : f^*(\xi, \eta) = 0\},$$

$$A_* D_* A^* D^* = \{(\xi, \eta, \zeta) : g_*(\xi, \eta) = 0\}, \quad B_* C_* C^* B^* = \{(\xi, \eta, \zeta) : g^*(\xi, \eta) = 0\}.$$

Тоді відповідні граничні та початкові умови матимуть вигляд:

$$\varphi|_{f_*(\xi, \eta)=0} = \varphi_*, \quad \varphi|_{f^*(\xi, \eta)=0} = \varphi^*, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial n}|_{g_*(\xi, \eta)=0} = \frac{\partial \varphi}{\partial n}|_{g^*(\xi, \eta)=0} = 0,$$

$$s|_{f_*(\xi, \eta)=0} = s_*, \quad s|_{t=0} = \tilde{s}(\xi, \eta, \zeta).$$

Підхід до розв'язання сформованої задачі двофазної фільтрації.

Введемо функцію усередненої течії ψ , що задовольняє співвідношення:

$$K_1 \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} = \frac{\partial \psi}{\partial \eta}, \quad K_2 \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} = -\frac{\partial \psi}{\partial \xi}, \quad (6)$$

при виконанні яких рівняння (4) перетворюється на тотожну рівність. Система (6) визначає деяку функцію $\omega = \omega(z) = \varphi + i\psi$, яка при виконанні умов:

$$\varphi|_{f_*(\xi, \eta)=0} = \varphi_*, \quad \varphi|_{f^*(\xi, \eta)=0} = \varphi^*, \quad \psi|_{g_*(\xi, \eta)=0} = 0, \quad \psi|_{g^*(\xi, \eta)=0} = Q \quad (7)$$

здійснює квазіконформне відображення [1] фізичної області фільтрації на відповідну область комплексного квазіпотенціалу $G_\omega = \{\omega : \varphi_* < \varphi < \varphi^*, 0 < \psi < Q\}$, де Q – невідома фільтраційна витрата.

Відповідну нелінійну обернену задачу до (6) – (7) на квазіконформне відображення $z = z(\omega) = x(\varphi, \psi) + iy(\varphi, \psi)$ області G_ω на G_z отримаємо у вигляді:

$$K_1 \frac{\partial \eta}{\partial \psi} = \frac{\partial \xi}{\partial \varphi}, \quad K_2 \frac{\partial \xi}{\partial \psi} = -\frac{\partial \eta}{\partial \varphi}, \quad (\varphi, \psi) \in G_\omega \quad (8)$$

$$f_*(\xi(\varphi_*, \psi), \eta(\varphi_*, \psi)) = 0, \quad f^*(\xi(\varphi^*, \psi), \eta(\varphi^*, \psi)) = 0, \quad 0 \leq \psi \leq Q, \quad (9)$$

$$g_*(\xi(\varphi, 0), \eta(\varphi, 0)) = 0, \quad g^*(\xi(\varphi, Q), \eta(\varphi, Q)) = 0, \quad \varphi_* \leq \varphi \leq \varphi^*,$$

зокрема, як наслідок (4) маємо:

$$\frac{\partial}{\partial \psi} \left(K_2 \frac{\partial \xi}{\partial \psi} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{K_1} \frac{\partial \xi}{\partial \varphi} \right) = 0, \quad \frac{\partial}{\partial \psi} \left(K_1 \frac{\partial \eta}{\partial \psi} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{1}{K_2} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} \right) = 0. \quad (10)$$

Використавши відповідні формули переходу, $\frac{\partial}{\partial \xi} = \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} \frac{\partial}{\partial \varphi} - \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi}$, $\frac{\partial}{\partial \eta} = -\frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial \psi} \frac{\partial}{\partial \varphi} + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi}$, $\frac{\partial \varphi}{\partial \xi} = \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial \psi}$, $\frac{\partial \varphi}{\partial \eta} = -\frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial \psi}$, $\frac{\partial \psi}{\partial \xi} = -\frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi}$, $\frac{\partial \psi}{\partial \eta} = \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial \varphi}$, $J = \frac{\partial \xi}{\partial \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - \frac{\partial \xi}{\partial \psi} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi}$ умови (8) та формули для обчислення компонент сумарної швидкості $v_\xi = \frac{\bar{k}(s)}{J(\varphi, \psi) H_1} \frac{\partial \eta}{\partial \psi}$, $v_\eta = -\frac{\bar{k}(s)}{J(\varphi, \psi) H_2} \frac{\partial \xi}{\partial \psi}$, задачу для насиченості запишемо так:

$$K_3 J \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial \psi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{K_4}{J} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} \right) - K_1 \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{K_5}{J} \frac{\partial \xi}{\partial \psi} \right) \right) + \frac{\partial \xi}{\partial \psi} \left(\frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{K_5}{J} \frac{\partial \xi}{\partial \psi} \right) + K_2 \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{K_4}{J} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} \right) \right) = 0, \quad (11)$$

$$s(\xi(\varphi_*, \psi), \eta(\varphi_*, \psi), \zeta(\varphi_*, \psi), t) = s_*,$$

$$s(\xi(\varphi, \psi), \eta(\varphi, \psi), \zeta(\varphi, \psi), 0) = \tilde{s}(\xi(\varphi, \psi), \eta(\varphi, \psi), \zeta(\varphi, \psi)). \quad (12),$$

