



(51) МПК
E21B 43/26 (2006.01)
E21B 43/24 (2006.01)
C09K 8/62 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

E21B 43/26 (2006.01); *E21B 43/24* (2006.01); *C09K 8/62* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016118764, 17.10.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.10.2014

Дата регистрации:
05.02.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
17.10.2013 US 61/892,222

(43) Дата публикации заявки: 22.11.2017 Бюл. № 33

(45) Опубликовано: 05.02.2019 Бюл. № 4

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 17.05.2016

(86) Заявка РСТ:
US 2014/061265 (17.10.2014)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2015/058164 (23.04.2015)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

**КРУМРАЙН Пол Х. (US),
 ЛЕФЕНФЕЛЬД Майкл (US),
 РОМНИ Грегори Артур (US),
 ИМРАН Мухаммад (СА),
 КНОРР Келвин Дин (СА)**

(73) Патентообладатель(и):

СИГНА КЕМИСТРИ, ИНК. (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: WO 2012/174255 A1, 20.12.2012. СА 2761048 A1, 29.03.2012. US 7811541 B2, 12.10.2010. RU 2346971 C2, 20.02.2009.

(54) **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛИЦИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В РАБОТАХ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ НЕФТИ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ CHOPS**

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к нефтедобыче. Технический результат - повышение нефтеотдачи из нефтеносных пластов после применения технологии холодной добычи тяжелой нефти с песком. Способ стимулирования извлечения нефти из рыхлой нефтеносной песчаной матрицы после применения технологии холодной добычи тяжелой нефти с песком (CHOPS) в нефтеносном пласте включает: промывку ствола скважины в рыхлой нефтеносной песчаной матрице после

применения технологии CHOPS в нефтеносном пласте, имеющем по меньшей мере одну червоточину, для вытеснения воды из скважины и призабойной зоны; нагнетание силицида щелочного металла по меньшей мере в одну червоточину в рыхлой нефтеносной песчаной матрице в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS; нагнетание воды или спирта по меньшей мере в одну червоточину для реагирования с нагнетаемым силицидом

щелочного металла для стимулирования течения нефти внутри рыхлой нефтеносной песчаной матрицы в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS; извлечение песка и нефти из

рыхлой нефтеносной песчаной матрицы нефтеносного пласта после применения технологии CHOPS. 3 н. и 19 з.п. ф-лы, 12 ил., 2 табл.

RU 2679027 C2

RU 2679027 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
E21B 43/26 (2006.01)
E21B 43/24 (2006.01)
C09K 8/62 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

E21B 43/26 (2006.01); E21B 43/24 (2006.01); C09K 8/62 (2006.01)(21)(22) Application: **2016118764, 17.10.2014**(24) Effective date for property rights:
17.10.2014Registration date:
05.02.2019

Priority:

(30) Convention priority:
17.10.2013 US 61/892,222(43) Application published: **22.11.2017 Bull. № 33**(45) Date of publication: **05.02.2019 Bull. № 4**(85) Commencement of national phase: **17.05.2016**(86) PCT application:
US 2014/061265 (17.10.2014)(87) PCT publication:
WO 2015/058164 (23.04.2015)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B.Spaskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i
Partnery"**

(72) Inventor(s):

**KRUMRAJN Pol KH. (US),
LEFENFELD Majkl (US),
ROMNI Gregori Artur (US),
IMRAN Mukhammad (CA),
KNORR Kelvin Din (CA)**

(73) Proprietor(s):

SIGNA KEMISTRI, INK. (US)(54) **USE OF ALKALI METAL SILICIDES IN POST-CHOPS OILFIELD RECOVERY OPERATIONS**

(57) Abstract:

FIELD: oil and gas industry.

SUBSTANCE: group of inventions relates to oil production. Method for stimulating enhanced oil recovery from a post-cold heavy oil production with sand (CHOPS) oil-bearing formation includes: flushing a wellbore in a post-CHOP oil-bearing formation having at least one wormhole to expel water from the wellbore and near wellbore region; injecting alkali metal silicide in at least one wormhole in the post-CHOPS oil-bearing

formation; injecting water or alcohol into at least one wormhole to respond with injectable alkali metal silicide to stimulate the flow of oil inside the post-CHOPS oil-bearing formation; extraction of sand and oil from the post-CHOPS oil-bearing formation.

EFFECT: stimulating enhanced oil recovery from a post-cold heavy oil production with sand oil-bearing formation.

22 cl, 12 dwg, 2 tbl

RU 2 679 027 C2

RU 2 679 027 C2

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННУЮ ЗАЯВКУ

[0001] Настоящая заявка претендует на приоритет согласно предварительной заявке на патент США No. 61/892,222, поданной 17 октября 2013 года, полное содержание которой включено в объем данной заявки путем ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее изобретение относится к системам на основе силицидов щелочных металлов и методам улучшения извлечения и увеличения количества сырой нефти, которая может быть получена из нефтеносного пласта после применения технологии CHOPS (холодная добыча тяжелой нефти с песком).

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ В НЕФТЯНОМ ПРОМЫСЛЕ

[0003] В залежах углеводородов, таких как коллекторы, содержащие тяжелую нефть и битум, значительная часть углеводородного ресурса не может быть извлечена с помощью существующих методов, включая первичную добычу и вторичные методы заводнения. Существующие методы извлечения нефти открывают доступ лишь к небольшой части известных запасов тяжелой нефти, в то время как остальная часть нефти остается связанной под землей. Это особенно справедливо для более тяжелой нефти и битумов в категории от 10 до 22 градусов API (плотность нефти в градусах Американского института нефти), для которых вязкость залежей углеводородов может варьироваться до нескольких десятков Па·с или больше. В частности, такую более тяжелую нефть трудно переместить из пористой матрицы (пласт) в направлении добывающей скважины при помощи жидкостей на водной основе из-за вязкостного языкообразования (нестабильная граница раздела фаз жидкостей) и неблагоприятного соотношения подвижности, делающего простое заводнение нежизнеспособным вариантом.

[0004] Технология холодной добычи тяжелой нефти с песком (CHOPS) использовалась для извлечения тяжелой нефти из относительно тонких рыхлых нефтяных песков. Технология CHOPS представляет собой нетермический процесс, при котором и песок, и нефть добываются одновременно в первичных условиях. Увеличение добычи песка также приводит к более высокому уровню добычи нефти. Как правило, коэффициент извлечения нефти с использованием технологии CHOPS составляет лишь от 5 до 15% от исходного геологического запаса нефти, в результате чего значительные геологические запасы и основная часть коллектора остаются не добытыми. В результате добычи песка из этих коллекторов и пластов в нефтяных пластах, из которых происходит добыча, образуются пути с чрезвычайно высокой проницаемостью ("червоточины"). В то время как во многих случаях было показано, что эти червоточины представляют собой открытые каналы до нескольких сантиметров в диаметре, которые могут уходить на сотни метров внутрь пласта, в других случаях червоточины после прекращения первичной добычи нефти могут заполниться, схлопнуться и/или перерасти в сеть открытых каналов и разрушенных участков с высокой пористостью и проницаемостью. Червоточины могут быть динамическим явлением. При продолжении добычи песка червоточины все более увеличиваются и удлиняются, проникая глубже в коллектор. Следовательно, наличие червоточин в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS делает применение большинства последующих методов повышения нефтеотдачи технически сложным, с высокой степенью риска, неэкономичным или даже невозможным.

[0005] После проведения первичной добычи с использованием технологии CHOPS дополнительное заводнение или другие вторичные методы часто оказываются

неэффективными, так как вода или другие жидкости и газы легко обходят тяжелую нефть, так как они проходят через пути червоточин в нефтеносный пласт после применения технологии CHOPS. Затем при заводнении нагнетенные жидкости быстро прорывают пласт из-за неблагоприятного контраста подвижности между водой и

5 тяжелой нефтью.

[0006] Многие методы были предложены и апробированы для повышения эффективности извлечения нефти, но большие объемы углеводородов остаются в богатых нефтью пластах даже после попыток вторичного извлечения нефти. Одним из факторов, вызывающих удерживание углеводородов в пластах, является невозможность

10 направить достаточное давление на капли углеводородов, находящиеся в пространстве пор матрицы нефтяного пласта для продвижения потока к добывающей скважине. Тем не менее, все большее значение нефти и увеличение спроса создало большую потребность в способах повышения нефтеотдачи для возрождения старых скважин, в том числе тех, которые были заброшены из-за высокого соотношения воды к объем общей добытой

15 нефти (обводненность).

[0007] Повышение нефтеотдачи стимулирует поток ранее связанной нефти путем эффективного увеличения относительной проницаемости нефти внедренной в пласт и за счет снижения вязкости и поверхностного натяжения нефти. Многочисленные технологии повышения нефтеотдачи в настоящее время практикуется в этой области,

20 включая те, которые привлекают термодинамические, химические и механические процессы. Нагрев нефти паром часто снижает вязкость заблокированной нефти при условии, что есть свободный доступ к энергии пара и можно управлять тепловыми потерями. В технологии CHOPS пар неэффективен в виду того, что нефтяная зона являются относительно тонкой и теплопередача слишком затруднена.

[0008] Были исследованы различные методы ПНО (повышения нефтеотдачи) для улучшения извлечения нефти после первичной добычи с применением технологии CHOPS. Были осуществлены попытки использования скважинных парогенераторов для применения нагрева при добыче нефти после применения технологии CHOPS в

25 случае заводнения для снижения вязкости сырой нефти и улучшения потока таким образом, чтобы тяжелая нефть могла быть перемещена к (второй) отводной скважине. Для нагрева пласта и снижения вязкости для повышения подвижности тяжелой нефти были использованы микроволновые устройства в горизонтальных скважинах CHOPS. Кроме того, были также использованы микробиологические методы для создания биогаза, метана или CO₂ для восстановления давления в части скважины после

35 применения технологии CHOPS и, следовательно, растворения газов в тяжелой сырой нефти для снижения вязкости и придания движущей силы для добычи нефти. Методы ПНО нагнетания растворителя и растворителя-пара также были использованы для восстановления давления в коллекторах после применения технологии CHOPS, снижения вязкости, улучшения вытеснения и извлечения. Однако, ни один из этих методов не

40 обеспечивает универсальное экономичное решение и не получил широко распространенного применения. Необходимы другие методы для их добавления в набор инструментов для извлечения нефти. Следовательно, существует потребность в эффективном способе извлечения нефти из нефтеносных пластов после применения технологии CHOPS.

45 СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0009] Настоящее изобретение относится к способу стимулирования дополнительного извлечения нефти из скважины в нефтеносном пласте после применения технологии холодной добычи тяжелой нефти с песком (CHOPS). Способ необязательно включает

в себя промывание ствола скважины в нефтеносном пласте после применения технологии СНОРС, имеющем по меньшей мере одну червоточину, для вытеснения воды из ствола скважины; затем нагнетание силицида щелочного металла в нефтеносный пласт после применения технологии СНОРС через ствол скважины для введения силицида щелочного металла в по меньшей мере одну червоточину в нефтеносном пласте после применения технологии СНОРС. За стадией нагнетания следует взаимодействие введенного силицида щелочного металла с водой для стимулирования потока нефти внутри нефтеносного пласта после применения технологии СНОРС; и извлечения нефти из нефтеносного пласта после применения технологии СНОРС. В одном из вариантов осуществления стадии нагнетания и взаимодействия повторяются циклически для стимулирования потока нефти в нефтеносном пласте после применения технологии СНОРС.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[00010] На Фиг. 1 показана типичная скважина после применения технологии СНОРС с развитыми червоточинами для нагнетания дисперсии силицида щелочного металла и добычи нефти/воды/газа/песка в циклическом режиме.

