

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202091947** (13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
2021.01.11

(51) Int. Cl. *E21B 43/295* (2006.01)  
*E21B 43/24* (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
2019.03.06

**(54) ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ СИНТЕЗ-ГАЗА НА МЕСТЕ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ  
УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПЛАСТОВ**

(31) 62/639,184

(32) 2018.03.06

(33) US

(86) PCT/CA2019/050271

(87) WO 2019/169492 2019.09.12

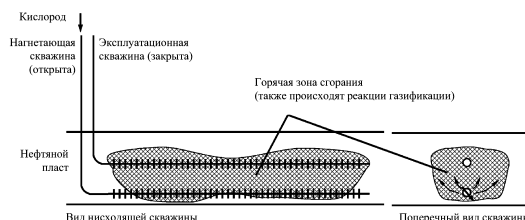
(71) Заявитель:  
**ПРОТОН ТЕКНОЛОДЖИС КАНАДА  
ИНК. (CA)**

(72) Изобретатель:  
**Стрем Грант Д., Гэйтс Иэн Д., Ван  
Цзиньи (CA)**

(74) Представитель:  
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,  
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев  
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В.,  
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)**

(57) Углеводородный пласт обрабатывают посредством тепла, чтобы вызывать реакции газификации, конверсии водяного газа и/или акватермолиза для генерирования синтез-газа, содержащего газообразный водород. Синтез-газ добывают на поверхность с использованием одной или нескольких эксплуатационных скважин.

Этап 1



202091947

A1

A1

202091947

## **ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ СИНТЕЗ-ГАЗА НА МЕСТЕ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПЛАСТОВ**

### **ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ**

[001] Область техники относится к обработке углеводородного пласта для добычи синтез-газа.

### **ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

[002] Углеводородные пласты в изобилии встречаются во всем мире, и множество технологий используют для добычи нефти или газа из этих пластов, включая использование основных процессов, а также процессов повышения нефтеотдачи (таких как водяное заводнение, паровое заводнение и химическое заводнение) для добычи дополнительной нефти из обычных нефтяных и газовых пластов.

[003] Обычную сырую нефть обрабатывают посредством очищения с преобразованием ее в транспортное топливо и сырье для нефтехимической промышленности.

[004] В случае с тяжелой нефтью и сверхтяжелой нефтью (например, битумом) нефть является вязкой в исходных пластовых условиях и нефть не может быть добыта с использованием обычных способов, поэтому тяжелую нефть и битум подвергают термической обработке для снижения вязкости, чтобы они протекали с большей легкостью в пласте и их можно было добыть на поверхность. Термическая обработка также позволяет с большей легкостью перемещаться в пласте кислороду и другим текучим средам.

[005] После извлечения тяжелой нефти или битума их обычно превращают в синтетическую сырую нефть, которую, в свою очередь, очищают с преобразованием ее в транспортное топливо и сырье для нефтехимической промышленности.

[006] Добыча нефти или газа подразумевает получение в итоге диоксида углерода, поскольку нефть, или газ, или их продукты обычно сжигают для получения их энергии и с образованием диоксида углерода.

[007] Существует постоянная потребность в добыче топлива из нефтяных и газовых пластов с относительно низкими удельными выбросами.

### **СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

[008] Согласно первому общему аспекту настоящего изобретения предоставлен способ обработки пласта для извлечения из него синтез-газа, при этом пласт содержит углеводородное сырье и воду, указанный способ включает этапы:

- a. нагревание пласта до температуры, достаточной для того, чтобы вызвать в пласте по меньшей мере одну из реакций газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза, причем в по меньшей мере одной из реакций участвует по меньшей мере одно из углеводородного сырья и воды;
- b. обеспечение возможности для по меньшей мере одной из реакций газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза производить синтез-газ из углеводородного сырья и воды, причем синтез-газ содержит газообразный водород;
- c. предоставление по меньшей мере одной скважины в пласте; и
- d. добывание по меньшей мере части синтез-газа на поверхность через по меньшей мере одну скважину.

[009] В некоторых примерных вариантах осуществления первого аспекта этап нагревания пласта включает нагнетание окислителя в пласт для окисления по меньшей мере части углеводородного сырья внутри пласта.

[010] В некоторых примерных вариантах осуществления первого аспекта этап нагревания резервуара включает одно или несколько из:

нагнетания окислителя в пласт для окисления по меньшей мере части углеводородного сырья внутри пласта;

генерирования электромагнитных или радиочастотных волн с помощью электромагнитной или радиочастотной антенны, размещенной внутри пласта;

нагнетания горячего материала в пласт; и

генерирования тепла с использованием резистивной (омической) нагревательной системы, размещенной внутри пласта.

[011] После этапа нагревания некоторые примерные варианты осуществления первого аспекта могут включать этап задержки добывания потока добытого газа, чтобы обеспечивать возможность дополнительного генерирования синтез-газа. Период времени для задержки может зависеть от рабочей температуры, но предпочтительно, чтобы он находился во временном диапазоне от 1 недели до 12 месяцев. Более предпочтительный период времени составляет от 1 недели до 4 недель.

[012] В некоторых примерных вариантах осуществления первого аспекта способ после нагревания дополнительно включает этап добывания потока добытого газа, чтобы обеспечивать возможность дополнительного генерирования синтез-газа. Нагнетание тепла в пласт (посредством окислителя или радиочастотного или резистивного нагревания) может быть непрерывным, пока добыча синтез-газа является непрерывной.

[013] В некоторых примерных вариантах осуществления первого аспекта для нагревания пласта применяют диэлектрическое нагревание. В этих вариантах осуществления электромагнитное излучение может иметь частоту в диапазоне приблизительно 60 Гц–1000 ГГц. Предпочтительный диапазон частот составляет от 10 МГц до 10 ГГц.

[014] В вариантах осуществления, в которых для нагревания пласта применяют резистивное нагревание, также называемое омическим нагреванием, температура может быть повышена до 200–800°C. Предпочтительный диапазон температур составляет от 400 до 700°C.

