



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ЗАЯВКА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ**

(21)(22) Заявка: 2021132244, 30.04.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
06.05.2019 CN 201910370524.2

(43) Дата публикации заявки: 06.06.2023 Бюл. № 16

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 06.12.2021(86) Заявка РСТ:
CN 2020/088309 (30.04.2020)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2020/224539 (12.11.2020)Адрес для переписки:
123242, Москва, Кудринская пл., 1, а/я 35,
Е.Л.Носыревой

(71) Заявитель(и):

**КСИАН СИНОЛИНЕ ПЕТРОЛЕУМ
САЙНС ЭНД ТЕХНОЛОДЖИ КО., ЛТД
(CN)**

(72) Автор(ы):

**ЛИН, Джиаен (CN),
ХЕ, Хуи (CN),
ХАН, Зхангуинг (CN)**

(54) **ДАННОЕ РЕШЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ (ПОТОКА) И АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СКВАЖИНЫ И ПЛАСТА, ОСНОВАННОЕ НА ОБОБЩЕННОМ СЦЕПЛЕНИИ ФИЛЬТРАЦИОННОГО (ПЕРКОЛЯЦИОННОГО) И ТРУБНОГО ТЕЧЕНИЯ (ПОТОКА) (СВОБОДНОГО ТЕЧЕНИЯ (ПОТОКА))**

(57) Формула изобретения

1. Способ моделирования движения потока и скважинного анализа переходных процессов на основе обобщенной связи между трубным потоком и инфильтрационным потоком, отличающийся тем, что включает следующие этапы, на которых:

S1: определяют обобщенную текучесть с получением характеристик закономерности движения потока текучей среды с помощью формально одинаковых моделей обобщенной текучести;

S2: на основании обобщенной текучести получают определяющее уравнение движения многокомпонентного многофазного потока, в котором учтены параметр потока, параметр рассеивания, параметр накапливания, параметр адсорбции и параметр источника-стока, и в сочетании с уравнением сохранения энергии, вспомогательными уравнениями для насыщенности и капиллярной силы, уравнением начальной насыщенности, уравнением начального давления, уравнением начальной температуры, уравнением фазового равновесия и уравнениями граничных условий получают полное уравнение для моделирования движения многокомпонентного многофазного потока;

решают уравнение для моделирования движения многокомпонентного многофазного потока с получением давления, температуры, насыщенности и молярного процента каждого компонента в каждой фазе текучей среды многофазного потока в любой точке

в области исследования;

S3: на основе полученного уравнения для анализа и моделирования движения многокомпонентного многофазного потока получают соответствующее прикладное программное обеспечение.

2. Способ моделирования движения потока и скважинного анализа переходных процессов на основе обобщенной связи между трубным потоком и инфильтрационным потоком по п. 1, отличающийся тем, что этап S1 предусматривает то, что:

S11: для любого уравнения движения текучей среды, если оно может быть записано в форме $\mathbf{v} = -\lambda \nabla p$, λ называют обобщенной текучестью, при этом \mathbf{v} выражает скорость потока текучей среды, ∇p выражает градиент давления, обобщенная текучесть λ представляет собой функцию пространственного положения и времени;

S12: закономерность движения потока текучей среды области трубного потока в стволе скважины, трубопроводе, трещинах, небольших полостях, дырах, трещинно-кавернозных образованиях, полостях, гротах, карстовых пещерах, кавернах, а также в области инфильтрационного потока в щелевой среде характеризуют посредством формально одинаковых моделей обобщенной текучести.

3. Способ моделирования движения потока и скважинного анализа переходных процессов на основе обобщенной связи между трубным потоком и инфильтрационным потоком по п. 1, отличающийся тем, что этап S2 предусматривает то, что:

S21: обобщенная текучесть трехмерного многофазного потока

$$\lambda_k = \begin{bmatrix} \lambda_{k,xx}(\mathbf{x}, t) & \lambda_{k,xy}(\mathbf{x}, t) & \lambda_{k,xz}(\mathbf{x}, t) \\ \lambda_{k,yx}(\mathbf{x}, t) & \lambda_{k,yy}(\mathbf{x}, t) & \lambda_{k,yz}(\mathbf{x}, t) \\ \lambda_{k,zx}(\mathbf{x}, t) & \lambda_{k,zy}(\mathbf{x}, t) & \lambda_{k,zz}(\mathbf{x}, t) \end{bmatrix}, \text{ при этом } k=1,2,\dots,n_p, n_p \text{ выражает общее число фаз, } \mathbf{x}$$

выражает пространственное положение, t выражает время; в обобщенной текучести λ_k 9 компонентов $\lambda_{k,xx}, \lambda_{k,xy}, \lambda_{k,xz}, \lambda_{k,yx}, \lambda_{k,yy}, \lambda_{k,yz}, \lambda_{k,zx}, \lambda_{k,zy}, \lambda_{k,zz}$ представляют собой функцию пространственного положения \mathbf{x} и времени t ;

