

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041040**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.08.31

(51) Int. Cl. **E21B 43/22 (2006.01)**
C09K 8/582 (2006.01)

(21) Номер заявки
202100162

(22) Дата подачи заявки
2021.04.22

(54) СПОСОБ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

(43) **2022.08.05**

(96) **2021/008 (AZ) 2021.04.22**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ
НЕФТИ И ГАЗА (НИПИИГ) (AZ)**

(72) Изобретатель:
**Сулейманов Багир Алекпер оглы,
Рзаева Сабина Джангир кызы,
Ахмедова Ульвия Таир кызы (AZ)**

(56) ГАСЫМЛЫ А.М. и др.
ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО
МЕТОДА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
МЕСТОРОЖДЕНИЕ БИБИЭЙБАТ. ЖУРНАЛ
НАУЧНЫЕ ТРУДЫ НИПИ НЕФТЕГАЗ ГНКАР.
2011, №3, с.34-38, ISSN 2218-6867.
RU-C1-2079642
US-A-3599716

(57) Изобретение относится к нефтедобывающей промышленности, в частности к способам разработки нефтяных залежей с применением микробиологического воздействия. Задачей изобретения является повышение эффективности разработки нефтяной залежи за счет вытеснения нефти самогазирующимся биореагентом в предпереходном фазовом состоянии. Поставленная задача решается тем, что в способе разработки нефтяной залежи, включающем закачку смеси воды и реагента в предпереходном фазовом состоянии и вытеснение ею нефти из пласта, в качестве реагента в смеси реагента и воды в предпереходном фазовом состоянии используют самогазирующийся биореагент, содержащий источники микроорганизмов и питательную среду при объемном соотношении компонентов самогазирующегося биореагента 1:1, а необходимый объем воды с учетом количества выделяемого биогаза и его растворимости при заданной температуре и давлении в пласте определяют по формуле

$$V_{\text{г}} = \left(1 - \frac{\Gamma}{Q}\right)$$

где Γ - количество газа, растворенного в 1 м³ самогазирующегося биореагента, нм³/м³, Q - объем выделившегося из 1 м³ самогазирующегося биореагента газа. Перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующийся биореагент дополнительно вводят водорастворимый полимер. Перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующийся биореагент дополнительно вводят электролит. Перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующийся биореагент дополнительно вводят газовыделяющий агент.

B1**041040****041040****B1**

Изобретение относится к нефтедобывающей промышленности, в частности к способам разработки нефтяных залежей с применением микробиологического воздействия.

Известен способ обработки призабойной зоны пласта путем введения биологически активных сред, состоящих из молочной сыворотки (МС) и активного ила (АИ) в соотношении 1:2 [1].

Недостатком способа является неполный охват из-за того, что в неоднородном пласте биологически активная среда не проникает в малопроницаемые участки.

Известен способ разработки нефтяной залежи, включающий закачку смеси горячей воды и воздуха с созданием в пласте оторочки водовоздушного раствора в предпереходном фазовом состоянии и вытеснение ею нефти из пласта, при этом отношение забойного давления в нагнетательных скважинах к пластовому поддерживают меньше 1,8 [2].

Недостатком этого способа является ограничение на величину отношения давления на забое нагнетательных скважин к пластовому давлению.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому изобретению является способ разработки нефтяной залежи, включающий закачку смеси углеводородного газа и воды в предпереходном фазовом состоянии и вытеснение ею нефти из пласта [3].

Недостатками прототипа являются низкий коэффициент вытеснения, неполный охват пласта, низкая растворимость газа и низкая эффективность вытеснения углеводородным газом по сравнению с углекислым газом, невозможность осуществления способа без источника углеводородного газа.

Задачей изобретения является повышение эффективности разработки нефтяной залежи за счет вытеснения нефти самогазирующимся биореагентом в предпереходном фазовом состоянии.

Поставленная задача решается тем, что в способе разработки нефтяной залежи, включающем закачку смеси воды и реагента в предпереходном фазовом состоянии и вытеснение ею нефти из пласта, в качестве реагента в смеси реагента и воды в предпереходном фазовом состоянии используют самогазирующийся биореагент, содержащий источники микроорганизмов и питательную среду при объеме соотношении компонентов самогазирующегося биореагента 1:1, а необходимый объем воды с учетом количества выделяемого биогаза и его растворимости при заданной температуре и давлении в пласте определяют по формуле

$$V_{\text{г}} = (1 - \frac{\Gamma}{Q})$$

где Γ - количество газа, растворенного в 1 м³ самогазирующегося биореагента, нм³/м³, Q - объем выделившегося из 1 м³ самогазирующегося биореагента газа.

Перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующийся биореагент дополнительно вводят водорастворимый полимер.

Перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующийся биореагент дополнительно вводят электролит.

Перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующийся биореагент дополнительно вводят газовыделяющий агент.

В качестве источников микроорганизмов в предлагаемом биореагенте используют активный ил - отход, получаемый при очистке бытовых и производственных сточных вод (ГОСТ 32295-2013), в качестве питательной среды - молочную сыворотку, побочный продукт при переработке молока в творог, сыр, казеин и т.д. (ГОСТ 34352-2017), или мелассу, побочный продукт при производстве сахара (ГОСТ 30561-2017).

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что закачка в пласт самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии (ППФС) повышает эффективность микробиологического воздействия. В результате жизнедеятельности микроорганизмов в пласте помимо нефтевытесняющих агентов, таких как кислоты, спирты растворители, биоПАВ и биополимеры, вырабатывается значительное количество газов биогенного происхождения. В лабораторных условиях определен состав выделившихся из биореагента биогазов и выявлено, что наибольшее процентное содержание среди них занимает углекислый газ (CO₂ - 60%, N₂ - 22%, CH₄ - 14%, O₂ - 4%). Также определено, что максимальная генерация газа наблюдается в биореагенте, состоящем из мелассы (М) - активного ила (АИ) и молочной сыворотки (МС) - активного ила (табл. 1). После определения состава выделившихся из биореагента в ППФС биогазов рассчитали растворимость газовой смеси в жидкости с использованием закона Генри [4]. В табл. 2 показаны результаты расчета растворимости газовой смеси при заданных температурах и давлениях в 1 м³ воды.

Определим условия образования ППФС биореагента в пластовых условиях. Известно, что ППФС в газированных жидкостях возникает в диапазоне давлений (P), в 1.1-2.0 раза превышающем давление насыщения (P_c):

$$1.1 < \frac{P}{P_c} < \frac{P}{p_c} < 2.0$$

То есть ППФС газированного биореагента реализуют в пласте в диапазоне давлений $P \geq P_r$ и охватывают ППФС закачиваемого газированного биореагента область пласта между забоем нагнетательной

скважины и внешней границей зоны возмущения пласта с давлением P_r . При этом ППФС вытесняющего газированного биореагента не обязательно должно начинаться на забое нагнетательной скважины, а может начинаться несколько глубже в пласте на необходимом расстоянии от забоя.

Если обозначить $G = \frac{\Gamma}{P}$, с учетом того, что $P_c = \frac{\Gamma}{\alpha}$, получим

$$G = \frac{\alpha}{\left(\frac{P}{P_c}\right)}$$

Тогда условие реализации ППФС получим в следующем виде:

$$\frac{\alpha}{2.0} < G < \frac{\alpha}{1.1} \quad (1),$$

где Γ - количество газа, растворенного в 1 м^3 воды, $\text{нм}^3/\text{м}^3$; P - давление в системе, МПа; α - коэффициент растворимости газа в воде, $\text{нм}^3/\text{м}^3 \text{ МПа}$

Как видно из табл. 2, в диапазоне температур $10-70^\circ\text{C}$ и давлении $1-15 \text{ МПа}$ (традиционных для микробиологического воздействия на месторождениях находящихся в поздней стадии эксплуатации) $\alpha=2.08-10.31 \text{ нм}^3/\text{м}^3 \text{ МПа}$. Подставляя в (1) эти числовые значения, получим условие по объему газа (в нм^3) на 1 м^3 закачиваемой жидкости и 1 МПа пластового давления для реализации ППФС:

$$1.04 < G < 9.4 \quad (2)$$

Учитывая, что из 1 м^3 биореагента выделяется до $30 \text{ нм}^3/\text{м}^3$ биогаза (табл. 1) и условие (2) всегда реализуется для указанных термобарических условий, для получения однофазной смеси биореагент необходимо смешивать с водой, объем которой в единице объема смеси определяется по формуле

$$V_g = \left(1 - \frac{\Gamma}{Q}\right) \quad (3)$$

где Q - объем выделившегося из 1 м^3 биореагента газа. При давлении 15 МПа минимальное значение Γ согласно (2) составит $15.6 \text{ нм}^3/\text{м}^3$ и при $Q=30 \text{ нм}^3/\text{м}^3$ получим $V_g=0.48 \text{ м}^3$ на 1 м^3 смеси.