[00011] Фиг. 2 представляет собой сравнительное моделирование использования силицида щелочного металла и дизельного растворителя после 30 циклов.

[00012] На Фиг. 3 показано сравнение снижения вязкости нефти для чистого дизельного топлива и раствора силицида щелочного металла в дизельном топливе.

[00013] На Фиг. 4А-4С показаны кривые добычи нефти (А), воды (В) и газа (С) в случае $7,35 \text{ м}^3/\text{цикл}/\text{скважина}$ нагнетания силицида щелочного металла.

[00014] На Фиг. 5А и 5В показаны примеры сравнения случаев силицида щелочного металла и растворителя, отображающие добычу нефти и воды.

[00015] На Фиг. 6А-6С показан пример методологии нагнетания силицида щелочного металла с использованием пароциклического стимулирования с нагнетанием и добычей нефти из одной и той же скважины.

[00016] На Фиг. 7 показаны пронумерованные слои в программе CMG Stars со схемой скважины и радиальным расположением червоточин вокруг скважин, в соответствии с фактическими эксплуатационными характеристиками месторождения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

ХОЛОДНАЯ ДОБЫЧА ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ С ПЕСКОМ (СНОРС)

[00017] Нефтяные месторождения, содержащие относительно тонкие слои тяжелой нефти в рыхлых пластах песчаника, были разработаны при первичной добыче с помощью способа, который обычно называют СНОРС, холодная добыча тяжелой нефти с песком. Тонкие углеводородсодержащие слои делают заводнение паром нежизнеспособным вариантом из-за высоких тепловых потерь на непродуктивных ограничивающих слоях сверху и снизу. Наиболее эффективно сырая нефть добывается с помощью винтовых насосов, в которых песок добывается одновременно с нефтью и газом. Через механизм режим растворенного газа/снижение давления, в некоторых случаях при содействии водоносного давящего пласта, смесь пенистой нефти, газа, воды и песка добывается до того момента как со временем добыча нефти сокращается и увеличивается добыча воды до момента, в котором становится не выгодно продолжать добычу. На данный момент скважины, как правило, замораживаются после добычи всего лишь от 5 до 15% нефти от исходного геологического запаса со средним показателем извлечения около 5%. По некоторым оценкам только в Канаде может быть до 30000 таких замороженных скважин СНОРС.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ НЕФТИ ИЗ НЕФТЕНОСНЫХ ПЛАСТОВ ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СНОРС

[00018] Настоящее изобретение относится к способу стимулирования дополнительного извлечения нефти из скважины в нефтеносном пласте после применения технологии холодной добычи тяжелой нефти с песком (СНОПС). Способ необязательно включает в себя промывку ствола скважины в нефтеносном пласте после применения технологии СНОПС, имеющем по меньшей мере одну червоточину, для вытеснения воды из ствола скважины; затем нагнетание силицида щелочного металла в нефтеносный пласт после применения технологии СНОПС через ствол скважины для введения силицида щелочного металла в по меньшей мере одну червоточину в нефтеносном пласте после применения технологии СНОПС. За стадией нагнетания следует взаимодействие введенного силицида щелочного металла с водой для стимулирования потока нефти внутри нефтеносного пласта после применения технологии СНОПС; и извлечение нефти из нефтеносного пласта после применения технологии СНОПС. Ниже описаны различные аспекты и варианты осуществления настоящего изобретения.

[00019] Добыча нефти с применением технологии СНОПС приводит к образованию червоточин в матрице рыхлого песка. Эти относительно открытые, высокопористые каналы или желоба, из которых был удален песок, в дополнение к гало разрушенного песка вокруг них, полезны при (первичной) добыче с применением технологии СНОПС для облегчения протекания смеси нефти, воды, газа и песка. Эти червоточины могут иметь диаметр 10 см и могут распространяться на сотни метров в пласт. Однако эти червоточины часто оказываются вредны для последующих вторичных или третичных методов извлечения, так как они обходят большие части залежи и приводят к раннему прорыву воды, тем самым значительно ухудшая предполагаемую последовательность заводнения для улучшения вытеснения и создания контакта с более нетронутыми областями пласта. В способах по настоящему изобретению эти же червоточины могут обеспечить высокопроницаемый путь глубоко в пласт для введения материала силицида щелочного металла, который трудно нагнетать в нетронутый пласт. Достаточные количества силицида щелочного металла могут быть введены в червоточины пластов с тяжелой нефтью и подвергнуты взаимодействию с присутствующей *in situ* водой или нагнетенными водой или спиртом. Данное взаимодействие обеспечивает дополнительную энергию и условия для проталкивания большего количества нефти к добывающей скважине.

[00020] Силициды щелочных металлов, такие, как описанные в опубликованной заявке на патент США No. 2014/0196,896 A1 (которая включена в настоящее описание путем ссылки в полном объеме), при использовании в качестве агента повышения нефтеотдачи (ПНО) обладают свойствами, которые используют преимущества химического метода, метода несмешивающегося газа, а также термического заводнения. Силициды щелочных металлов обеспечивают превосходное образование водорода и выделение тепла по сравнению с другими реагирующими с водой химическими соединениями. Силициды щелочных металлов могут быть использованы на любой глубине, так как единственным ограничивающим фактором является наличие воды. При доставке в скважину как в виде твердого вещества с временным водоотталкивающим покрытием, так и с помощью дисперсии в жидком углеводородном носителе, теплота от взаимодействия выделяется *in situ* в точке взаимодействия при контакте с водой в пласте и не теряется на поверхности или в колонне скважины во время перемещения к пласту, как в других методах ПНО. Продукты реакции в виде силикатов щелочных металлов также образуются в точке реакции, таким образом, они могут распространяться глубже в пласты с более высокой температурой для изменения смачиваемости и создания поверхностно-активных веществ для снижения межфазного

натяжения (МФН) сырой нефти перед потреблением сырой нефти. Более низкое МФН и измененная смачиваемость способствуют извлечению нефти. Продукты взаимодействия силицида щелочного металла, тепло, водород и силикат щелочного металла представляют собой подход «зеленой» химии, который может снизить воздействие на

5 окружающую среду работ по извлечению нефти.

[00021] В настоящем изобретении используется силицид щелочного металла (такой, как описанный в патенте США 7,811,541, который включен в настоящее описание путем ссылки во всей своей полноте для всех целей), который быстро производит значительные количества тепла, газообразного водорода и раствора силиката щелочного металла

10 при контакте с водой. Сочетание продуктов реакции обеспечивает значительную гибкость для улучшения процессов извлечения сырой нефти. В примерных вариантах осуществления заявленного изобретения используются силициды щелочных металлов группы щелочных металлов, состоящей из лития (Li), натрия (Na) и калия (K). Например, в способах по настоящему изобретению могут быть использованы некоторые примерные

15 составы, включая силицид щелочного металла лития ($\text{Li}_{12}\text{Si}_7$), силицид натрия (Na_4Si_4) и силицид калия (K_4Si_4) и другие. При взаимодействии с водой силицид щелочного металла выделяет силикат щелочного металла, газообразный водород и тепло. Несмотря на то, что в остальной части описания основное внимание уделяется системам и способам с использованием натриевой формы композиции на основе силицида щелочного металла

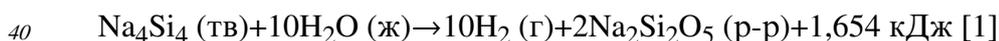
20 в качестве иллюстративных примеров, другие варианты силицидов щелочных металлов (а также другие версии силицидов металлов) также могут быть эффективно использованы в настоящем изобретении для приложений, связанных с пластами после применения технологии CHOPS и включены в объем заявленного изобретения. Смеси силицидов щелочных металлов могут быть использованы в качестве силицида щелочного металла

25 по настоящему изобретению. В состав таких смесей входят комбинации силицидов щелочных металлов, а также смешанные силициды щелочных металлов. То есть щелочной металл в силициде щелочного металла может быть одним металлом (например, Ca, Na, K) или металл может представлять собой комбинацию щелочных металлов (например, Ca и Na, Na и K, Ca, Na, и K) – силицид щелочного металла смеси

30 металлов. Могут быть использованы смеси всех таких силицидов щелочных металлов.

[00022] Силициды щелочных металлов, такие, как описанные в патенте США 7,811,541, могут быть сыпучими гранулами или порошками, которые стабильны и удобны в использовании в сухом воздухе. Силициды щелочных металлов не

35 взаимодействуют непосредственно с кислородом и не воспламеняются, но вступают в реакцию с водой из атмосферы. Как проиллюстрировано следующим химическим уравнением [1] для натриевой версии (Na_4Si_4), силициды щелочных металлов реагируют с водой с образованием газообразного водорода, соответствующего силиката щелочного металла ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$), а также большое количество тепла.



[00023] При использовании в качестве агента для повышения извлечения сырой нефти силицид щелочного металла вводят непосредственно в скважину, где он вступает во взаимодействие при контакте с водой в пространстве пор коллектора и червоточинах. При взаимодействии силицид щелочного металла быстро высвобождает газообразный

45 водород и тепло и, в конечном счете, превращается в силикат щелочного металла. Именно это сочетание продуктов взаимодействия, делает силициды щелочных металлов особенно полезными при использовании отдельно, либо в сочетании с другими традиционными методами извлечения тяжелой сырой нефти. Червоточины и

разрушенные области, образующиеся после применения технологии CHOPS, служат в качестве высокопористых высокопроницаемых открытых каналов для транспортировки силицида щелочного металла глубоко в пласт. При взаимодействии силицида щелочного металла червоточины стимулируются, так как газообразный водород давит на червоточины и разрушенные области, тепло снижает вязкость нефти, и силикатные побочные продукты уменьшают межфазное натяжение (МФН).

[00024] Взаимодействие силицида щелочного металла протекает быстро при любой температуре или давлении и не требует катализатора. Выделяемое тепло и водород обеспечивают энергию и давление для эффективного перемещения более тяжелой сырой нефти. Исследования реакционной способности показали, что силицид щелочного металла образует наибольшее количество водорода в расчете на моль вещества и имеет самую быструю скорость реакции по сравнению с другими образующими водород химическими соединениями, такими как металлический натрий в воде, металлический алюминий в едком натре (щелочи) или металлический кремний в едком натре (щелочи), выделяя водород со скоростью до 1,49 л/мин/см². Скорость реакции зависит от площади поверхности силицида щелочного металла, которая находится в контакте с водой, поэтому мелкодисперсные порошки с более высокими площадями поверхности реагируют быстрее всего.

[00025] В одном из вариантов осуществления заявленного изобретения силицид натрия может быть использован в качестве силицида щелочного металла. Силицид натрия используется в примерах, приведенных в данном описании, хотя с высокой эффективностью могут быть использованы и другие силициды щелочных металлов. В частности, может рассматриваться силицид щелочного металла калия, если в нефтяном пласте присутствуют набухающие глины группы смектита, такие как монтмориллонит и иллит. Ион натрия имеет тенденцию к набуханию этих глин, в то время как ион калия имеет меньшую склонность к набуханию и, таким образом, может лучше сохранить проницаемость и нагнетаемость/производительность коллектора. Выбор конкретного силицида щелочного металла может быть определен на основе стоимости, применения, экологических проблем и тому подобного.