S22: на основании обобщенной текучести трехмерного многофазного потока уравнение движения текучей среды трехмерного многофазного потока единообразно записывают как $\mathbf{v}_k = -\lambda_k \nabla p_k$, при этом $k=1,2,\dots,n_p$, n_p выражает общее число фаз,

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)^T \text{ представляет собой оператор Гамильтона, } \mathbf{v}_k \text{ представляет собой}$$

скорость потока текучей среды k -й фазы, p_k выражает давление k -й фазы;

S23: уравнение для моделирования движения многокомпонентного многофазного потока

уравнение для моделирования движения многокомпонентного многофазного потока, в котором учтены параметр потока, параметр рассеивания, параметр накапливания, параметр адсорбции и параметр источника-стока:

определяющее уравнение компонентов:

$$\left[\nabla \cdot \sum_{k=1}^{n_p} (\rho_k C_{ik} \lambda_k \nabla p_k) \right] + \left[\nabla \cdot \sum_{k=1}^{n_p} (\phi \rho_k S_k D_{ik} \nabla C_{ik}) \right] =$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \sum_{k=1}^{n_p} (\rho_k S_k C_{ik}) \right] + \frac{\partial}{\partial t} [(1-\phi) \rho_i V_i] + \sum_{k=1}^{n_p} C_{ik} q_k, (\mathbf{x}, t) \in \Omega \times (0, t_{\max}], i = 1, 2, \dots, n_c$$

уравнение сохранения энергии:

$$\left[\nabla \cdot \sum_{k=1}^{n_p} (\pi_k \rho_k \lambda_k \nabla p_k) \right] + [\nabla \cdot \kappa \nabla T] =$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \sum_{k=1}^{n_p} (\rho_k S_k U_k) \right] + \frac{\partial}{\partial t} [(1-\phi) \rho_r U_r] + \sum_{k=1}^{n_p} \pi_k q_k, (\mathbf{x}, t) \in \Omega \times (0, t_{\max}]$$

вспомогательные уравнения для насыщенности и капиллярной силы:

$$\text{уравнение насыщенности } \sum_{k=1}^{n_p} S_k = 1, (\mathbf{x}, t) \in \Omega \times (0, t_{\max}];$$

уравнение капиллярной силы на поверхности раздела фазы α и фазы β

$$P_{c\alpha\beta}(S_w) = p_\alpha - p_\beta, (\mathbf{x}, t) \in \Omega \times (0, T], \alpha = 1, \dots, n_p; \beta = 1, \dots, n_p;$$

уравнение корреляции фазового равновесия:

$$\text{константа равновесия компонента } i \text{ в фазе } \alpha \text{ и фазе } \beta: K_{i\alpha\beta} = C_{i\alpha}/C_{i\beta}, \alpha = 1, \dots, n_p; \beta = 1, \dots, n_p; i = 1, \dots, n_c;$$

условие нормализации молярного процента компонента в каждой фазе:

$$\sum_{i=1}^{n_c} C_{ik} = 1, k = 1, \dots, n_p;$$

$$\text{общий молярный процент компонента } i: Z_i = \sum_{k=1}^{n_p} C_{ik} \tilde{n}_k, i = 1, \dots, n_c$$

условие нормализации отношения числа молей в каждой фазе ко всей системе:

$$\sum_{i=1}^{n_c} \tilde{n}_i = 1, k = 1, \dots, n_p$$

уравнения граничных условий:

уравнение граничных условий давления для каждой фазы

$$\left(c_{k,1} p_k + c_{k,2} \lambda_k \frac{\partial p_k}{\partial \mathbf{n}} \right) = g_k(\mathbf{x}, t), (\mathbf{x}, t) \in \partial\Omega \times (0, t_{\max}], k = 1, \dots, n_p;$$

$$\text{уравнение граничных условий температуры } \left(d_1 T + d_2 \kappa \frac{\partial T}{\partial \mathbf{n}} \right) = w(\mathbf{x}, t), (\mathbf{x}, t) \in \partial\Omega \times (0, t_{\max}];$$

уравнение начальной насыщенности:

$$\text{уравнение начальной насыщенности для каждой фазы } S_k(\mathbf{x}, 0) = 1_k(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in \Omega, k = 1, \dots, n_p;$$

уравнение начального давления:

$$\text{уравнение начального давления для каждой фазы } p_k(\mathbf{x}, 0) = f_k(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in \Omega, k = 1, \dots, n_p;$$

уравнение начальной температуры:

$$T(\mathbf{x}, 0) = \tau(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in \Omega;$$