Для повышения эффективности вытеснения в биореагент дополнительно вводят водорастворимые полимеры, что позволит создать гибридные биополимерные реагенты. Вытеснение нефти газированным биореагентом с добавкой водорастворимого полимера в предпереходном фазовом состоянии способствуют выравниванию профиля фильтрации, а также ввиду модификации течения от дилатантного к псевдопластичному к ускорению процесса разработки и увеличению приемистости нагнетательной скважины. В качестве водорастворимого полимера используют ПАА, КМЦ и др.

Для регулирования растворимости биореагента в предпереходном фазовом состоянии в него дополнительно вводят электролит. Добавка к биореагенту электролитов уменьшит растворимость газовой смеси и однофазный раствор можно будет получить при меньших объемах выделившихся газов. В качестве электролитов используют хлорид натрия, соляную кислоту и др.

При необходимости можно увеличить количество выделившегося газа вводом в биореагент газоделяющих агентов. Это позволит применять биореагент в ППФС при более высоких пластовых давлениях. В качестве газоделяющего агента используют нитриты кальция, карбонат натрия с добавкой органической кислоты в порошковом виде.

При разработке нефтяной залежи предлагаемым способом увеличивается охват и выравнивается фронт контура закачки газированного биореагента в ППФС.

Способ осуществляется следующим образом.

Выбирается участок, отвечающий критериям применимости микробиологического метода с нагнетательной и добывающими скважинами, проверяется техническое состояние нагнетательной скважины, определяется профиль приемистости, рассчитывается оптимальный объем биореагента, соответствующий выбранному объекту. Производится закачка в нагнетательную скважину биореагента. Для расчета необходимого объема воды учитывают объемы и состав выделенных из биореагентов газов, а также пластовые характеристики (температура, давление) выбранного объекта для получения закачанного биореагента в пласте в ППФС.

Пример 1. Для определения эффективности предложенного способа в лабораторных условиях проводились исследования по изучению интенсивности газогенерации на аппарате Зонгена. В колбы объемом 1000 см^3 заливались компоненты биореагента в количестве 150 см^3 каждого. В первом эксперименте заливались меласса и активный ил, во втором - молочная сыворотка и активный ил. Затем колбы аппарата плотно закрывались резиновой пробкой, через которую пропускались П-образные изогнутые стеклянные трубки, нижние концы которых достигали придонной части колбы. Другой конец трубки соединялся с градуированной колбой-приемником, в которую поступала жидкость, вытесненная из первой колбы под давлением образованной газовой фазы, скапливающейся непосредственно под резиновой пробкой. Для поддержания постоянной температуры колбы помещались в термостат. На основе объема вытесненной жидкости в колбе-приемнике определялся объем образовавшегося в результате микробиологических процессов газа. Объем образовавшегося газа также контролировался с помощью газометра. Результаты

исследований приводятся в табл. 1

Как видно из табл. 1, в обоих случаях (меласса - активный ил и молочная сыворотка - активный ил в соотношении 1:1) в течение 26 суток наблюдалось интенсивное газообразование, в первом случае составившее $30 \text{ м}^3/\text{нм}^3$, во втором - $16 \text{ м}^3/\text{нм}^3$.

Пример 2. Для изучения процесса вытеснения нефти биореагентами в предпереходном фазовом состоянии проводились исследования на экспериментальной установке.

Колонка высокого давления, представляющая собой полый стальной цилиндр, обклеенный изнутри кварцевым песком, с длиной рабочей части 1.1 м и внутренним диаметром 0.032 м, путем вертикальной вибрационной трамбовки заполнялась кварцевым песком различных фракций, средним размером $1.4 \cdot 10^{-5} \text{ м}$;

моделировался слоисто-неоднородный пласт с контактирующими пропластками, что достигалось использованием разделительной перегородки, постепенно удаляемой в процессе заполнения колонки;

после обвязки экспериментальной установки по стандартной методике определяли объем пор и абсолютную проницаемость пористой среды, которая в среднем составляла 0.02 мкм^2 ;

при непрерывном термостатировании ($T=303^\circ\text{K}$) производилось вакуумирование установки;

модель пласта насыщалась моделью нефти (трансформаторным маслом), и давление повышалось до 2 МПа;

в бомбе высокого давления готовились исследуемые газированные биореагенты.