ВЛИЯНИЕ СИЛИКАТА ЩЕЛОЧНОГО МЕТАЛЛА

[00026] Одним из побочных продуктов реакции силицида щелочного металла является полученный силикат соответствующего щелочного металла. Силикат щелочного металла повышает нефтеотдачу за счет взаимодействия с природными кислотами сырой нефти с получением поверхностно-активных веществ, которые снижают межфазное натяжение (МФН), изменяют смачиваемость (например, способствуют смачиванию поверхностей водой для высвобождения нефти), помогают контролировать подвижность, а также повышают эффективность вытеснения в нефтяном пласте. Силицид щелочного металла, который преобразуется в силикат обеспечивает достаточную щелочность для омыления кислот сырой нефти (как правило, pH > 10,5), в то же время сводя к минимуму побочные реакции в коллекторе, которые могут истощить щелочность и деактивировать поверхностно-активные вещества. Эти образуемые поверхностно-активные вещества уменьшают межфазное натяжение (МФН) на границе раздела нефть/вода, что позволяет каплям сырой нефти легче деформироваться и проходить через узкие каналы пор и червоточины к эксплуатационной скважине.

[00027] Силикаты, полученные при взаимодействии силицидов щелочных металлов, в отличие от других химических соединений, обычно используемых в ПНО, таких как гидроксид натрия, ортосиликат натрия, карбонат натрия и тому подобные, также обеспечивают некоторую степень модификации профиля, улучшение вытеснения и

благоприятные характеристики смачиваемости, все это способствует эффективному высвобождению сырой нефти с поверхности песка и перемещению по направлению к точке сбора. Силикаты представляют собой спектр соединений от силикатов с большим содержанием щелочного металла до очень кремнистых. Как правило, силикаты с более

 5 низким соотношением с большим содержанием щелочного металла, такие как ортосиликат ($2\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$), использовались для приложений щелочного заводнения. Силикаты, образующиеся при взаимодействии силицида щелочного металла заявленного

 изобретения, не закупоривают червоточины в пластах после применения технологии CHOPS. Точно так же, при наличии значительной твердости или присутствии в пластовом

 10 рассоле или намеренно введенных поливалентных катионов, как при контролирующем подвижность щелочном заводнении, силикатные побочные продукты могут вступать в реакцию с этими ионами с образованием осадков, которые могут накапливаться в узлах пор тем самым блокируя поточные каналы при более низких концентрациях и

 приводить к более постепенному выравниванию профиля приемистости и утечки

 15 жидкости для уменьшения языкообразования. Эти реакции могут привести к постепенной модификации профиля и уменьшению вязкостного языкообразования в коллекторах тяжелой сырой нефти и обеспечить улучшение извлечения нефти. Конкретный силикатный побочный продукт, образующийся из силицида щелочного металла,

 представляет собой промежуточный продукт с мольным соотношением диоксида

 20 кремния к щелочному металлу ($\text{Na}_2\text{O}:2\text{SiO}_2$), обеспечивающим достаточную щелочность для реакции с кислотами сырой нефти, в то же время обеспечивающим степень отвода потока и улучшение очищения через управление профилем.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА

[00028] Водород, выделяющийся в результате реакции силицида щелочного металла

 25 представляет собой нетоксичный газ и, при желании, может быть сожжен в месторождении в качестве источника топлива или взорван. В пласте после применения технологии CHOPS водород минимально растворим (~ в 25 раз менее растворим, чем CO_2 , по коэффициентам Оствальда) в сырой нефти, но способствует снижению вязкости.

 30 В качестве примера, растворимость H_2 в вакуумном мазуте из Атабаски находится в пределах от 0,021 моль $\text{H}_2/\text{кг}$ жидкости/МПа при 130°C до 0,034 моль $\text{H}_2/\text{кг}$ жидкости/МПа при 186°C . В воде или рассоле растворимость водорода в зависимости от температуры и давления также низка и имеет значение, равное 0,0016 г $\text{H}_2/\text{кг}$ воды при

 20 $^\circ\text{C}$ и 1 атм. В результате, большая часть водорода, образовавшегося при

 35 осуществлении способа по настоящему изобретению остается несмешивающейся газовой фазой. Быстрое выделение водорода, наряду с воздействием силикатов, обсужденном выше, способствует образованию пенной фазы вязкой нефти, которая эффективно вытесняет сырую нефть за счет повышения давления в порах, восстанавливает поток нефти в пласте после применения технологии CHOPS и направляет сырую нефть к точке

 40 сбора. Кроме того, водород может быть использован для взаимодействия с и уменьшения поверхности песка в пласте для изменения характеристик смачиваемости в сторону большего смачивания водой, проталкивая захваченную нефть в более подвижную фазу.

[00029] Было обнаружено, что силицид щелочного металла создает давление водорода в условиях ограниченного пространства, превышающее 69 МПа, поэтому скорость

 45 реакции ограничивается только наличием воды. Поскольку 1 моль силицида щелочного металла образует 10 молей газообразного водорода, относительно небольшая, но концентрированная, порция введенного силицида щелочного металла может создать значительный объем газа для обеспечения энергии смещения и давления.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛА

[00030] Взаимодействие силицида щелочного металла также выделяет большое количество тепла, которое помогает понизить вязкость нефти в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS. Как известно специалистам в данной области техники, вязкость нефти уменьшается почти логарифмическим образом в зависимости от температуры и зависит от плотности в градусах API и других факторов. Именно поэтому нагнетание пара и другие тепловые методы часто эффективны в процессах ПНО, за исключением нефтеносных пластов после применения технологии CHOPS. В то время как применение пара для извлечения низкосортной тяжелой нефти обычно включает сжигание природного газа или других углеводородов с высокой добавленной стоимостью для образования пара, который вносит свой вклад в выбросы парниковых газов, тепло и водород, образующиеся в результате реакций силицидов щелочных металлов по заявленному изобретению не требуют сжигания и не вносят вклад в выбросы парниковых газов вообще. Реакции силицидов щелочных металлов по заявленному изобретению используют гораздо более экологически чистые методы для образования тепла в скважине. Паровые методы ограничены глубиной коллектора и давлением в результате отсутствия границ раздела фаз за критической точкой воды. В результате, паровые методы часто ограничены глубиной менее 1524 метров. Кроме того, в то время как заводнение паром обычно ограничивается применением для относительно толстых пластов: более 15 м, для сведения к минимуму потери тепла в покрывающих и нижележащих горных породах, способы по настоящему изобретению, для сравнения, позволяют извлекать нефть из пластов после применения технологии CHOPS любой толщины.

[00031] Несмотря на то, что количество тепла, выделяемое при взаимодействии силицидов щелочных металлов (при иллюстративных скоростях применения) намного меньше, чем используемое в обычном паровом заводнении, тепло генерируется in situ внутри червоточины в пласте после применения технологии CHOPS, поэтому отсутствуют потери на поверхности или в колонне скважины при перемещении к нефтяному пласту. Все тепло от силицида щелочного металла высвобождается в местах прохождения реакции, внутри червоточин и пор пласта при контакте с водой. Это тепло в сочетании с давлением газа и щелочным металлом смещает связанную нефть из червоточин и пор и позволяет ей свободно течь. Если требуется дополнительное тепло, тепловые эффекты могут быть увеличены почти в три раза (3) при совместном нагнетании кислорода и самовоспламенении водорода и его горении. При осуществлении настоящего изобретения подобным образом дополнительные тепловые эффекты еще более снижают вязкость и могут выступать в качестве основного механизма извлечения для мобилизации нефти.

[00032] Кроме того, в результате образования тепла и водорода может происходить некоторое обогащение сырой нефти за счет реакций гидрования/крекинга. Гидрокрекинг происходит при температуре от 500 до 800°F (от 260 до 425°C) и давлении от 5,5-17,2 МПа или выше. Этот дополнительный механизм еще более снижает вязкость сырой тяжелой и может расценен в контексте того, что происходит на микроуровне внутри поры в присутствии глинистых минералов, действующих в качестве природных катализаторов.

СПОСОБЫ ДОСТАВКИ СИЛИЦИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПЛАСТ ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ CHOPS

[00033] Сочетание химического, термического механизмов и механизма несмешивающихся газов при использовании одного химического соединения позволяет

силицидам щелочных металлов в соответствии со способами по настоящему изобретению использоваться для повышения нефтеотдачи (ПНО) в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS для разных типов сырой нефти от умеренного до очень тяжелого (например, с плотностью в градусах API от 22 вплоть до 10 или от 1 до 100 Па·с). Более тяжелые, более вязкие типы сырой нефти, которые имеют высокое содержание природных кислот (Общее кислотное число (ОКЧ)) могут получить максимальную выгоду от применения тепла и щелочных металлов. В таких ситуациях благоприятно применение метода силицидов щелочных металлов в соответствии с настоящим изобретением, так как силицид щелочного металла нагнетают в червоточины пластов с тяжелой нефтью, которые подвергаются или уже подверглись первичной добыче с применением технологии CHOPS ("после применения технологии-CHOPS"). Зачастую процесс нагнетания силицида щелочного металла будет проводиться в скважине после завершения первичной добычи с применением технологии CHOPS. В качестве альтернативы, нагнетание силицида щелочного металла после применения технологии CHOPS может быть произведено во время первичной добычи с применением технологии CHOPS (то есть, после того, как первичная добыча по технологии CHOPS началась, но до достижения ее экономического конца), когда значительное количество песка было добыто, и была образована сеть червоточин. Одним из показателей существования сети червоточин является измерение общей добычи песка из скважины.

[00034] Наличие червоточин позволяет нагнетать достаточное количество силицида щелочного металла глубоко в пласт с тяжелой нефтью таким образом, что он сконцентрирован вокруг ствола скважины, но распространяется по всему пласту. Червоточины позволяют выделяемому теплу и водороду контактировать с тяжелой нефтью на большой площади поверхности, создаваемой червоточинами. Тепло и газ, образующиеся внутри червоточины в пласте обеспечивают дополнительную энергию для проталкивания большего количества нефти к добывающей скважине.

[00035] До начала нагнетания силицида щелочного металла в нефтеносный пласт после применения технологии CHOPS в соответствии с настоящим изобретением, коллекторы внутри пласта после применения технологии CHOPS могут быть кондиционированы углеводородами или другой обезвоживающей предварительной промывкой для вытеснения воды из ствола скважины, призабойной зоны и/или червоточин. Это предварительное кондиционирование также может усилить образование или схлопывание червоточин для увеличения проникновения силицида щелочного металла и способствования более высокому уровню добычи нефти и/или песка. Реакционные жидкости, такие как сильные основания или сильные кислоты и разбавители или растворители, такие как CO₂ могут быть введены для ослабления или разрушения сил когезии в пласте, для лучшего создания червоточин и таким образом стимулирования добычи нефти. До или после нагнетания силицида щелочного металла в соответствии с настоящим изобретением в коллекторе может также быть восстановлено давление с помощью операций, известных в данной области техники, таких как введение углеводородов или газа.

[00036] Силицид натрия представляет собой твердое вещество с плотностью 1,7 г/см³ и твердостью по Моосу приблизительно 3,5. Поэтому для нагнетания и доставки силицида щелочного металла в пласт коллектора его уменьшают в размере до той степени, чтобы он смог проникнуть в пористую среду. Силицид щелочного металла можно нагнетать в нефтеносный пласт после применения технологии CHOPS в виде порошка с покрытием или взвешенном в жидкости-носителе виде. Такие композиции на основе щелочных металлов описаны в опубликованной заявке на патент США No.