описание символов переменных в уравнении для анализа и моделирования движения многокомпонентного многофазного потока: ϕ представляет собой пористость, пористость представляет собой функцию среднего давления \bar{p} , %; n_c общее число компонентов, безразмерная величина; n_p общее число фаз, безразмерная величина; λ_k представляет собой обобщенную текучесть k -й фазы, $\text{м}^2/(\text{Па}\cdot\text{с})$; ρ_k, ρ_r представляют собой плотность соответственно k -й фазы и горной породы, $\text{кг}/\text{м}^3$; λ_k представляет собой теплосодержание k -й фазы, $\text{Дж}/\text{кг}$; U_k, U_r представляют собой внутреннюю энергию соответственно k -й фазы и горной породы, $\text{Дж}/\text{кг}$; V_i представляет собой адсорбционную способность компонента i , безразмерная величина; S_k представляет

собой насыщенность k -й фазы; t представляет собой время, с; t_{\max} представляет собой верхний предел времени, с; p_k представляет собой давление k -й фазы, Па; l_k представляет собой функцию распределения начальной насыщенности k -й фазы; q_k представляет собой параметр источника-стока k -й фазы, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$; f_k представляет собой функцию распределения начального давления k -й фазы, Па; представляет собой константу равновесия компонента i в фазе α и фазе β , безразмерная величина; C_{ik} представляет собой молярный процент компонента i в k -й фазе, безразмерная величина; D_{ik} представляет собой коэффициент рассеивания компонента i в k -й фазе, $\text{м}^2/\text{с}$; Z_i представляет собой общий молярный процент компонента i , безразмерная величина; \tilde{n}_k представляет собой отношение числа молей k -й фазы ко всей системе, безразмерная величина; g_k представляет собой граничную функцию k -й фазы на границе коллектора, безразмерная величина; w представляет собой функцию граничной температуры на границе коллектора, безразмерная величина; τ представляет собой функция распределения начальной температуры коллектора, К; $p_{\alpha\beta}$ представляет собой капиллярное давление на поверхности раздела фазы α и фазы β , Па; Ω представляет собой пространство коллектора; $\partial\Omega$ представляет собой границу коллектора, при этом граница содержит внутреннюю границу и внешнюю границу; $ck,1$ представляет собой коэффициент параметра давления k -й фазы в граничных условиях коллектора, $1/\text{Па}$; $ck,2$ представляет собой коэффициент параметра производной по направлению в направлении нормали за пределами границ k -й фазы в граничных условиях коллектора, $\text{с}/\text{м}$; $d1$ представляет собой коэффициент параметра температуры в граничных условиях коллектора, $1/\text{К}$; $d2$ представляет собой коэффициент параметра производной по направлению температуры в направлении нормали за пределами границ в граничных условиях коллектора, $\text{с} \cdot \text{м}^2/\text{Дж}$; k представляет собой коэффициент теплопроводности, $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$; $n\partial\Omega$ представляет собой направление внешней нормали границы коллектора, м; ∇ представляет собой оператор Гамильтона; ∂ представляет собой знак частной производной;

S24: аналитическое решение для решения уравнения для моделирования движения многокомпонентного многофазного потока, которое включает непосредственное решение, преобразование Лапласа, преобразование Фурье, ортогональное преобразование; численное решение, которое включает метод конечных разностей, метод конечных объемов, метод граничных элементов, метод конечных объемов, метод конечных элементов; после решения получают давление, температуру и насыщенность текучей среды многофазного потока в области исследования, в том числе давление, температуру, насыщенность и молярный процент каждого компонента в каждой фазе в любой момент времени и в любом месте в области исследования.

4. Способ моделирования движения потока и скважинного анализа переходных процессов на основе обобщенной связи между трубным потоком и инфильтрационным потоком по п. 1, отличающийся тем, что этап S3 предусматривает то, что:

S31: прикладное программное обеспечение содержит пять основных систем: систему предварительной обработки данных, систему цифрового моделирования, аналитическую систему анализа, систему вывода результатов анализа, систему управления вводом и выводом данных; процесс анализа с помощью прикладного программного обеспечения включает определение коллектора; установление начальных условий и граничных условий; установление ствола скважины и трещин от разрыва; выбор средств цифрового моделирования или установление типа и компонентов текучей среды; определение модели обобщенной текучести; проектирование сетки цифрового моделирования; обеспечение модели запаса ствола скважины; разделение периодов движения потока

и сегментов движения потока; преобразование системы координат; обеспечение модели и ее аналитической диаграммы; регулирование параметров и подгонку модели; динамическое прогнозирование;

S32: прикладное программное обеспечение применяют для осуществления анализа с моделированием движения потока в одиночной скважине и нескольких скважинах в сложных коллекторах, содержащих многокомпонентный многофазный поток; анализа межскважинных интерференций; анализа производственной мощности; анализа с учетом переходного давления; анализа с учетом переходной величины потока; анализа с учетом переходной температуры; проектирования испытания скважины; и анализа данных долговременного мониторинга в скважине; при этом сложный коллектор, содержащий многокомпонентный многофазный поток, содержит разные залежи нефти и газа, залежи нефти и газа, в которые вводят некоторые текущие среды, подземные хранилища газа, залежи подземной воды, геотермальные залежи.

RU 2021132244 A

RU 2021132244 A