[015] Согласно второму общему аспекту настоящего изобретения предоставлена система обработки пласта для извлечения из него синтез-газа, причем синтез-газ одержит газообразный водород, пласт содержит углеводородное сырье и воду, указанная система содержит:

устройство для нагревания пласта и генерирования синтез-газа из углеводородного сырья и воды посредством по меньшей мере одной из реакций газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза; и

скважину, расположенную в пласте, для добычи синтез-газа на поверхность.

[016] В некоторых примерных вариантах осуществления второго аспекта устройство для нагревания пласта содержит по меньшей мере одно из нагнетателя окислителя, электромагнита, радиочастотной антенны или нагнетателя горячего материала.

[017] В некоторых примерных вариантах осуществления первого и второго аспектов добытый синтез-газ потребляют в устройстве с топливным электрохимическим элементом или сжигают для генерирования пара, чтобы генерировать энергию, или пара для извлечения нефти, или же используют как химическое сырье для производства химических продуктов, таких как топливо, пластмасса, метанол, водород, сера и мочевины.

[018] В некоторых примерных вариантах осуществления первого и второго аспектов нефть или другие текучие среды периодически или непрерывно добывают из пласта либо через одну и ту же скважину (скважины), либо через дополнительные скважины, которые могут быть вертикальными, горизонтальными, наклонными или обладать другими геометрическими признаками.

[019] Снижение удельных выбросов диоксида углерода может в некоторых вариантах осуществления включать использование на месте газификации для получения синтез-газа, содержащего пар, монооксид углерода, диоксид углерода и водород, а также метан и другие углеводороды, полученные в виде растворенного в нефти газа или в свободной газовой фазе. Если нагнетают азот, то он также, как

правило, является компонентом синтез-газа. Если присутствует сера, то соединения серы, такие как  $H_2S$ , могут быть частью синтез-газа. Затем в процессе на поверхность добывают продукт в виде синтез-газа.

[020] Добытый синтез-газ представляет собой альтернативный энергоноситель или сырьевой газ для нефтехимических продуктов, который может быть добыт на поверхность из углеводородных пластов. Добытый синтез-газ может быть сожжен на поверхности для генерирования энергии или тепла или потреблен в устройствах с топливными элементами для производства энергии, или использован как сырье для производства метанола, жидкого топлива, пластмасс, аммиака, водорода, графена и мочевины.

[021] Преобразование на месте нефти, газа или и того и другого, и в частности обычной сырой нефти, тяжелой нефти и битума, или природного газа, в синтез-газ в настоящее время считается желательной технологией следующего поколения. Однако в настоящее время не используется ни один коммерчески жизнеспособный процесс.

[022] В общих чертах, способы и системы, описанные в данном документе, рассматривают углеводородные ресурсы как массивные источники синтез-газа; причем не только углеводородное сырье, но и пластовую воду, которая может подавать водород в генерируемый синтез-газ и подавать дополнительное окислительное вещество внутри пласта.

[023] В общем, в настоящем описании описаны способы обработки нефтяных пластов (таких как, например, обычная нефть, тяжелая нефть, пласты нефтяного песка, пласты карбонатной нефти, природного газа, сероводорода) для извлечения синтез-газа. Некоторые примерные способы включают нагнетание кислорода или богатого кислородом потока в пласт для сжигания части окисляемых текучих сред в пласте. Во время этой части процесса никакие текучие среды не добывают на поверхность. После того, как в пласте будет достигнута заданная температура, нагнетание можно остановить и пласту позволяют пропитаться, в течение этого

времени расходуется оставшийся в пласте кислород и могут происходить реакции газификации и реакция конверсии водяного газа. Во время этих реакций внутри пласта образуются водород и оксиды углерода. В эксплуатационной скважине, когда она открыта для добычи, на поверхность добывают смесь водорода, оксидов углерода, воды (синтез-газ), углеводородных газов и сероводорода. После того, как скорость добычи синтез-газа падает до порогового значения, нагнетание кислорода может начинаться снова, и процесс может повторяться множество раз, пока общая скорость добычи синтез-газа не упадет до порогового значения. Таким образом, процесс выдает синтез-газ из углеводородов и воды, которые находятся внутри пласта. Вода или пар, или разновидности горючего топлива, или отходы, такие как органический материал или сточные воды, или другие текучие среды или частицы, можно нагнетать в пласт с кислородом или отдельно от него.

[024] В некоторых примерных вариантах осуществления ингредиенты для получения синтез-газа из нефти могут включать тепло, нефть и воду. Окисление пласта посредством нагнетания кислорода в пласт является одним из способов генерирования тепла внутри пласта. Реакции, происходящие в пласте при повышенных температурах, могут включать низкотемпературное и высокотемпературное окисление, пиролиз (термический крекинг), акватермолиз (реакции водного пиролиза или термического крекинга в присутствии воды), реакции газификации и реакцию конверсии водяного газа.

[025] Настоящий способ также может быть использован в нефтяных или газовых пластах, в которых содержание воды пласта считается настолько высоким, что в обычной практике эти пласты не использовались бы для добычи нефти или газа соответственно. Предлагаемый здесь способ может быть использован в углеводородных пластах с высоким содержанием воды, поскольку водород получают не только из углеводородного сырья, но и из воды внутри пласта. Таким образом, предлагаемый здесь способ может быть использован в пластах, в которых высокое содержание воды делает их менее ценными, чем насыщенные нефтью пласты. Таким образом, этот способ преобразует изначально менее ценные

углеводородные пласты в ценные источники энергии и химического сырья, поскольку водород получают как из углеводородного сырья, так и из воды в пласте.

[026] Если синтез-газ содержит соединения серы, такие как  $H_2S$ , то водород может быть отделен от  $H_2S$  для создания ценного источника водорода.

[027] Подробное описание примерных вариантов осуществления настоящего изобретения приведено ниже. Однако следует понимать, что настоящее изобретение не следует рассматривать как ограниченное этими вариантами осуществления. Примерные варианты осуществления направлены на конкретные применения настоящего изобретения, хотя специалистам в данной области техники будет ясно, что настоящее изобретение имеет применимость за пределами примерных вариантов осуществления, изложенных в данном документе.

### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

[028] Особенности и преимущества вариантов осуществления согласно настоящей заявке станут очевидными из следующего подробного описания и прилагаемых графических материалов, на которых:

[029] На фиг. 1A–1C показаны схематические изображения этапов первого примерного варианта осуществления настоящего изобретения, в котором углеводородный пласт нагревают посредством окисления части углеводородного сырья внутри пласта.

[030] На фиг. 2 показано схематическое изображение второго примерного варианта осуществления настоящего изобретения, в котором углеводородный пласт нагревают с использованием электромагнитной / радиочастотной антенны, размещенной внутри пласта.

[031] На фиг. 3 показано схематическое изображение третьего примерного варианта осуществления настоящего изобретения, содержащего множество эксплуатационных скважин.

[032] На фиг. 4 показано схематическое изображение четвертого примерного варианта осуществления настоящего изобретения, в котором окислитель непрерывно нагнетают в нефтяной или газовый пласт для получения водорода.

[033] На фиг. 5 показано схематическое изображение пятого примерного варианта осуществления настоящего изобретения, в котором одна из скважин содержит внутри себя патрон для резистивного нагрева, который используют для нагрева пласта, чтобы получать синтез-газ.

[034] На фиг. 6 показана схема, изображающая некоторые из реакций, которые могут происходить в описанных в данном документе способах, которые происходят в пласте, для получения синтез-газа.

[035] Примерные варианты осуществления настоящего изобретения теперь будут описаны ниже со ссылкой на сопроводительные графические материалы.

## **ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ПРИМЕРНЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

[036] Во всем следующем описании изложены конкретные подробности, чтобы обеспечить специалистам в данной области более полное понимание. Однако общеизвестные элементы могут не быть показаны или описаны подробно, чтобы избежать нежелательного затруднения понимания настоящего изобретения. Последующее описание не следует рассматривать как исчерпывающее или ограничивающее настоящее изобретение точной формой любого примерного варианта осуществления. Соответственно, описание и графические материалы следует рассматривать и интерпретировать в иллюстративном, а не ограничительном смысле.

[037] Настоящее изобретение относится к обработке нефтяного или газового пласта для получения синтез-газа из углеводородного сырья и воды внутри пласта. Обработка включает нагревание пласта для обеспечения реакций газификации и конверсии водяного газа, чтобы получать синтез-газ внутри пласта и затем использовать эксплуатационную скважину для добычи водорода из пласта.

[038] Обычно считается, что высокое содержание воды в нефтяных и газовых пластах является неблагоприятным для добычи нефти или газа. Описанные в данном документе способы показывают, что высокое содержание воды является преимуществом для производства синтез-газа, поскольку вода предоставляет водород. Во многих реакциях, в ходе которых образуется синтез-газ, водород поступает из воды в пласте, где при температурах реакций пластовая вода преобразуется в пар, который затем участвует в реакциях парового риформинга с углеводородами в пласте.

[039] Обычно считается, что высокое содержание  $H_2S$  в нефтяных и газовых пластах является неблагоприятным для добычи нефти или газа. Описанные в данном документе способы показывают, что водород может быть отделен от  $H_2S$  и предоставляет преимущество в виде безуглеродной энергии и/или нефтехимического сырья.

[040] В существующих процессах производства энергии на месте из нефтяных и газовых пластов на поверхность выводятся или нефть, или газ, или как то, так и другое.

[041] В некоторых вариантах осуществления настоящие способы используют другой подход в отношении следующих факторов: синхронизации нагревания пласта, синхронизации реакций газификации и конверсии водяного газа на месте и добычи синтез-газа из пласта. Все способы, указанные здесь, имеют несколько общих этапов.

[042] Сначала пласт нагревают, причем один примерный способ для этого представляет собой нагнетание кислорода, при котором в пласте происходит сгорание на месте в течение определенного периода времени; другой примерный способ для этого представляет собой использование электромагнитного или радиочастотного излучения; другой примерный способ для этого представляет собой нагнетание под высоким давлением в пласт пара высокой температуры или

другого материала высокой температуры; другой примерный способ для этого представляет собой использование электрического резистивного нагрева.

[043] Если в пласт нагнетают окислитель, то реакции газификации и конверсии водяного газа могут продолжаться после прекращения нагнетания кислорода.

[044] Добыча синтез-газа обеспечивается через эксплуатационные скважины. Таким образом, процесс производит энергию и химическое сырье в виде синтез-газа из пласта; относительно чистое топливо и полезное и ценное химическое сырье, которое можно использовать для генерирования тепла и энергии или ценных химических продуктов соответственно.

[045] В данном описании многочисленные термины и выражения используются в соответствии с их обычными значениями. Ниже приведены определения некоторых дополнительных терминов и выражений, которые используются в последующем описании.

[046] «Нефть» представляет собой неочищенный углеводородный продукт природного происхождения, содержащий углеводородные компоненты. «Битум» и «тяжелая нефть» обычно отличаются от других углеводородных продуктов на основе их значений плотности и вязкости. «Тяжелая нефть» обычно классифицируется по плотности от 920 до 1000 кг/м<sup>3</sup>. «Битум» обычно имеет плотность более 1000 кг/м<sup>3</sup>. В целях данного описания термины «нефть», «битум» и «тяжелая нефть» используются взаимозаменяемо, так что каждый из них включает в себя другой. Например, если термин «битум» используется отдельно, он включает в свой объем «тяжелую нефть». Неуглеводородные элементы, захваченные в нефти посредством суспензии, сорбции, эмульсии, молекулярного связывания или других способов, которые могут быть совместно получены или мобилизованы посредством нефти или вместе с ней, включены в это определение.

[047] В контексте данного документа термин «углеводородный пласт» относится к подземной формации, которая в основном состоит из пористой матрицы, которая содержит углеводородные продукты, а именно нефть и газ. В контексте данного документа термин «пласт тяжелой нефти» относится к углеводородному пласту, который в основном состоит из пористой породы, содержащей тяжелую нефть. В контексте данного документа термин «пласты нефтяного песка» относится к углеводородному пласту, который в основном состоит из пористой породы, содержащей битум. «Водная фаза» в породе пласта представляет собой внутрипоровую воду, присутствующую в пористой породе пласта.