2014/0196896 A1. В одном из вариантов осуществления силицид щелочного металла, введенный в соответствии с настоящим изобретением, диспергируют и/или суспендируют в подходящей неводной среде с образованием дисперсии силицида щелочного металла. Силициды щелочных металлов могут быть легко измельчены влажным или сухим способом до субмикронных размеров с помощью механических средств. Многие недорогие неактивные углеводороды могут быть использованы в качестве жидкостиносителя, в том числе, но не ограничиваясь ими, минеральное масло, керосин, дизельное топливо и лигроин. Среда для облегчения природной сырой нефти также может быть использована для снижения затрат после ее обезвоживания. Такие углеводородные жидкостиносители вторично действуют в качестве разбавляющих растворителей для дальнейшего снижения вязкости тяжелой сырой нефти в пласте. Подходящие дисперсии с содержанием твердого вещества до 80% были подготовлены в парафиновом минеральном масле, керосине, дизельном топливе и легкой сырой нефти. Какие-либо короткоцепные спирты не приемлемы в качестве жидкостиносителя, так как концевые -ОН группы могут быть отщеплены силицидом щелочного металла подобно воде, хотя и с меньшей скоростью по сравнению с водой. Для обеспечения стабильности суспензии может быть добавлено небольшое количество неионогенного поверхностно-активного вещества или углеводородного растворимого полимера для снижения тенденции к оседанию и для облегчения повторного диспергирования. Кроме того, могут быть добавлены загустители, такие как коллоидный диоксид кремния для увеличения вязкости состава для замедления осаждения. Затем такие добавки могут способствовать снижению межфазное натяжение (МФН) и улучшению подвижности в пласте.

[00037] В одном варианте осуществления для использования в способе по настоящему изобретению силицид щелочного металла в масляной дисперсии получают в дизельном топливе с максимальным размером частиц примерно от 20 до 25 микрон. Значительная доля частиц имеет субмикронный размер. Для приготовления этой дисперсии слитки силицида натрия, Na_4Si_4 , дробят сухим способом, а затем размалывают мокрым способом для достижения конечной дисперсии частиц по размерам с использованием методов размалывания, известных в данной области техники. Эта дисперсия далее может быть разбавлена дополнительным количеством дизельного топлива и либо неионогенным поверхностно-активным веществом, либо модификатором вязкости для снижения тенденции к оседанию и облегчения повторного диспергирования. Могут быть использованы неионогенные поверхностно-активные вещества и модификаторы вязкости, известные в данной области техники, но они должны быть совместимы с силицидами щелочных металлов. Другие параметры, известные в данной области техники, выбора конкретного неионогенного поверхностно-активного вещества или модификатора вязкости включают в себя растворимость в диспергаторе, точку плавления, значение ГЛБ и т.д.

[00038] В окружении коллектора целью часто становятся пласты с более высокой проницаемостью (>1 Дарси), такие как рыхлые пески или карбонатные пласты с трещинами, обладающие пустотами и каналами с высокой проницаемостью. Это позволяет нагнетать твердую дисперсию без заметного закупоривания поверхности. Пласты с проницаемостью менее одного Дарси могут образовывать преграду к поверхности на границе раздела скважины, так как твердый материал закрывает поры, если размер частиц силицида щелочного металла слишком большой, и отложения вызывают снижение нагнетаемости со временем. Червоточины, остающиеся после добычи с применением технологии CHOPS, обеспечивают желаемый путь для введения дисперсии силицида щелочного металла глубоко в пласт и не требуют узкого

распределения размеров частиц. Единственным ограничением количества силицида щелочного металла в дисперсии является способность дисперсии быть введенной в нефтеносный пласт после применения технологии CHOPS. Вообще говоря, могут быть использованы дисперсии силицида щелочного металла с концентрацией от около 15 до
5 около 80% масс. В других вариантах осуществления могут быть использованы дисперсии с концентрацией 20-50% масс или дисперсии с концентрациями 25% масс, 30% масс, 35% масс или 40% масс.

ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛИЦИДА ЩЕЛОЧНОГО МЕТАЛЛА

[00039] Для того, чтобы избежать преждевременного взаимодействия до нагнетания
10 силицида щелочного металла в нефтеносный пласт после применения технологии CHOPS в соответствии со способом по настоящему изобретению, сперва промывают ствол скважины и, возможно, также промывают призабойную зону для вытеснения воду из ствола скважины и призабойной зоны. Это может быть достигнуто за счет циркуляции либо углеводорода без силицида или газа вниз по колонне и обратно через кольцевое
15 пространство внутри обсадной трубы, или циркуляции вниз по кольцевому пространству и обратно через колонну, или в другом варианте за счет нагнетания вниз по кольцевому пространству или колонне в червоточины и коллектор для удаления любых жидкостей, содержащих присутствующую воду или вещества, реагирующие с водой. Нет
необходимости вытеснять всю воду из скважины или призабойной зоны, но
20 предпочтительно, чтобы значительное количество силицида щелочного металла не реагировало в стволе скважины или призабойной зоне во время стадии нагнетания. Промывка ствола скважины может быть частью предварительной промывки пласта после применения технологии CHOPS для усиления образования червоточин для
увеличения добычи нефти, как обсуждалось выше.

[00040] Когда большая часть взаимодействия силицида щелочного металла
25 откладывается для прохождения глубоко внутри добываемого пласта, где он вступает в непосредственный контакт с водой и присутствующей сырой нефтью, добыча нефти является максимальной. Для того, чтобы повлиять на сохранную доставку силицида щелочного металла, вводимая порция силицида щелочного металла может быть
30 приготовлена в соответствии с заявленным изобретением. Как обсуждалось выше, вводимая порция силицида щелочного металла может включать в себя порошок с покрытием, носитель для таких порошков или в одном из вариантов осуществления дисперсию силицида щелочного металла, например, порошок силицида щелочного металла, диспергированный в углеводородной жидкости-носителе. Силициды щелочных
35 металлов могут быть доставлены несколькими способами. Они могут быть введены в режиме заводнения с помощью выделенных нагнетательных скважин и добывающих скважин в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS, в которых силицид щелочного металла контактирует с водой и нефтью в матрице коллекторов, таких как консолидированные коллекторы. Чаще всего в пласты после применения технологии
40 CHOPS силицид щелочного металла может быть нагнетен циклическим образом, таким как пароциклический способ, в ствол скважины добывающих скважин, с короткими периодами нагнетания, за которыми следуют короткое смачивание и продолжительные периоды добычи, в которые силицид щелочного металла контактирует с водой и нефтью либо в матрице коллектора, либо в червоточинах рыхлого пласта коллектора.

[00041] После нагнетания силицида щелочного металла в нефтеносный пласт после
45 применения технологии CHOPS, силицид щелочного металла может реагировать с, например, присутствующей *in situ* водой в пласте и/или червоточинах, или с введенными водой или спиртом. Могут быть использованы другие жидкие реагенты/композиции,

способные вступать в реакцию с силицидом щелочного металла. Вводимые вода или спирт могут подаваться из той же или другой скважины, что и силицид щелочного металла. Реагируя силицид щелочного металла стимулирует добычу нефти за счет по меньшей мере одной из следующих причин: увеличение давления в пласте, уменьшение вязкости нефти, изменение межфазного натяжения (МФН), изменение смачиваемости, схлопывание и повторный рост червоточин, утечка жидкости и улучшения вытеснения. В других вариантах осуществления настоящего изобретения стадия взаимодействия введенного силицида щелочного металла для стимулирования потока нефти в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS может быть осуществлена в сочетании с по меньшей мере одной из следующих отдельных стадий: нагнетание воды, нагнетание газа, нагнетание пара, нагнетание растворителя, тепловой нагрев нефтеносного пласта или химическая обработка нефтеносного пласта после применения технологии CHOPS.

[00042] На Фиг. 1 показан пример описывающий механизм заявленного способа введения силицида щелочного металла в циклической конфигурации, такой как, например, пароциклическая система. Подобным же образом, заявленное изобретение может быть использовано в режиме заводнения. Дисперсия силицида 101 нагнетается в кольцевое пространство 155 скважины ограниченное колонной 143 и обсадной трубой (не пронумерована) с помощью насоса, такого как скважинный винтовой насос 110. Дисперсия силицида 101 проходит вниз по кольцевому пространству 155 и в сеть червоточин 166. Вода, скорее всего, будет присутствовать в сети червоточин 166 и в непосредственной близости от целевой сырой нефти (из-за природной воды, присутствующей в пласте и свободной воды, добываемой совместно с нефтью в процессе первичной добычи с применением технологии CHOPS). В дополнение к настоящей дисперсии силицида 101 может быть использована предварительная промывка углеводородом или газом 107 для перемещения как можно большего количества присутствующей воды из ствола скважины 177 и червоточин 166 для обеспечения максимального проникновения. Пример последовательности нагнетания порций показан на Фиг. 1. Часто осуществляется предварительная промывка чистым углеводородом 107 (без силицида щелочного металла), и силицид щелочного металла 101 нагнетается после предварительной промывки. Легкие углеводороды являются предпочтительными, так как они затем выступают в качестве разбавителя для тяжелой сырой нефти для дальнейшего эффекта снижения вязкости. Такие добавки, как полимеры могут быть включены в состав предварительной промывки для повышения эффективности промывки. Кроме того, может быть использован газ, такой как метан, пропан, воздух, азот, кислород, углекислый газ и т.д. для замещения любых водных жидкостей из ствола скважины или кольцевого пространства скважины CHOPS перед нагнетанием силицида щелочного металла. Предварительная промывка углеводородами 107 может также проталкивать воду через червоточины 166 в пласт до того, как она возвратится со сниженной вязкостью в сеть червоточин в результате последующего повышения давления. Такая предварительная промывка служит для «осушения» пути доставки через червоточины перед введением порции силицида щелочного металла 101, позволяя силициду щелочного металла, более глубоко проникнуть в пласт до встречи с существенным количеством воды и расхода. В пласте коллектора это происходит в таких предварительно промытых областях, в которых происходит смешивание силицида щелочного металла и воды с выделением тепла, водорода и силикатных побочных продуктов. Для более тяжелых типов сырой нефти эта предварительная промывка 107 также служит в качестве подходящего растворителя или разбавителя для дальнейшего

улучшения подвижности нефти.

[00043] Кроме того, в конце порции силицида щелочного металла 101, может быть использована небольшая порция постпромывки 109 углеводородом или газом для очистки ствола скважины от дисперсии силицида щелочного металла (из порции для нагнетания силицида щелочного металла 101) и изолирования ее в максимальной 5 возможной степени от любых последующих движущихся жидкостей на водной основе, таких как рассол или вода загущенная полимером 111. Это может также увеличить давление в пласте. В случае циклического процесса небольшая порция воды может следовать за постпромывкой, для того, чтобы гарантировать, что весь силицид 10 прореагировал в течение периода смачивания перед возвратом к добыче из скважины. Как и в случае с предварительной промывкой, порция постпромывки 109 также может быть чистым углеводородом или газом. Таким образом, при поступлении порции силицида щелочного металла 101 в пласт, реакция может протекать как в начальной области углеводородной предварительной промывки 107 так и в конечной области 15 углеводородной постпромывки 109 порции силицида щелочного металла 101, так как дисперсия на основе природных жидкостей в пористой матрице пласта создает возможность для контакта с водой. Углеводородная постпромывка 109 обеспечивает дополнительные преимущества, так как быстрая реакция в конечной области может быстро приводить в движение не вступившую в реакцию порцию силицида щелочного 20 металла 101 вперед через червоточины и глубоко в пласт и ускорить его контакт с водой в начальной области, что позволяет ей быстро израсходоваться за более короткий период времени, с последующим резким ростом давления и температуры. Нефть, вода и песок 188 добываются на поверхность с помощью колонны 143.