При цьому, якщо $\frac{\partial f(s)}{\partial \zeta} = 0$, то рівняння (11) має вигляд [3,4]:

$$\frac{\partial s}{\partial t} = -\frac{v^2}{\sigma k} \frac{\partial f}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial \varphi}, \quad (13)$$

і є просторово-одновимірним, адже змінна ψ тут фігурує як параметр.

Введення таким чином фіктивного комплексного квазіпотенціалу з наступним використанням ідей методу квазіконформних відображень та процедури поетапної фіксації різних характеристик середовища і процесу суттєво спрощує загальну стратегію розчеплення алгоритму розв'язання вихідної задачі (представлення його у вигляді блоків, що

виконуються один за одним циклічно). А саме, за фіксованим розподілом насиченості s розв'язуємо задачу на квазіконформне відображення: будуємо гідродинамічну сітку, характерні лінії розділу течії, знаходимо квазіпотенціал φ , витрату та інші невідомі фільтраційні параметри; за знайденими фільтраційними характеристиками згідно з (11) знаходимо перерозподіл насиченості та перевіряємо умови зупинки процесу обчислень. Однією з них може бути умова перевищення допустимої частки витісняючої рідини на границі $B_*C_*C^*B^*$.

Аналогічно, як в роботах [1-4], алгоритм знаходження розв'язку оберненої нелінійної диференціальної задачі, що описує процес витіснення, будується шляхом поетапної параметризації величини квазіконформного інваріанту, граничних та внутрішніх вузлів сітки з використанням ідей блочної ітерації.

Висновок. Розроблений в роботі підхід з великою ефективністю можна використовувати при розв'язанні різного роду задач розробки нафтових родовищ, зокрема, при розв'язанні задач проектування, аналізу, контролю та регулювання, а також оптимізації процесів розробки продуктивних площ.

1. *Бомба А. Я.* Нелінійні математичні моделі процесів геогідродинаміки / А. Я. Бомба, В. М. Булавацький, В. В. Скопецький – К. : Наукова думка, 2007. – 308 с.
2. *Бомба А. Я.* Метод квазіконформних відображень розв'язання модельних задач двофазної фільтрації / А. Я. Бомба, С. В. Ярошак // Доповіді НАН України. – 2010. – №10. – С. 34–40.
3. *Бомба А. Я.* Числовий метод квазіконформних відображень дослідження двофазної фільтрації в елементах площадного заводнення / А. Я. Бомба, С. В. Ярошак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – № 2(35) – С. 31–35.
4. *Бомба А. Я.* Числовий метод квазіконформних відображень моделювання процесів двофазної фільтрації / А. Я. Бомба, С. В. Ярошак // Обчислювальна та прикладна математика. – 2010. – №2. – С. 3–13.
5. *Бомба А. Я.* Моделювання квазіідеальних полів для тонких просторово викривлених пластів / А. Я. Бомба, А. В. Теребус // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – 2010. – №4. – С. 9–16.
6. *Толпаев В. А.* Математические модели двумерной фильтрации в анизотропных, неоднородных и многослойных средах: автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра физ.-мат. наук : 05.13.18 / В. А. Толпаев. – Ставрополь. – 2004. – 38 с.

Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне
E-mail: yaroschak@mail.ru

Надійшла 01.07.2011

Ярошак С. В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕННО ИСКРИВЛЕННЫХ НЕФТЕГАЗОВЫХ ПЛАСТАХ // *На основе идей методов квазиконформных отображений и поэтапной фиксации характеристик процесса и среды сформировано задачу двухфазной фильтрации в пространственно искривленных нефтегазовых пластах, и построено подход к её решению.*

Yaroschak S. V. SIMULATION OF TWO-PHASE FILTRATION IN THE CURVATURE OF OIL-BEARING FORMATIONS // *Based on the ideas of methods of quasiconformal mappings and phase characteristics of the process of fixation and protection of sfor, the deformed two-phase filtration task in spatially curved and gas reservoirs, and constructed an approach to address them.*