[048] «Естественная температура пласта» представляет собой температуру окружающей среды холодного или ненагретого пласта. «Температура пласта» может относиться к естественной температуре пласта или температуре нагретого пласта.

[049] «Крекинг» относится к разделению более крупных углеводородных цепей на соединения с более мелкими цепями. «Гидрогенизация» относится к добавлению водорода к углеводороду или относится к реакции замещения, при которой расходуется водород.

[050] Термин «на месте» может относиться к среде подземного пласта нефтяного песка. «На месте» означает «в текущем положении» или «в исходном месте».

[051] На фиг. 1А– 1С изображен примерный вариант осуществления настоящего изобретения для обработки нефтяного пласта, в котором нефть и вода внутри пласта преобразуются в синтез-газ.

[052] В варианте осуществления, показанном на фиг. 1А– 1С, технология состоит в использовании конфигурации скважины с перевернутым самотечным дренажом с применением пара. Примерный вариант осуществления, показанный на фиг. 1А– 1С, включает три этапа на цикл. На этапе 1 (фиг. 1А) кислород нагнетают

в пласт, где часть битума сгорает с генерированием температур (например более  $700^{\circ}\text{C}$ ), необходимых для реакций газификации, конверсии водяного газа, и/или акватермолиза. На этапе 2 (фиг. 1B) нагнетание кислорода останавливают и расходуют оставшийся в пласте кислород. Поскольку пласт в районе вблизи скважины является горячим, реакции газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза продолжаются. Газовые продукты, образованный благодаря реакциям, накапливаются в пласте. После этого начинают этап 3 (фиг. 1C), когда эксплуатационную скважину открывают, благодаря чему затем синтез-газ выводят на поверхность. После того, как добыча синтез-газа падает до некоммерческих показателей, процесс можно перезапустить с этапа 1. Способ не ограничивается горизонтальными скважинами и также может применяться к вертикальным, наклонным и многоствольным скважинам. Способ может в равной степени применяться к газовому пласту. Нагнетание окислителя может продолжаться даже во время добычи синтез-газа, как изображено на фиг. 4.

[053] Другой вариант осуществления способа показан на фиг. 2. В этой реализации тепло, подводимое к пласту, образуют с помощью электромагнитной / радиочастотной антенны. Горячий пласт подвергается реакциям газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза, в результате которых внутри пласта генерируются водород, оксиды углерода и другие газы. Сгенерированный синтез-газ выводят на поверхность через эксплуатационную скважину. Способ не ограничивается горизонтальными скважинами и также может применяться к вертикальным, наклонным и многоствольным скважинам. Способ может в равной степени применяться к газовому пласту.

[054] Другой вариант осуществления изображен на фиг. 3, показанный в поперечном направлении скважины, где изображены электромагнитные / радиочастотные нагреватели, расположенные между множеством добывающих скважин для добычи водорода. Способ не ограничивается горизонтальными скважинами и также может применяться к вертикальным, наклонным и

многоствольным скважинам. Способ может в равной степени применяться к газовому пласту.

[055] В результате реакций генерируется газ, который затем обеспечивает самотечный дренаж (из-за разницы плотностей) горячей мобилизованной нефти и конденсата пара к основанию камеры для реакции газификации. Таким образом, процесс поддерживается за счет перемещения мобилизированной нефти к реакционной зоне над нагнетательной скважиной и вокруг нее. Это способствует реакциям газификации и поддерживает зону высоких температур (например выше 700°C) рядом с парой скважин.

[056] В другой реализации может быть использована одна скважина, в которой кислород нагнетают вдоль одной части скважины, а добыча синтез-газа происходит вдоль другой части скважины. Скважина может быть вертикальной, наклонной или горизонтальной.

[057] В другой реализации нагревание пласта может осуществляться электромагнитными или радиочастотными волнами.

[058] В другой реализации нагревание пласта может осуществляться с использованием пара высокой температуры под высоким давлением.

#### А. Нагревание пласта

[059] Примерные способы на первом этапе осуществляют нагревание пласта до температуры, при которой могут происходить реакции газификации и/или конверсии водяного газа между нефтью и водой в пласте.

[060] Тепло может быть доставлено в пласт различными способами, широко известными в данной области техники. Коммерчески доступные способы включают нагнетание кислорода, и в некоторых примерных способах на этапе сгорания кислород нагнетают в пласт в течение периода времени, когда часть углеводородного сырья сгорает с генерированием тепла внутри пласта с достижением температур порядка 400–700°C. Другие режимы нагревания, известные в данной области техники, включают электромагнитное или

радиочастотное нагревание. Другие режимы нагревания включают нагнетание в пласт горячих материалов.

[061] После нагнетания тепла в пласт, если это делается путем сгорания, нагнетание кислорода может быть остановлено и пласт оставлен для пропитки при повышенной температуре, достигаемой на этапе сгорания. При нагреве посредством электромагнитного нагревания это нагревание может продолжать поддерживать пласт горячим при желаемой температуре.

#### В. Период реакций газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза

[062] В течение периода времени, когда пласт находится при повышенной температуре, могут происходить реакции газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза с последующим генерированием водорода, сероводорода, монооксида углерода, диоксида углерода и пара (водяного пара). По мере того, как реакции происходят в пласте, компоненты газа собираются в пространстве пласта.

[063] На фиг. 6 изображены некоторые из реакций, которые могут происходить в пласте. На фиг. 6 топливо для окисления и газификации представляет собой битум и кокс, образующийся в результате реакций, происходящих во время процесса. Битум может быть представлен как смесь мальтенов (насыщенных углеводородов, ароматических соединений и смол) и асфальтенов (крупных циклических соединений с большой вязкостью). Во время окисления мальтены могут преобразовываться в асфальтены. Асфальтены могут быть преобразованы посредством как низко-, так и высокотемпературного окисления, а также термического крекинга, в различные газовые продукты, включая метан, водород, монооксид углерода, диоксид углерода, сероводород и газы с высоким молекулярным весом (например, пропан и т. д.) и кокс. Затем кокс может быть преобразован посредством реакций окисления и газификации в продукты, включая, помимо прочего, метан, воду (пар), монооксид углерода, диоксид углерода и водород. Кроме того, метан может быть преобразован посредством реакций газификации в водород, диоксид углерода и монооксид

углерода. Монооксид углерода и вода (пар) могут быть преобразованы посредством реакции конверсии водяного газа в водород и диоксид углерода. В целом, компоненты топлива в системе, например нефть, кокс, метан, могут быть газифицированы с получением смесей монооксида углерода, диоксида углерода, сероводорода и водорода.