[00044] Для более тяжелой сырой нефти и особенно скважин после применения 25 технологии CHOPS силициды щелочных металлов могут быть использованы в циклическом режиме (например, пароциклическом) с нагнетанием и добычей из одной и той же скважины по меньшей мере на начальном этапе. Как было указано выше, на Фиг. 1 представлена типичная скважина CHOPS с сетью червоточин, к которой циклическим образом применяется обработка силицидами щелочных металлов. На 30 Фиг. 6А-6С показан другой пример скважины CHOPS, использующий циклический способ добычи нефти, такой как пароциклический способ. Например, как показано на Фиг. 6А, дисперсию силицидов щелочных металлов нагнетают в кольцевое пространство 808 скважины после применения технологии CHOPS (нагнетание) в течение от одного до нескольких дней. Как показано на Фиг. 6В, как только дисперсия силицида щелочного 35 металла нагнетается в кольцевое пространство, короткий период смачивания позволяет реакции протекать до завершения, и тепло рассеивается в пласте 818 при реагировании дисперсии силицидов щелочных металлов. На Фиг. 6С проиллюстрировано возобновление добычи из скважины в течение нескольких месяцев до тех пор, пока нефть добывается через центральную колонну 828 с помощью винтового насоса. Этот 40 цикл схож с процессом циклического термического повышения нефтеотдачи (ПНО). В циклическом режиме порция прослойки на основе чистых углеводородов может быть очень небольшой или может быть не нужна, так как целью является сырая нефть из призабойной зоны и червоточин. В некоторых случаях, пароциклическое введение может быть преобразовано в режим заводнения после нескольких циклов, как только 45 устанавливается сообщение между смежными скважинами.

[00045] Силицид щелочного металла нагнетают в скважину после применения технологии CHOPS при выбранном давлении нагнетания и выбранной температуре нагнетания. Выбранная температура нагнетания будет на уровне или примерно такой

же, как температура коллектора (например, около 15°C, что характерно для западных нефтяных месторождений в Канаде). Выбранное давление нагнетания должно быть больше, чем давление в коллекторе и должно быть достаточным, чтобы силицид щелочного металла легко протекал в коллектор и в червоточины в пласте. Вообще говоря, давление нагнетания должно быть, как правило, ниже давления образования трещин в коллекторе.

[00046] После того, как выбранное количество силицида щелочного металла и любого другого подходящего материала ПНО (химические вещества, газы, добавки, полимеры и т.д.) были введены в скважину, скважина может быть закрыта в течение выбранного периода времени для того, чтобы позволить осуществиться взаимодействию силицида щелочного металла с водой/спиртом в червоточинах. После завершения периода закрытия, скважина отправляется для добычи, и добываются нефть и газ. Добыча из скважины может производиться таким же образом, как и в обычной CHOPS скважине с помощью винтового насоса при первичной добыче с применением технологии CHOPS.

15 ПРОДЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ CHOPS

[00047] Другой сценарий, в котором силицид щелочного металла может быть доставлен глубоко в пласт, заключается в следующем: там, где ранее была применена технология холодной добычи тяжелой нефти с песком (CHOPS), но она приближается или достигла своего экономического предела. Вытеснение растворенным газом или вытеснение растворенным газом в сочетании с водонапорным режимом было основным механизмом для добычи с применением технологии CHOPS. В коллекторах, которые изначально не содержат свободный газ, но вырабатывают свободный газ при снижении давления, используется один и тот же механизм: как только давление падает ниже точки, газ начинает вырываться из недосыщенной нефти и образует свободную газовую фазу (точка кипения). Метод CHOPS часто создает червоточины в более слабых песчаных каналах внутри пласта, из которого были добыты рыхлый песок и нефть. Он оставляет за собой каналы с высокой проницаемостью, которые открывают силицидам щелочных металлов свободный доступ к внутренней части пласта из ствола скважины. Каналы с более высокой проницаемостью выступать в роли открытых горизонтальных скважин, в которых может протекать силицид щелочного металла и вступать в реакцию для выделения тепла для снижения вязкости сырой нефти, выделения водорода для возвращения давления в коллекторе и высвобождения щелочного металла для стимулирования дополнительной добычи. В этом примере, показанном на Фиг. 6А-6С, силицид щелочного металла может быть применен циклическим образом с нагнетанием и добычей из одной и той же скважины.

[00048] Не все нагнетаемые частицы силицида щелочного металла (например, Na_4Si_4) в дизельном растворе могут мгновенно прореагировать с водой из пласта. Некоторая часть введенного Na_4Si_4 может реагировать мгновенно, а остальная часть может реагировать медленнее, в зависимости от скорости дисперсии силицида щелочного металла в червоточинах. Было запущено несколько опытов для исследования влияния скорости дисперсии Na_4Si_4 на циклический процесс после применения технологии CHOPS. Дисперсия с содержанием 30% масс Na_4Si_4 в дизельной нефти, полученная как описано выше, была использована в исследованиях, представленных ниже.

45 [00049] Современные CMG STARS процессы и тепловой симулятор коллектора (Computer Modelling Group, Ltd.) были использованы для моделирования и подтверждения процесса нагнетания силицида щелочного металла после применения технологии CHOPS для конкретных шести скважин с применением технологии CHOPS, расположенных в

Канаде, рассматривая поддержание давления и эффекты растворимости водорода как продукта реакции, эффекта тепла от реакции и эффекта разбавителя жидкости-носителя на основе дизельного растворителя. Эффект щелочного металла не рассматривался в данной модели. На Фиг. 7 показаны слои модели на схеме скважины и расположение червоточин в радиальной схеме в разных слоях, которые соответствуют предварительной добыче с применением технологии CHOPS. Несмотря на то, что радиальная схема, скорее всего, не реалистично передает фактическую схему червоточин, она обеспечивает разумную основу для соответствия и последующего прогнозирования циклического применения силицида щелочного металла в системе. Не учитывалось содействие в снижении МФН или улучшении вытеснения со стороны силикатного побочного продукта или какого-либо другого механизма схлапывания и повторного роста червоточин для улучшения извлечения нефти. Нефть обладала плотностью в градусах API 11,6, вязкость тяжелой нефти составила 20,575 Па·с при 15°C. Результаты, представленные в Таблице 1, показывают, что когда дисперсия с 30% масс. силицида щелочного металла в дизельной жидкости-носителе нагнетается при скорости в диапазоне от 1,5 до 20 м³/цикл в циклическом процессе с последовательностью 1 сутки нагнетания, 1 сутки смачивания и от 30 до 120 суток добычи в течение от 15 до 30 циклов, коэффициент извлечения из таких скважин может быть экономически увеличен на 50 % по сравнению с только первичной добычей с применением технологии CHOPS. Поддержание давления в призабойной зоне и уменьшение вязкости под действием теплоты, растворимость водорода и эффекты растворителя способствовали этому росту.

ТАБЛИЦА 1

% извлечения от НГЗН по различным схемам		
Схемы	Извлечение нефти, % от НГЗН	Извлечение воды, % от НГЗВ
Скорость нагнетания раствора = 10 м ³ /день/скважина		
2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+60 суток добычи	2,08	0,41
3 суток нагнетания+1 сутки смачивания+60 суток добычи	2,36	0,39
4 суток нагнетания+1 сутки смачивания+60 суток добычи	2,59	0,36
2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+90 суток добычи	1,88	0,43
3 суток нагнетания+1 сутки смачивания+90 суток добычи	2,10	0,41
4 суток нагнетания+1 сутки смачивания+90 суток добычи	2,29	0,39
2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+120 суток добычи	1,76	0,44
3 суток нагнетания+1 сутки смачивания+120 суток добычи	1,94	0,43
4 суток нагнетания+1 сутки смачивания+120 суток добычи	2,10	0,41
Скорость введения раствора=20 м ³ /день/скважина		
1 сутки нагнетания+1 сутки смачивания+60 суток добычи	2,10	0,41
2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+60 суток добычи	2,64	0,35
3 суток нагнетания+1 сутки смачивания+60 суток добычи	3,09	0,32
1 сутки нагнетания+1 сутки смачивания+90 суток добычи	1,89	0,43
2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+90 суток добычи	2,31	0,39
3 суток нагнетания+1 сутки смачивания+90 суток добычи	2,66	0,35
1 сутки нагнетания+1 сутки смачивания+120 суток добычи	1,76	0,44
2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+120 суток добычи	2,12	0,41
3 суток нагнетания+1 сутки смачивания+120 суток добычи	2,42	0,37
Скорость введения раствора=30 м ³ /день/скважина		
1 сутки нагнетания+1 сутки смачивания+60 суток добычи	2,40	0,38
2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+60 суток добычи	3,10	0,31
1 сутки нагнетания+1 сутки смачивания+90 суток добычи	2,12	0,40
2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+90 суток добычи	2,67	0,34
1 сутки нагнетания+1 сутки смачивания+120 суток добычи	1,95	0,42

2 суток нагнетания+1 сутки смачивания+120 суток добычи	2,42	0,37
--	------	------

СКОРОСТЬ ДОБЫЧИ НЕФТИ

[00050] На Фиг. 2 дополнительно показаны смоделированные кривые добычи нефти для нескольких случаев, в которых сравнивают скорости применения различных силицидов щелочных металлов со случаем использования чистого дизельного топлива без силицида щелочного металла. Чистое дизельное топливо без силицида щелочного металла представляет собой основной случай эффекта растворителя. Результаты показывают, что применение силицидов щелочных металлов приводит к значительному дополнительному извлечению по сравнению с эффектом растворителя от дизельной жидкости-носителя. Как показано на Фиг. 2 среди четырех случаев нагнетание 20 м³/сутки приводит к самой высокой добыче нефти, 70637 м³ нефти (извлечено 2,94% от ИГЗН). Скважина с самой низкой скоростью нагнетания силицидов щелочных металлов 1,67 м³/сутки дала 55842 м³ нефти (извлечено 2,33% от ИГЗН). Нагнетание чистого дизельного топлива привел к 56798 м³ нефти (извлечено 2,37% от ИГЗН), и продолжающееся снижение давление привело к добыче произведено 54229 м³ нефти (извлечено 2,26% от ИГЗН). С точки зрения процентного увеличения скорость нагнетания силицида щелочного металла 20 м³/сутки/скважина увеличила извлечение нефти на ~27% по сравнению со случаем нагнетания со скоростью 1,67 м³/сутки/скважина, на ~25% по сравнению со случаем нагнетания чистого дизельного топлива, и на ~30% по сравнению со случаем продолжающегося снижения давления. При реальной эксплуатации месторождений случай снижения давления не происходит, так как добычи из такой скважины прекращают.

СНИЖЕНИЕ ВЯЗКОСТИ

[00051] Это улучшение дополнительно иллюстрируется эффектом снижения вязкости чистого дизельного топлива по сравнению с силицидом щелочного металла в дизельной жидкости-носителе, как показано на Фиг. 3. Снижение вязкости нефти улучшает подвижность нефти, так как нефть течет более свободно. Снижение вязкости может быть связано с рядом факторов, в том числе растворимостью водорода в фазе нефти, теплом от реакции силицида щелочного металла и эффектом разбавления дизельным растворителем. Путем сравнения случаев силицида щелочного металла в дизельном топливе со случаями чистого дизельного топлива при скорости ввода 20 м³/сутки/скважина, факторы могут быть разделены во времени и показаны на блоке ближайшем к стволу скважины. Как случай силицида щелочного металла, так и случай чистого дизельного топлива приводят к снижению вязкости сырой нефти более чем на 75% после 10 лет, но, как показано на Фиг. 3, силицид щелочного металла обеспечивает большее снижение, особенно на ранних циклах. В обоих случаях дизельная фракция в добываемой нефти является изначально низкой, но постепенно накапливается с течением времени и становится около 1% от совокупного производства (400 м³) после около 5 лет. Это влияет на форму кривых понижения вязкости (Фиг. 3), к которой добавляются циклические эффекты силицидов щелочных металлов. Тенденция показывает быстрое падение вязкости сразу же после реакции и выделения тепла и водорода. Затем вязкость слегка восстанавливается, так как жидкости добывается обратно в фазе добычи. Кроме того, некоторое количество тепла и водорода рассеиваются и/или накапливаются в пласте, который образуется с течением времени с каждым добавленным циклом. Различия между эффектами от растворимости водорода и тепла от силицида щелочного

металла может быть не легко разделить на основе данной модели, но эффект растворимости водорода может быть больше, так как пласт является существенным поглотителем тепла.