Газированный биореагент готовился следующим образом.

Меласса - активный ил (в соотношении 1:1) смешивалась в различных экспериментах с водой или полимерным раствором (0.02% водный раствор ПАА) в соотношении, определяемом формулой (3). При этом, в указанных термобарических условиях ($T=303^\circ\text{K}$, $P=2 \text{ МПа}$) в течении семи суток мы получаем однофазный газированный раствор (см. табл. 1, 2 и формулу 3). Действительно согласно табл. 1 из биореагента меласса - активный ил через семь суток выделяется $12.66 \text{ нм}^3/\text{м}^3$, а согласно табл. 2 при указанных термобарических условиях растворимость газа составляет $8.14 \text{ нм}^3/\text{м}^3$, $\alpha=4.08 \text{ нм}^3/\text{м}^3 \text{ МПа}$. Учיתי-

вая, что согласно (2) максимальный эффект ППФС наступает при P_c $\frac{P}{P_c}=1.3$ принимаем условие (2) в форме $G=\frac{\alpha}{1.3}=3.14 \text{ нм}^3/\text{м}^3 \text{ МПа}$. Тогда при давлении 2 МПа в 1 м^3 жидкости требуется растворять 6.16 нм^3 выделившейся газовой смеси.

Для получения необходимого раствора биореагент (меласса - активный ил) следует смешивать с водой или полимерным раствором в соотношении 1:1. Биореагент, приготовленный описанным способом, выдерживался в бомбе PVT в течение 7 суток при давлении 2 МПа и температуре 303 К;

производилось вытеснение нефти при перепаде давления 0.1 МПа до полного обводнения модели пласта;

результаты оформлялись в виде зависимости коэффициента вытеснения от безразмерного объема прокачки.

Вытеснение модели нефти осуществляли водогазовой смесью в ППФС (по прототипу), газированным биореагентом и газированным биополимерным реагентом.

На чертеже. показана зависимость коэффициента вытеснения (η) от относительного порового объема прокачки (V): 1 - водогазовая смесь; 2 -газированный биореагент; 3 - газированный биополимерный реагент.

Сопоставляя результаты экспериментов, можно отметить заметное повышение безводного и конечного коэффициентов вытеснения при применении газированного биореагента по сравнению с водогазовой смесью. При закачке газированного биореагента в ППФС конечный коэффициент вытеснения на 16% выше, чем при закачке водогазовой смеси в ППФС (по прототипу). Вместе с тем наблюдается существенное сокращения объема прокачиваемого биореагента в ППФС до полного обводнения продукции.

При вытеснении биополимерным реагентом (при псевдопластичной реологии) эффективность значительно выше, чем при вытеснении газированным биореагентом. При применении газированного биополимерного реагента наблюдается увеличение безводного и конечного коэффициентов вытеснения на 20 и 30% по сравнению с газированным биореагентом при существенном сокращении относительного порового объема прокачки.

В исследованиях с добавкой электролитов (при высоких значениях газовыделения из системы) и газовыделяющих агентов (при низких значениях газовыделения из системы) кривые зависимости коэффициента вытеснения от объема прокачки будут соответствовать кривой зависимости при закачке газированного биореагента в ППФС.

Таблица 1

Меласса + активный ил		Молочная сыворотка + активный ил	
Время, сут	Количество образованного газа, $\text{нм}^3/\text{м}^3$	Время, сут	Количество образованного газа, $\text{нм}^3/\text{м}^3$
2	4.86	2	1.31
3	6.37	3	2.01
4	8.07	4	2.59
6	10.44	6	3.97
7	12.66	7	5.02
8	13.70	8	5.73
9	14.50	9	7.08
10	16.06	10	8.09
11	16.68	11	9.13
12	17.99	12	10.10
13	18.99	13	11.10
14	20.70	14	12.11
15	22.01	15	12.63
16	24.07	16	13.11
17	25.42	17	13.63
18	26.03	18	14.15
19	26.93	19	14.77
20	28.03	20	15.29
26	30.00	26	16.13