### С. Добыча синтез-газа

[064] По прошествии достаточного времени для генерирования синтез-газа этот газ добывают из пласта через эксплуатационную скважину. Поскольку синтез-газ удаляют из пласта, это стимулирует реакции, в ходе которых еще генерируется синтез-газ. В некоторых вариантах осуществления нефть, накопленную вблизи нижней скважины для нагнетания кислорода, могут добывать через ту же самую скважину для нагнетания кислорода или отдельную скважину и продавать на рынке, в то время как синтез-газ добывают через верхнюю нагнетательную скважину. Эту нефть можно добывать либо непрерывно, либо одновременно с добычей синтез-газа, или каналы для кислорода могут нагнетать кислород из той же скважины, из которой непрерывно или периодически добывают нефть. Может оказаться преимущественным изменение подхода к добыче в зависимости от таких свойств, как изменение камеры для синтез-газа, подвижность нефти, пластовое давление, или других факторов. При выполнении в одном и том же стволе скважины могут иметь место дополнительные преимущества, такие как частичное скважинное окисление и частичное повышение качества / гидрогенизация нефти внутри пласта или трубы, подъемные эффекты при расширении газа сгорания (контролируемое создание некоторого количества синтез-газа в поднимающемся нефтяном столбе выталкивает текучую среду на поверхность, как в гейзере, и одновременно создает вакуум/сифон большого объема), изоляция или вытеснение песка из скважины внутри пласта или на поверхность посредством связанных эффектов давления и мобилизации и нагревание нефти / эмульсии по мере ее подъема на поверхность. Некоторая часть водорода может поступать из воды, которую добывают совместно с нефтью. Это может быть сделано путем

добавления небольших количеств нисходящего кислорода к восходящим текучим средам в пирофорных условиях концентрации / температуры.

[065] Специалистам в данной области техники будет понятно, что различные компоненты синтез-газа могут быть разделены посредством большого количества хорошо известных процессов, включающих криогенную дистилляцию, абсорбцию / адсорбцию при колебаниях давления, абсорбцию / адсорбцию при колебаниях температуры, мембраны, молекулярные сита, центрифуги, магнитные поля, стратификацию / дистилляцию посредством силы тяжести / подъемной силы, химические реакции, тепловой распад, резонансные поля, облучение, электрические поля, акустическое разрушение, акустическое разделение и другие способы.

#### D. Новый цикл

[066] Если нагревание осуществляется циклически, например, от сгорания на месте с использованием нагнетания кислорода, как изображено на фиг. 1A–1C, то после того, как температура пласта упадет настолько, что скорости реакций газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза снижаются так, что добыча синтез-газа падает ниже порогового значения, новый цикл нагнетания кислорода и последующего сгорания на месте начнут нагревать пласт. После этого этапы от A до C повторяют. Если непрерывное нагревание осуществляют посредством нагнетания окислителя или способов электромагнитного, радиочастотного или резистивного нагревания, то непрерывная добыча синтез-газа может происходить из пласта.

[067] На фиг. 5 изображена реализация настоящих способов для обработки нефтяного пласта, в котором нефть и вода внутри пласта преобразуются в синтез-газ.

[068] Некоторые примерные способы нагревают пласт до температуры, при которой происходят реакции газификации и/или конверсии водяного газа с участием нефти и/или воды внутри пласта, посредством непрерывного нагнетания

кислорода в пласт (как показано на фиг. 4), чтобы вызвать реакции сгорания на месте, которые нагревают пласт до предпочтительной температуры от 400 до 700°C. Этот температурный диапазон может быть временно достигнут или превышен в промежуточном масштабе или в пределах областей пласта и не требует, чтобы вся средняя температура пласта находилась в пределах этого диапазона.

[069] Пока пласт нагревается и находится при повышенной температуре, происходят реакции газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза с последующим образованием водорода, сероводорода, монооксида углерода, диоксида углерода и пара (водяного пара). По мере того как реакции происходят в пласте, компоненты газа собираются в пространстве пласта, но имеют тенденцию подниматься из-за эффектов плавучести в пласте, в котором мобилизованная нефть собирается вокруг нагнетательной скважины, поддерживая там реакции, и газы поднимаются вверх по направлению к эксплуатационной скважине выше и собираются в пласте. Синтез-газ добывают из пласта через эксплуатационную скважину.

[070] По мере того как кислород нагнетают в пласт, внутри пласта создается реакционная зона. Реакционная зона характеризуется зоной с температурой выше исходной температуры пласта. В реакционной зоне температура повышается выше 450°C, а на фронте реакции температура может превышать 900°C. При температурах выше 400°C внутри горячей зоны происходят реакции газификации, в результате которых генерируется водород, который добывают на поверхность исключительно посредством верхней добывающей скважины. Внутри горячей зоны вокруг нагнетательной скважины нагретая нефть стекает и скапливается вокруг нагнетательной скважины, обеспечивая тем самым больше топлива для реакций, происходящих вокруг нагнетательной скважины.

[071] Синтез-газ, генерируемый благодаря предложенным здесь способам, может быть использован для генерирования энергии, тепла, сжигаться для получения пара, который может быть использован для генерирования энергии, или

пара для других процессов извлечения нефти на месте, или как сырьевой материал для производства других химических продуктов, включая топливо, пластмассу, метанол, мочевины, водород, серу и т. д.