[00052] Добыча воды из таких скважин снижается в результате потребления воды реакцией силицидов щелочных металлов, что затем снижает затраты на перекачивание воды, связанные с добычей жидкостей. На Фиг. 4А-4С показаны смоделированные кривые добычи нефти (Фиг. 4А), воды (Фиг. 4В) и газа (Фиг. 4С), где для примера силицид щелочного металла нагнетается со скоростью $7,35 \text{ м}^3/\text{скважина}/\text{цикл}$ в течение 1 суток с 1 сутками смачивания и 120 сутками добычи на срок до 30 циклов в течение 10 лет.

[00053] Данная модель также указывает на то, что скважины, которые не обязательно были лучшими по показателю добычи при первичной добыче с применением технологии СНOPS, теперь позволяют добывать больше своей нефти. В частности, как показано в Таблице 2, скважины 391 и 392, которые были оценены как 3-я и 4-я во время первичной добычи с применением технологии СНOPS, теперь стали наиболее продуктивными скважинами при циклической обработке силицидами щелочных металлов после применения технологии СНOPS. Это наблюдалось для последовательности: нагнетание 20 м^3 в течение 1 суток с 1 сутками смачивания и 120 сутками добычи. Оказывается, что эффекты силицидов щелочных металлов достигают дополнительных участков коллектора через сеть червоточин, созданную в процессе первичной добычи с применением технологии СНOPS. Эти участки коллектора не были ранее доступны.

ТАБЛИЦА 2							
Сравнение первичной добычи нефти из скважин с применением технологии СНOPS и после применения технологии СНOPS							
Скважина	Первичная добыча с применением технологии СНOPS			Циклическая обработка силицидом щелочного металла после применения технологии СНOPS			% первичной добычи
	Нефть (м^3)	(%)	Оценка	Нефть (м^3)	(%)	Оценка	
387	4,585	3,28%	97,7%	4,480	6,40%	6	97,7%
388	29,982	21,42%	38,0%	11,398	16,28%	4	38,0%
389	12,346	8,82%	65,3%	8,064	11,52%	5	65,3%
390	37,037	26,46%	34,2%	12,652	18,07%	3	34,2%
391	26,596	19,00%	66,6%	17,706	25,29%	1	66,6%
392	29,417	21,02%	53,4%	15,699	22,43%	2	53,4%
	139,963	100,00%	50,0%	69,999	100,00%		50,0%

СРАВНЕНИЕ СИЛИЦИДА ЩЕЛОЧНОГО МЕТАЛЛА И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ЦИКЛИЧЕСКИМ НАГНЕТЕНИЕМ РАСТВОРИТЕЛЯ

[00054] Конкурирующей технологией для скважин после применения технологии СНOPS является циклическое нагнетание растворителя (ЦНР), в которой растворитель содержит смеси легких углеводородов, таких как метан, этан и пропан. Примерное испытание было смоделировано с использованием модели CMG STARS, в которой смесь растворителей состава 70% метана/30% пропана была применена циклическим образом в течении 60 суток нагнетания, 15 суток смачивания и 290 суток добычи на эквивалентной скорости, основанной на той же стоимости материалов, что и для силицида щелочного металла. Результаты показаны на Фиг. 5А-5В для двух случаев растворителя по цене $\$3/\text{см}^3$ (низкая степень чистоты) и $\$8,4/\text{см}^3$ (высокая степень чистоты). На Фиг. 5А сравнивается производительность силицида щелочного металла и дизельного топлива по сравнению с нагнетанием растворителя с точки зрения суммарной добычи нефти. Точно так же, на Фиг. 5В сравнивается производительность силицида щелочного металла и дизельного топлива по сравнению с закачкой

растворителя с точки зрения суммарной добычи воды. В обоих случаях способ с использованием силицидов щелочных металлов является экономически более эффективным при добыче дополнительного количества нефти (на ~23% больше нефти), чем смесь растворителей за 5 лет в циклическом режиме. Случай силицида щелочного металла и дизельного топлива также приводит к меньшей добыче воды (на ~8% меньше воды).

[00055] Циклическое нагнетание силицида щелочного металла натрия в коллектор после применения технологии CHOPS может улучшить извлечение исходных или начальных геологических запасов нефти. Увеличение обусловлено восстановлением давления в призабойной зоне/червоточине из-за выделения водорода и снижением вязкости из-за растворенного газообразного водорода и повышения температуры в призабойной зоне/червоточине. В модели CMG STARS не производится расчет для снижения МФН, изменения смачиваемости, улучшения вытеснения или эффекта схлапывания червоточин, которые, по всей вероятности, являются дополнительными механизмами дальнейшего повышения коэффициента извлечения.

(57) Формула изобретения

1. Способ стимулирования извлечения нефти из рыхлой нефтеносной песчаной матрицы после применения технологии холодной добычи тяжелой нефти с песком (CHOPS) в нефтеносном пласте, причем способ включает:

промывку ствола скважины в рыхлой нефтеносной песчаной матрице после применения технологии CHOPS в нефтеносном пласте, имеющем по меньшей мере одну червоточину, для вытеснения воды из скважины и призабойной зоны;

нагнетание силицида щелочного металла по меньшей мере в одну червоточину в рыхлой нефтеносной песчаной матрице в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS;

нагнетание воды или спирта по меньшей мере в одну червоточину для реагирования с нагнетаемым силицидом щелочного металла для стимулирования течения нефти внутри рыхлой нефтеносной песчаной матрицы в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS; и

извлечение песка и нефти из рыхлой нефтеносной песчаной матрицы нефтеносного пласта после применения технологии CHOPS.

2. Способ по п. 1, в котором этапы нагнетания повторяются циклическим образом для стимулирования потока нефти внутри рыхлой нефтеносной песчаной матрицы в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS.

3. Способ по п. 1, в котором силицид щелочного металла нагнетают в виде дисперсии силицида щелочного металла.

4. Способ по п. 3, в котором дисперсия силицида щелочного металла содержит от около 20 до около 80 вес.% силицида щелочного металла.

5. Способ по п. 1, в котором силицид щелочного металла представляет собой силицид натрия.

6. Способ по п. 5, в котором силицид щелочного металла представляет собой Na_4Si_4 .

7. Способ по п. 3, в котором дисперсия силицида щелочного металла содержит жидкость-носитель на углеводородной основе.

8. Способ по п. 1, в котором реакция нагнетаемого силицида щелочного металла с водой или спиртом приводит к образованию водорода, силиката и тепла внутри части рыхлой нефтеносной песчаной матрицы нефтеносного пласта после применения технологии CHOPS.

9. Способ по п. 1, в котором рыхлая нефтеносная песчаная матрица нефтеносного пласта после применения технологии CHOPS содержит типы сырой нефти от средних до тяжелых, имеющих плотность в градусах API от 10 до 22 или вязкость от 1 до 100 Па·с.

5 10. Способ по п. 1, в котором нагнетание силицида щелочного металла в рыхлую нефтеносную песчаную матрицу в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS включает в себя нагнетание силицида щелочного металла через нагнетательную скважину и извлечение песка и нефти из добывающей скважины в рыхлой нефтеносной песчаной матрице нефтеносного пласта после применения технологии CHOPS.

10 11. Способ по п. 1, в котором нагнетание силицида щелочного металла в рыхлую нефтеносную песчаную матрицу в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS включает в себя нагнетание силицида щелочного металла через добывающую скважину в рыхлую нефтеносную песчаную матрицу в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS.

15 12. Способ по п. 1, в котором реакция введенного силицида щелочного металла включает этап нагнетания воды в рыхлую нефтеносную песчаную матрицу в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS.

13. Способ по п. 1, в котором нагнетание силицида щелочного металла включает в себя дополнительную стадию введения углеводородной буферной жидкости для
20 содействия глубокому проникновению.

14. Способ по п. 13, в котором закачка углеводородной буферной жидкости включают в себя по меньшей мере одну из жидкостей для предварительной и последующей промывки.

15. Способ по п. 2, в котором циклическим образом стимулируется течение нефти
25 внутри рыхлой нефтеносной песчаной матрицы в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS, включающий в себя чередующиеся периоды нагнетания, пропитки и добычи в одной скважине, используемой как для нагнетания, так и для добычи.

16. Способ по п. 1, в котором реакция нагнетаемого силицида щелочного металла с водой или спиртом стимулирует добычу нефти за счет по меньшей мере одного из
30 следующих факторов: увеличения давления пласта, снижения вязкости нефти, изменения межфазного натяжения (МФН), изменения смачиваемости, схлопывания и повторного роста червоточин, утечки жидкости и улучшения вытеснения.

17. Способ по п. 1, в котором реакция введенного силицида щелочного металла с водой или спиртом для стимулирования потока нефти внутри рыхлой нефтеносной
35 песчаной матрицы в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS осуществляется в сочетании по меньшей мере с одной из следующих отдельных стадий: нагнетания воды, нагнетания газа, нагнетания пара, нагнетания растворителя, теплового нагрева рыхлой нефтеносной песчаной матрицы в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS или химической обработкой рыхлой нефтеносной песчаной матрицы
40 в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS.

18. Способ стимулирования добычи нефти из рыхлой нефтеносной песчаной матрицы в нефтеносном пласте после применения технологии холодной добычи тяжелой нефти с песком (CHOPS), причем способ включает:

45 выбор рыхлой нефтеносной песчаной матрицы после применения технологии CHOPS в нефтеносном пласте, обладающей по меньшей мере одной червоточиной, который подвергается или на котором закончена первичная добыча с применением технологии CHOPS;

нагнетание дисперсии силицида щелочного металла по меньшей мере в одну

червоточину в рыхлой нефтеносной песчаной матрице в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS; и

нагнетание воды по меньшей мере в одну червоточину для реакции введенной дисперсии силицида щелочного металла, при котором реакция стимулирует
5 дополнительную добычу нефти в рыхлой нефтеносной песчаной матрице в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS за счет по меньшей мере одного из следующих факторов: увеличения давления пласта, снижения вязкости нефти, изменения межфазного натяжения (МФН), изменения смачиваемости, утечки жидкости и улучшения вытеснения.

10 19. Способ по п. 18, включающий в себя нагнетание дисперсии силицида щелочного металла в рыхлую нефтеносную песчаную матрицу в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS, через нагнетательную скважину и извлечение нефти из добывающей скважины в рыхлой нефтеносной песчаной матрице в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS.

15 20. Способ по п. 18, включающий в себя нагнетание дисперсии силицида щелочного металла в рыхлую нефтеносную песчаную матрицу в нефтеносном пласте после применения технологии CHOPS, через добывающую скважину в рыхлой нефтеносной песчаной матрице нефтеносного пласта после применения технологии CHOPS.

20 21. Дисперсия силицида щелочного металла для стимулирования добычи нефти из рыхлой нефтеносной песчаной матрицы после применения технологии холодной добычи тяжелой нефти с песком (CHOPS) в нефтеносном пласте, содержащая от около 20 до около 80 вес.% частиц силицидов щелочных металлов, диспергированных в масле.