Таблица 2

Давление, МПа	Растворимость газа (нм^3) в 1 м^3 воды, $\text{нм}^3/\text{м}^3$							
	t = 0 °C	t = 10 °C	t = 20 °C	t = 30 °C	t = 40 °C	t = 50 °C	t = 60 °C	t = 70 °C
0.1	1.03	0.726	0.531	0.4202	0.3363	0.284	0.241	0.211
1	10.31	7.24	5.33	4.11	3.29	2.75	2.35	2.08
2	20.62	14.45	10.65	8.14	6.6	5.48	4.7	4.16
3	30.94	21.68	15.99	12.33	9.89	8.23	7.06	6.23
4	41.26	28.92	21.32	16.44	13.19	10.96	9.41	8.3
5	51.57	36.15	26.64	20.54	16.48	13.7	11.76	10.39
6	61.89	43.37	31.97	24.65	19.78	16.44	14.11	12.46
7	72.2	50.6	37.3	28.77	23.08	19.19	16.46	14.54
8	82.52	57.84	42.63	32.88	26.37	21.92	18.81	16.61
9	92.83	65.06	47.96	36.98	29.67	24.67	21.16	18.69
10	103.14	72.28	53.29	41.09	32.97	27.4	23.51	20.76
11	113.47	79.52	58.61	45.2	36.25	30.14	25.87	22.85
12	123.78	86.76	63.95	49.32	39.56	32.88	28.22	24.92
13	134.09	93.97	69.28	53.42	42.85	35.63	30.57	26.99
14	144.41	101.2	74.6	57.51	46.15	38.37	32.92	29.06
15	154.72	108.44	79.93	61.62	49.45	41.11	35.27	31.14

Литература.

1. І 2000 0028, E21B43/22, 2000
2. А.с. СССР № 1623285, E21B 43/24, 1988.
3. А.с. СССР № 1822219, E21B 43/22, 43/20, 1998.
4. Намиот А.Ю. Растворимость газов в воде. Справочное пособие.-М.:Недра, 167 с., 1991.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ разработки нефтяной залежи, включающий закачку смеси воды и реагента в предпереходном фазовом состоянии и вытеснение ею нефти из пласта, отличающийся тем, что в качестве реагента в смеси реагента и воды в предпереходном фазовом состоянии используют самогазирующийся биореагент, содержащий источники микроорганизмов и питательную среду при объемном соотношении компонентов самогазирующегося биореагента 1:1, а необходимый объем воды с учетом количества выделяемого биогаза и его растворимости при заданной температуре и давлении в пласте определяют по формуле

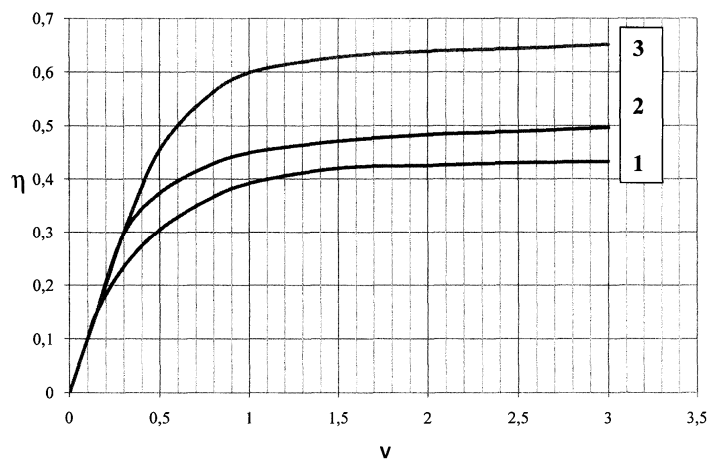
$$V_{\text{в}} = (1 - \frac{I}{Q})$$

где Γ - количество газа, растворенного в 1 м^3 самогазирующегося биореагента, $\text{нм}^3/\text{м}^3$, Q - объем выделившегося из 1 м^3 самогазирующегося биореагента газа.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующий биореагент дополнительно вводят водорастворимый полимер.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующий биореагент дополнительно вводят электролит.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед закачкой смеси воды и самогазирующегося биореагента в предпереходном фазовом состоянии в самогазирующий биореагент дополнительно вводят газовыделяющий агент.



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2