[072] Если контекст явно не требует иного, во всем описании и формуле изобретения:

- слова «содержать», «содержащий» и подобные необходимо толковать во включающем смысле, а не в исключаяющем или исчерпывающем смысле; то есть в смысле «содержащий, кроме прочего».
- слова «соединенный», «связанный» или любой их вариант означает любые соединения или связь, прямые или косвенные, между двумя или несколькими элементами; связь или соединение между элементами могут быть физическими, логическими или их комбинацией.
- слова «в данном документе», «выше», «ниже» и слова подобного значения, когда они используются в целях настоящего описания, должны относиться к данному описанию в целом, а не к каким-либо конкретным частям данного описания.
- слово «или» в отношении списка из двух или нескольких элементов охватывает все следующие интерпретации слова: любой из элементов в списке, все элементы в списке и любая комбинация элементов в списке.
- формы единственного числа также включают значение любых соответствующих форм множественного числа.

[073] Слова, обозначающие направления, такие как «вертикальный», «поперечный», «горизонтальный», «вверх», «вниз», «вперед», «назад», «внутри», «наружу», «вертикальный», «поперечный», «левый», «правый», «передний», «задний», «верхний», «нижний», «ниже», «выше», «под» и тому подобные, используемые в данном описании и любых прилагаемых пунктах формулы изобретения (где присутствуют), зависят от конкретной ориентации описанного и проиллюстрированного устройства. Описанный в данной заявке объект

изобретения может принимать различные альтернативные ориентации. Соответственно, эти термины, относящиеся к направлению, не являются строго определенными и не должны толковаться в узком смысле.

[074] В тех случаях, когда компонент (например, схема, модуль, сборка, устройство и т. д.) упоминается в данном документе, если не указано иное, ссылку на этот компонент (включая ссылку на «средство») следует интерпретировать как включающую в качестве эквивалентов этого компонента любой компонент, который выполняет функцию описанного компонента (т. е. который является функционально эквивалентным), включая компоненты, которые не являются структурно эквивалентными раскрытой структуре, которая выполняет эту функцию в проиллюстрированных примерных вариантах осуществления настоящего изобретения.

[075] Конкретные примеры способов и устройств были описаны в данном документе в целях иллюстрации. Они являются только примерами. Технология, представленная в данном документе, может применяться к контекстам, отличным от контекстов примеров, описанных выше. В рамках практического применения этого изобретения возможны многие изменения, модификации, дополнения, исключения и перестановки. Настоящее изобретение включает в себя вариации описанных вариантов осуществления, которые будут очевидны для специалиста, в том числе вариации, полученные посредством: замены признаков, элементов и/или действий эквивалентными признаками, элементами и/или действиями; смешивания и сочетания признаков, элементов и/или действий из разных вариантов осуществления; комбинирования признаков, элементов и/или действий из вариантов осуществления, описанных в настоящем документе, с признаками, элементами и/или действиями других технологий; и/или исключения комбинирования признаков, элементов и/или действий из описанных вариантов осуществления.

[076] Вышеизложенное рассматривается только в качестве иллюстрации принципов настоящего изобретения. Объем формулы изобретения не следует

ограничивать примерами вариантов осуществления, изложенными выше, а ему следует давать самую широкую интерпретацию, согласующуюся с описанием в целом.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обработки углеводородного пласта для извлечения из него синтез-газа, при этом пласт содержит углеводородное сырье и воду, указанный способ включает этапы:

a. нагревание пласта до температуры, достаточной для того, чтобы вызвать в пласте по меньшей мере одну из реакций газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза, причем в по меньшей мере одной из реакций участвует по меньшей мере одно из углеводородного сырья и воды;

b. обеспечение возможности для по меньшей мере одной из реакций газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза производить синтез-газ из углеводородного сырья и воды, причем синтез-газ содержит газообразный водород;

c. предоставление по меньшей мере одной скважины в пласте; и

d. добывание по меньшей мере части синтез-газа на поверхность через по меньшей мере одну скважину.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что нагревание пласта включает нагнетание окислителя в пласт для окисления по меньшей мере части углеводородного сырья.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что нагревание пласта включает расположение в пласте электромагнитной или радиочастотной антенны и генерирование с ее помощью электромагнитных или радиочастотных волн.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что нагревание пласта включает расположение в пласте резистивной нагревательной системы и нагревание пласта с ее помощью.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что этап b. длится в течение периода от одной недели до двенадцати месяцев.

6. Способ по п. 5, отличающийся тем, что этап b. длится в течение периода от одной до четырех недель.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно включает повторение и чередование этапов нагревания пласта и добывания синтез-газа.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что нагревание пласта продолжается во время добывания синтез-газа.