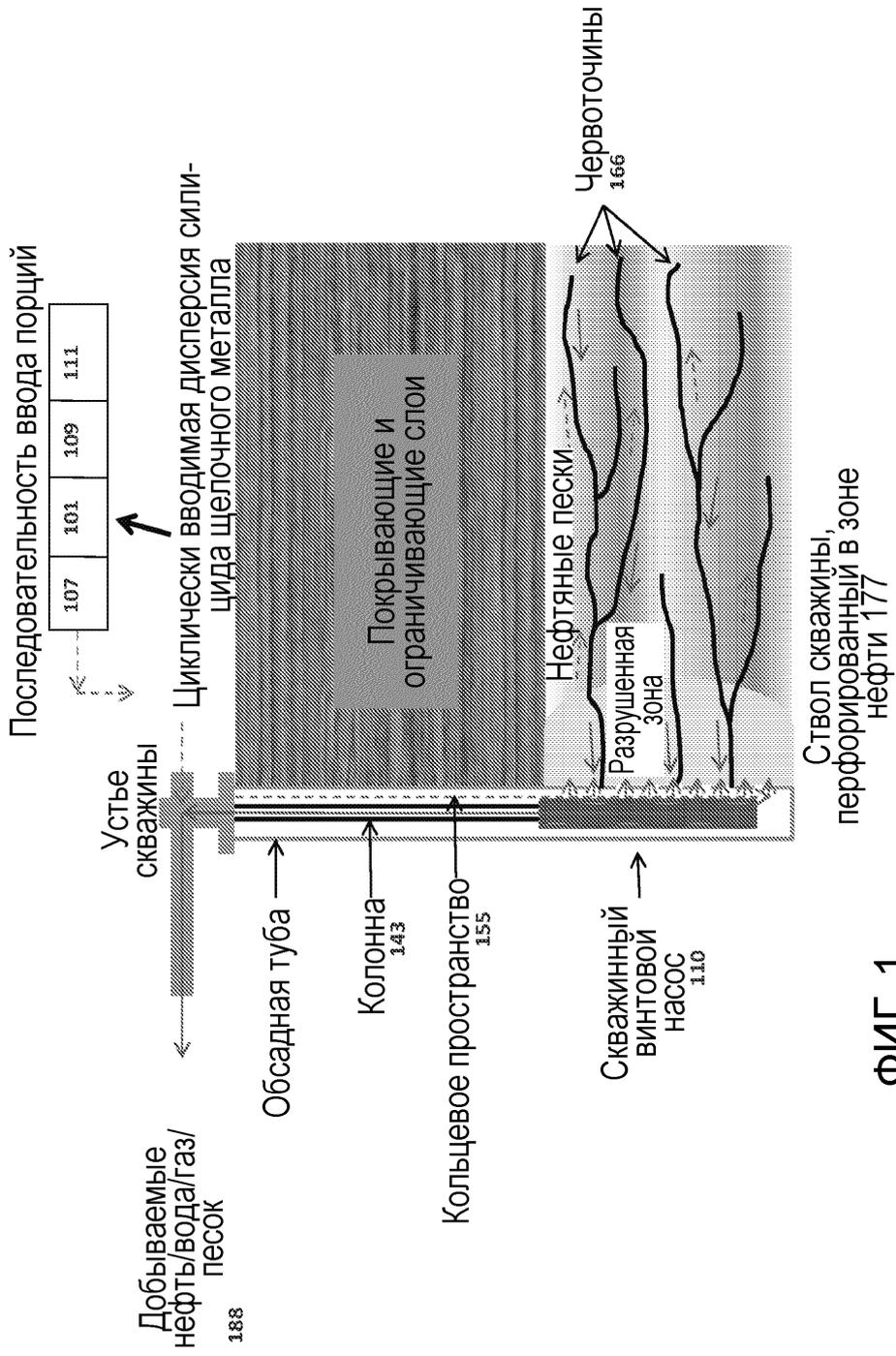
25 22. Дисперсия силицида щелочного металла по п. 21, в которой масло представляет собой дизельное топливо, и частицы силицидов щелочных металлов имеют максимальный размер частиц приблизительно от 20 до 25 микрон.