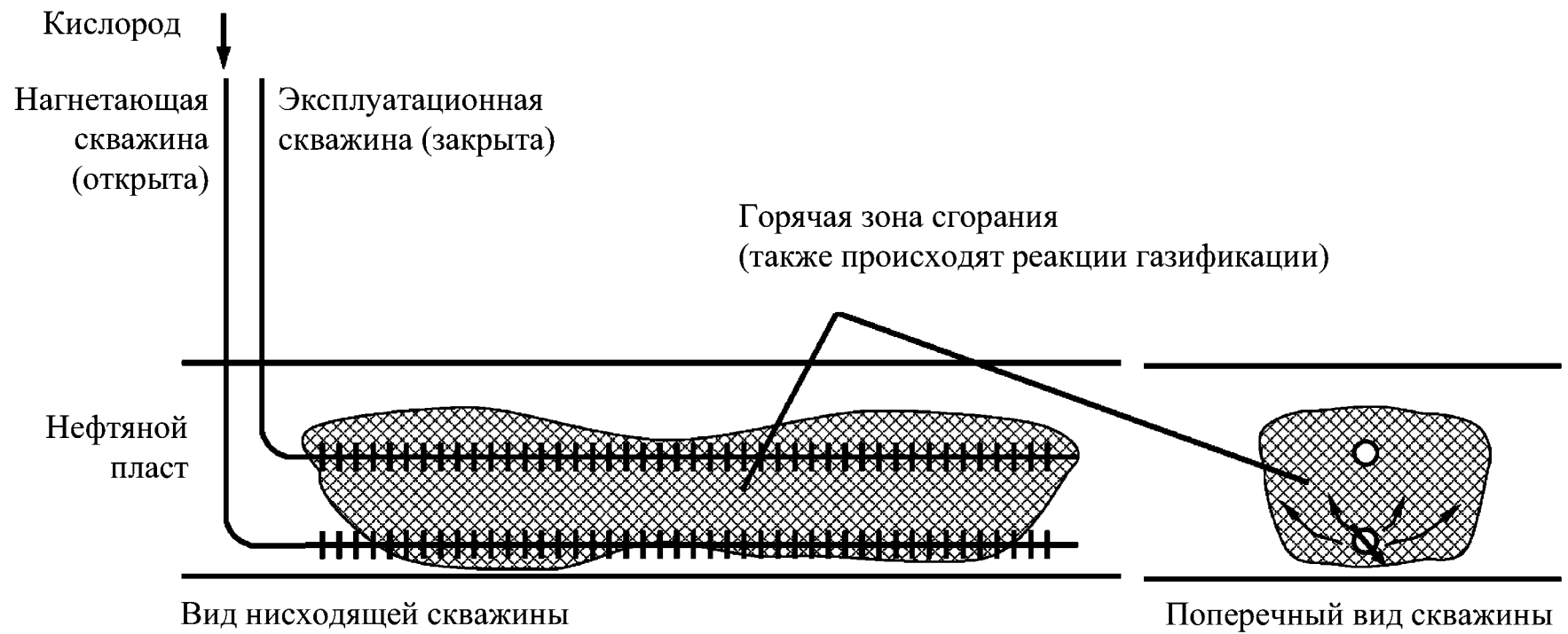
9. Система обработки углеводородного пласта для извлечения из него синтез-газа, при этом пласт содержит углеводородное сырье и воду, синтез-газ содержит газообразный водород, указанная система содержит:

устройство для нагревания пласта и генерирования таким образом синтез-газа из углеводородного сырья и воды посредством по меньшей мере одной из реакций газификации, конверсии водяного газа и акватермолиза; и

скважину, расположенную в пласте, для добычи синтез-газа на поверхность.

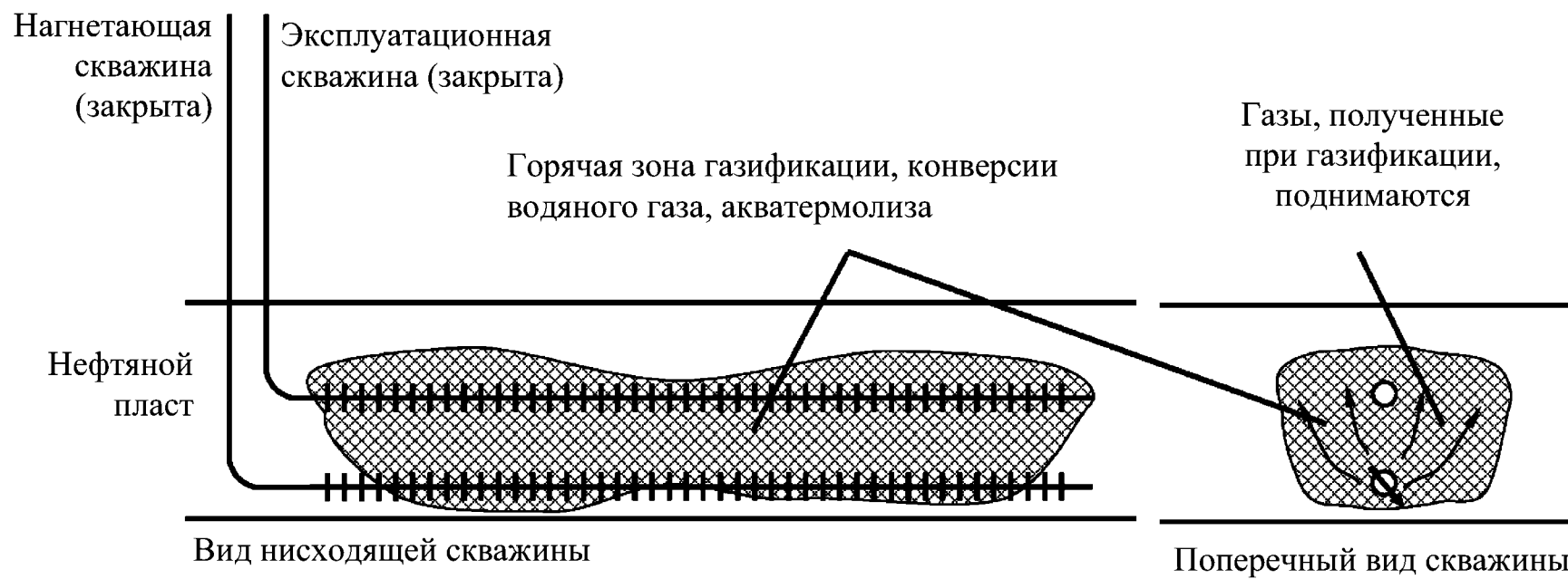
10. Система по п. 9, отличающаяся тем, что устройство для нагревания пласта выбрано из группы, состоящей из нагнетателя окислителя, электромагнита, радиочастотной антенны и нагнетателя горячего материала.