30

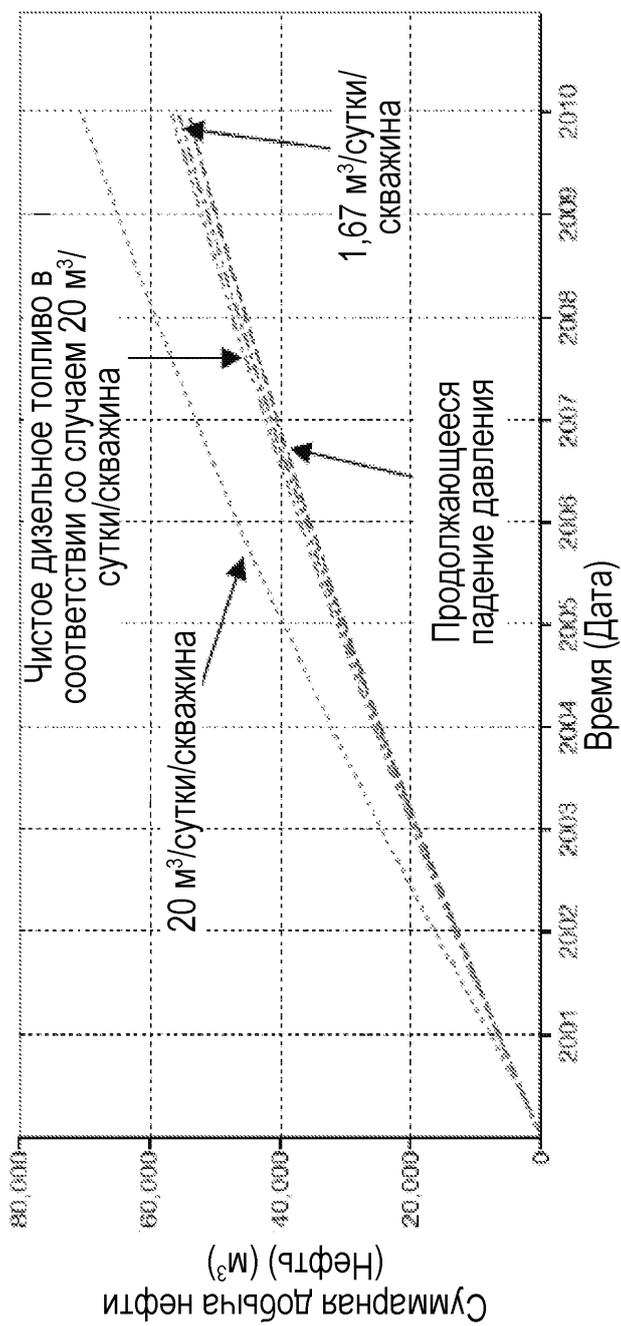
35

40

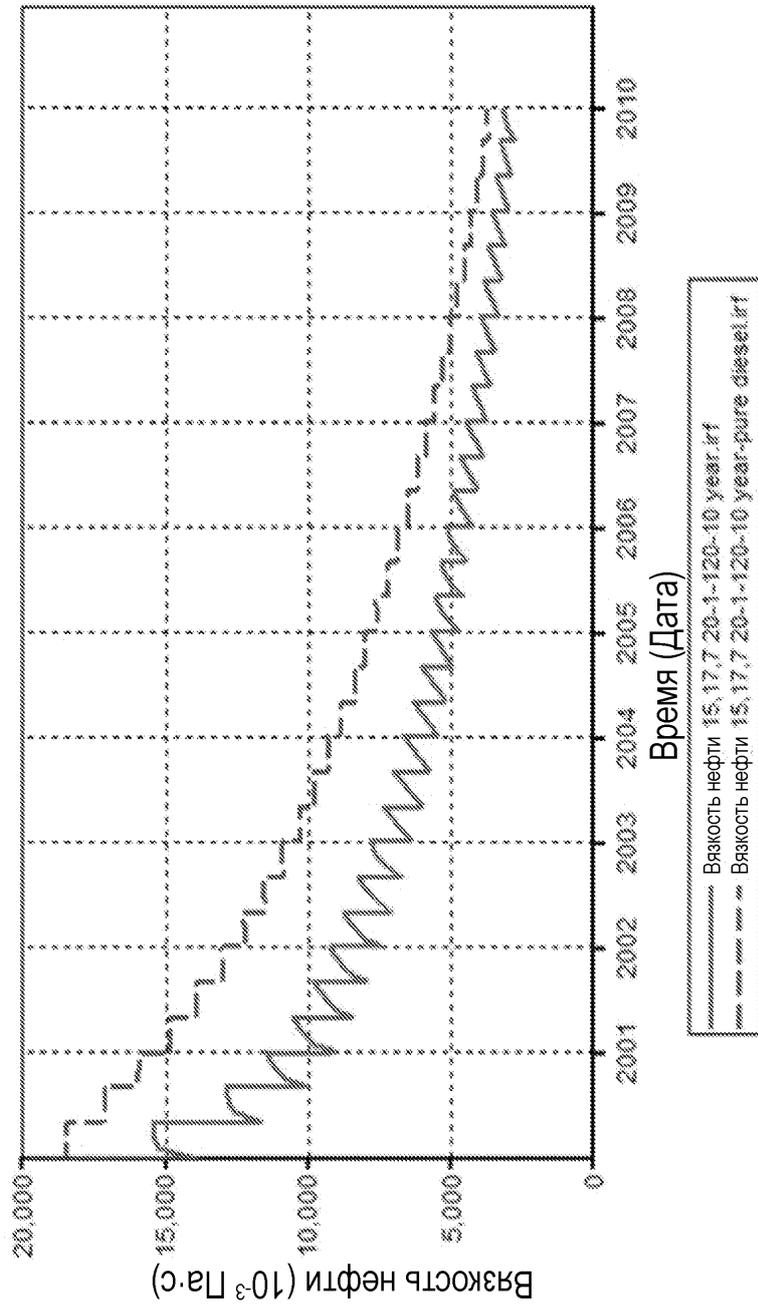
45



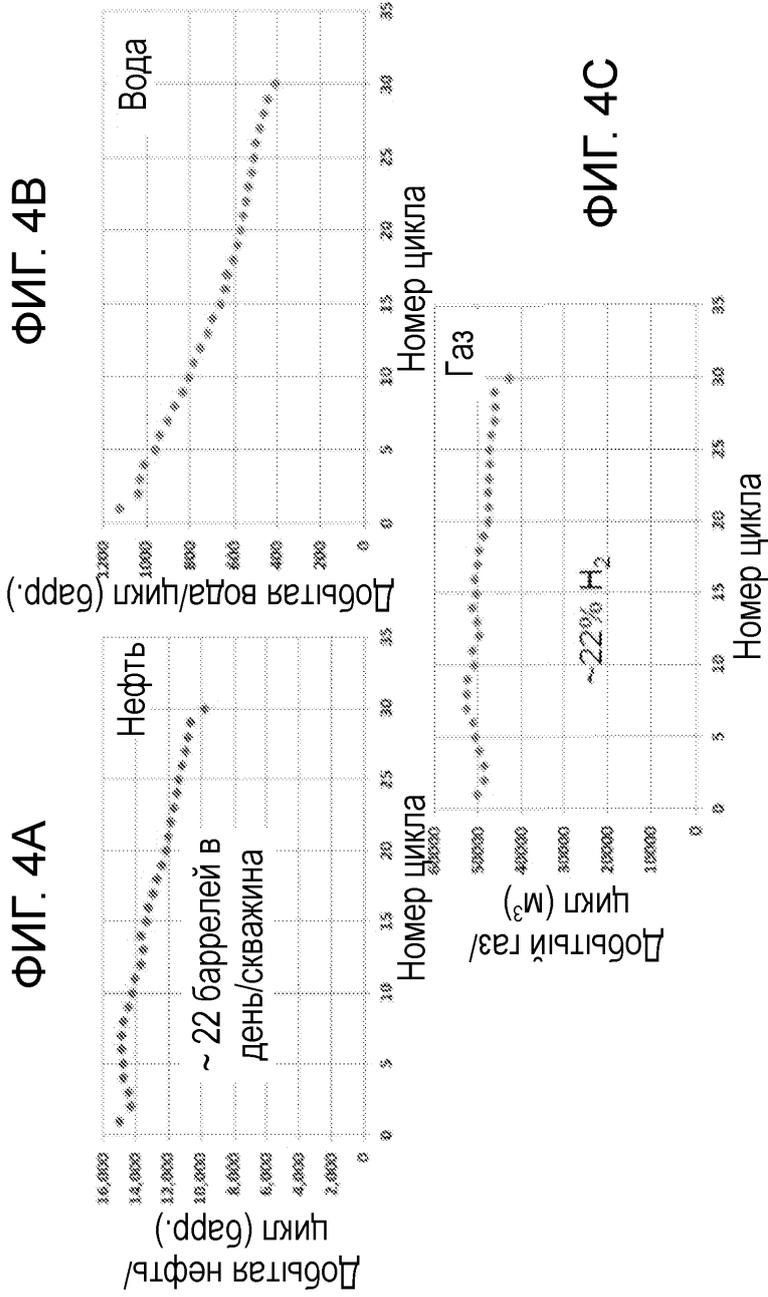
ФИГ. 1



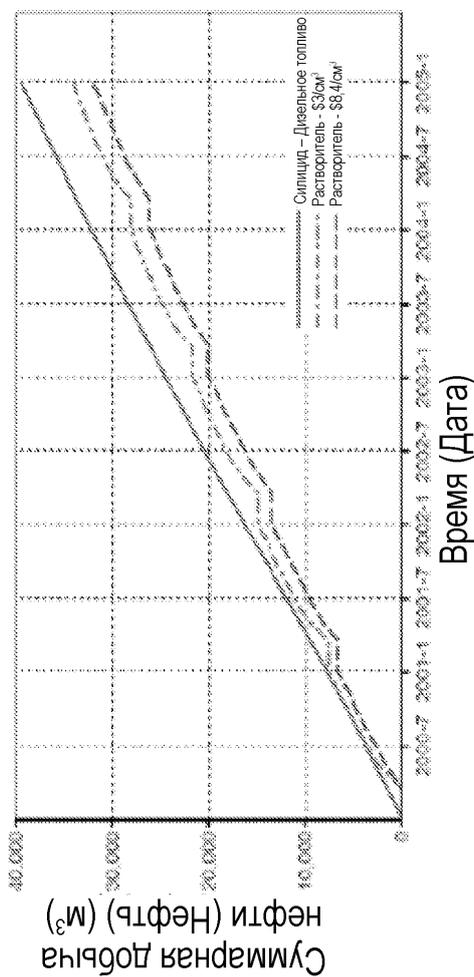
ФИГ. 2



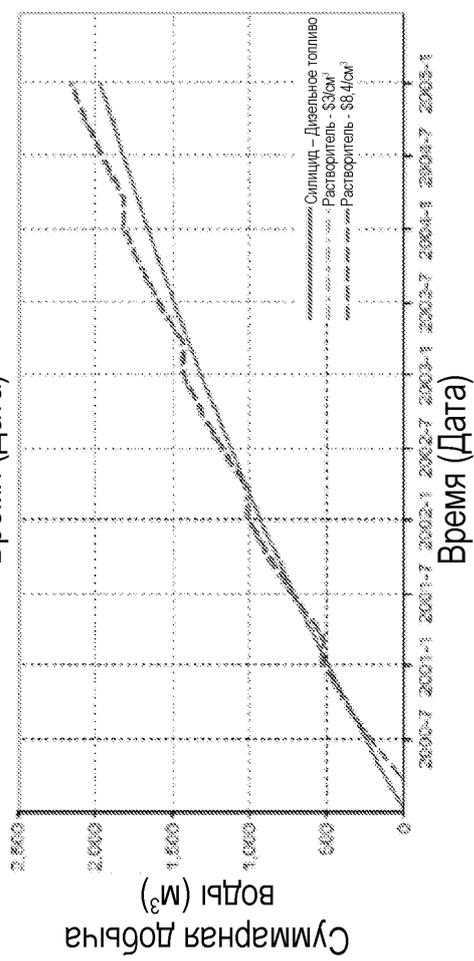
ФИГ. 3

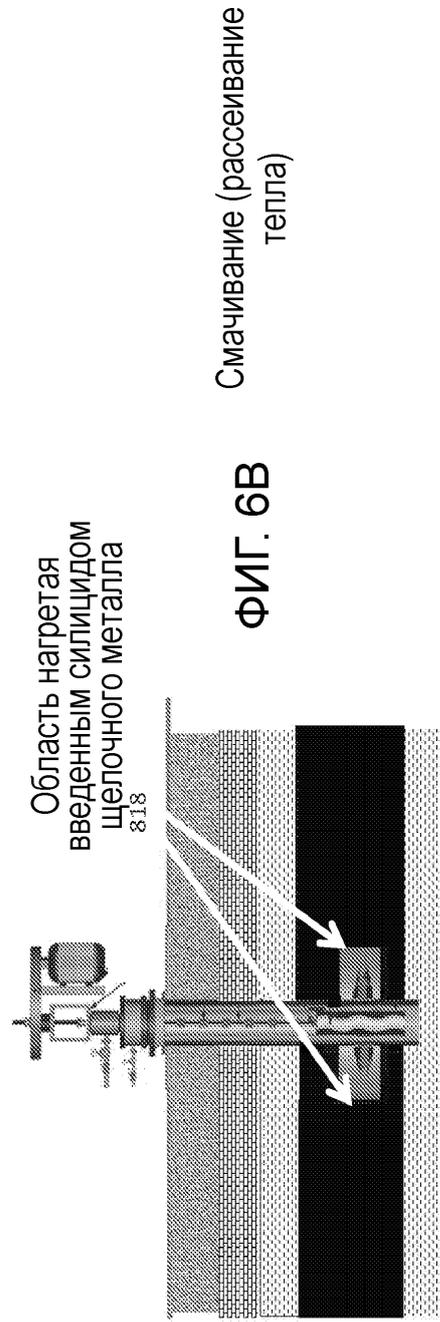
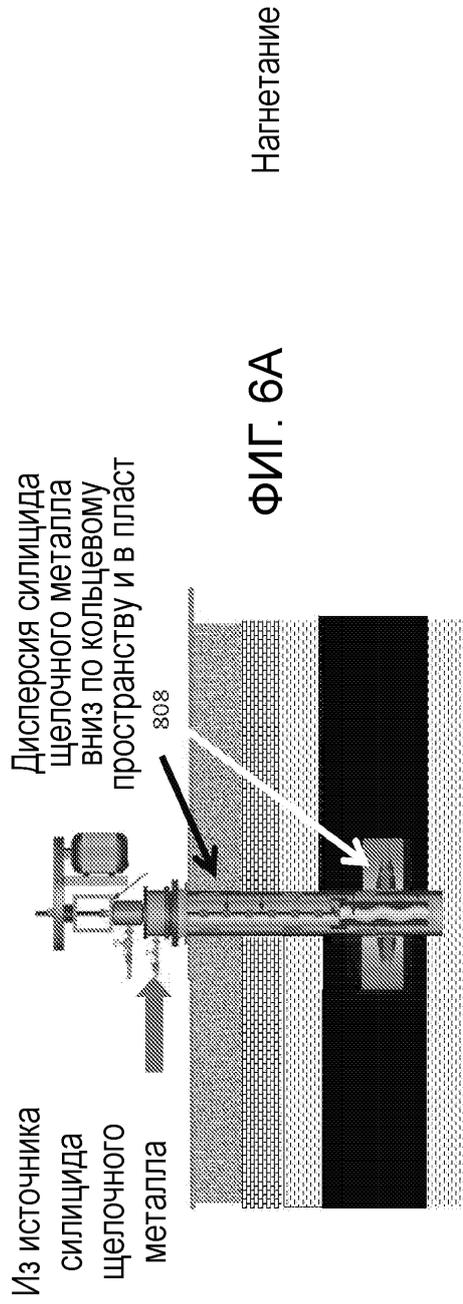


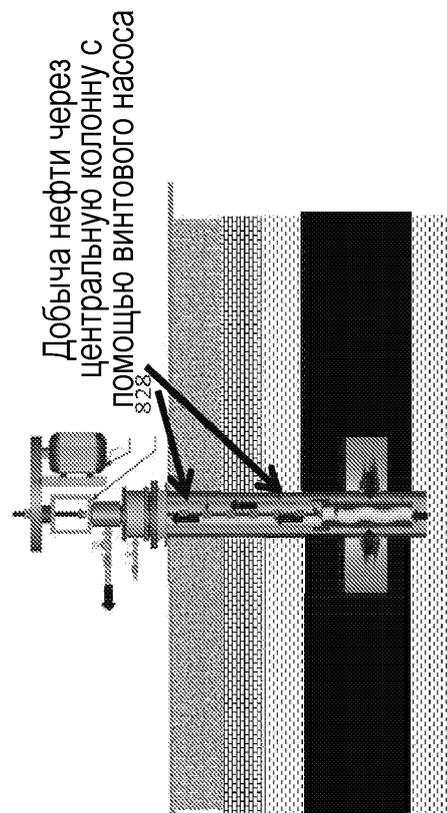
ФИГ. 5А



ФИГ. 5В

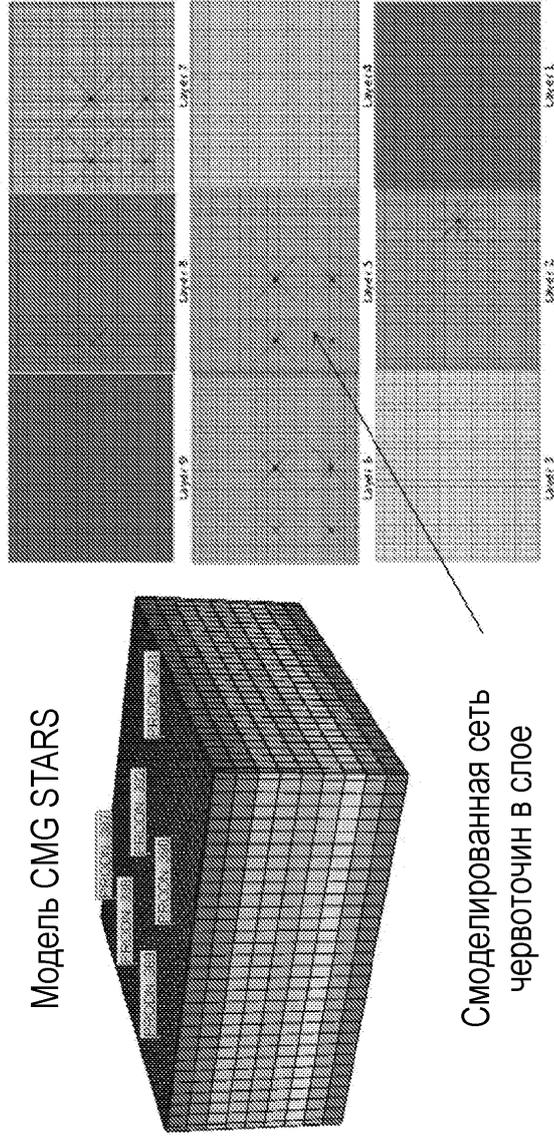






Добыча

ФИГ. 6С



Модель CMG STARS

Смоделированная сеть
червоточин в слое

ФИГ. 7