Этап 1



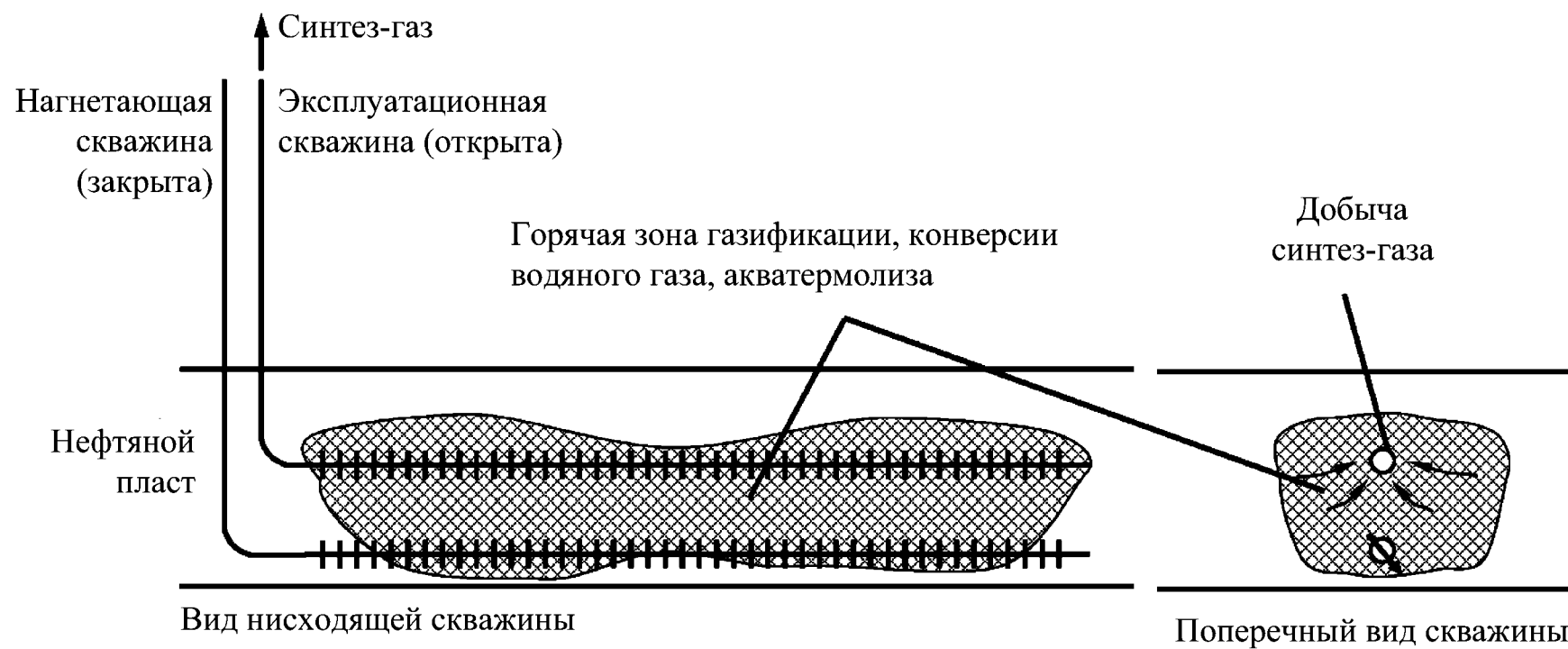
Фиг. 1А

Этап 2

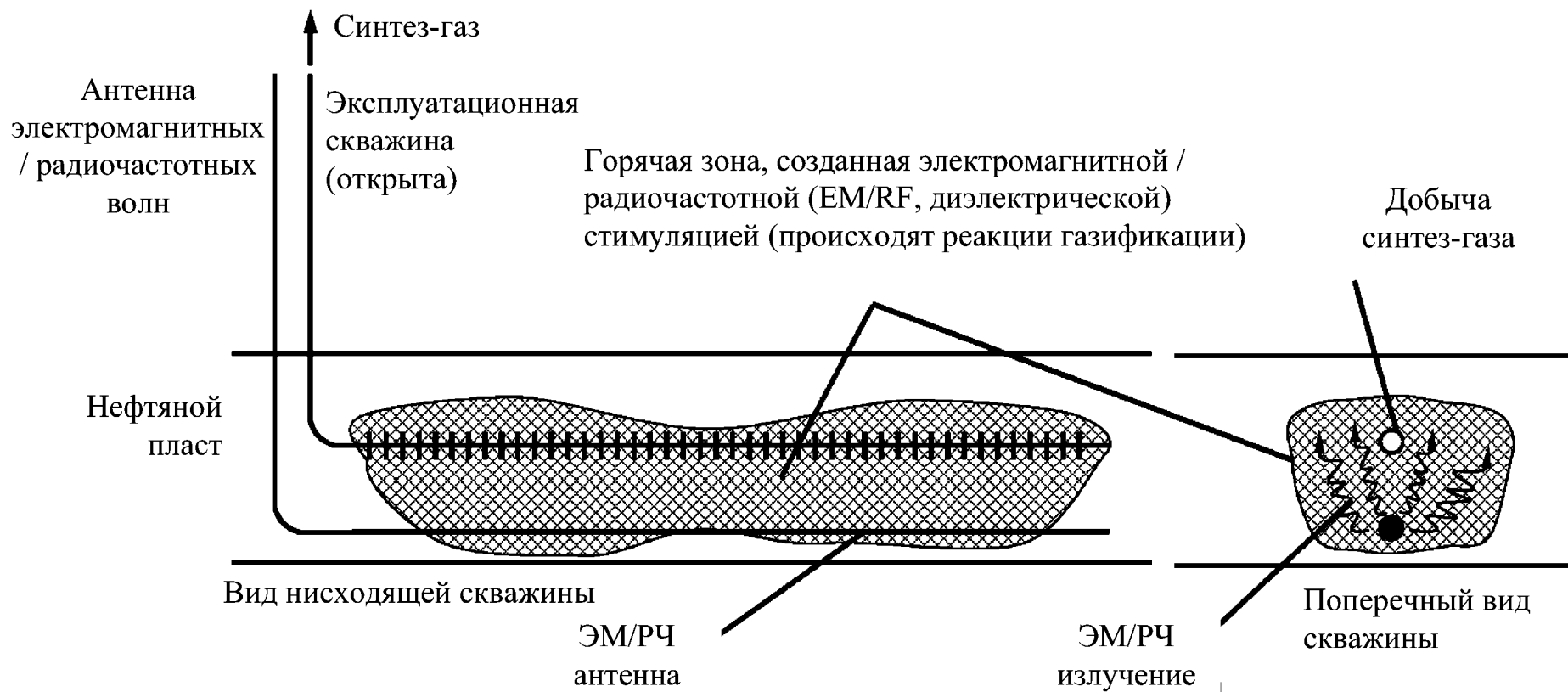


Фиг. 1В

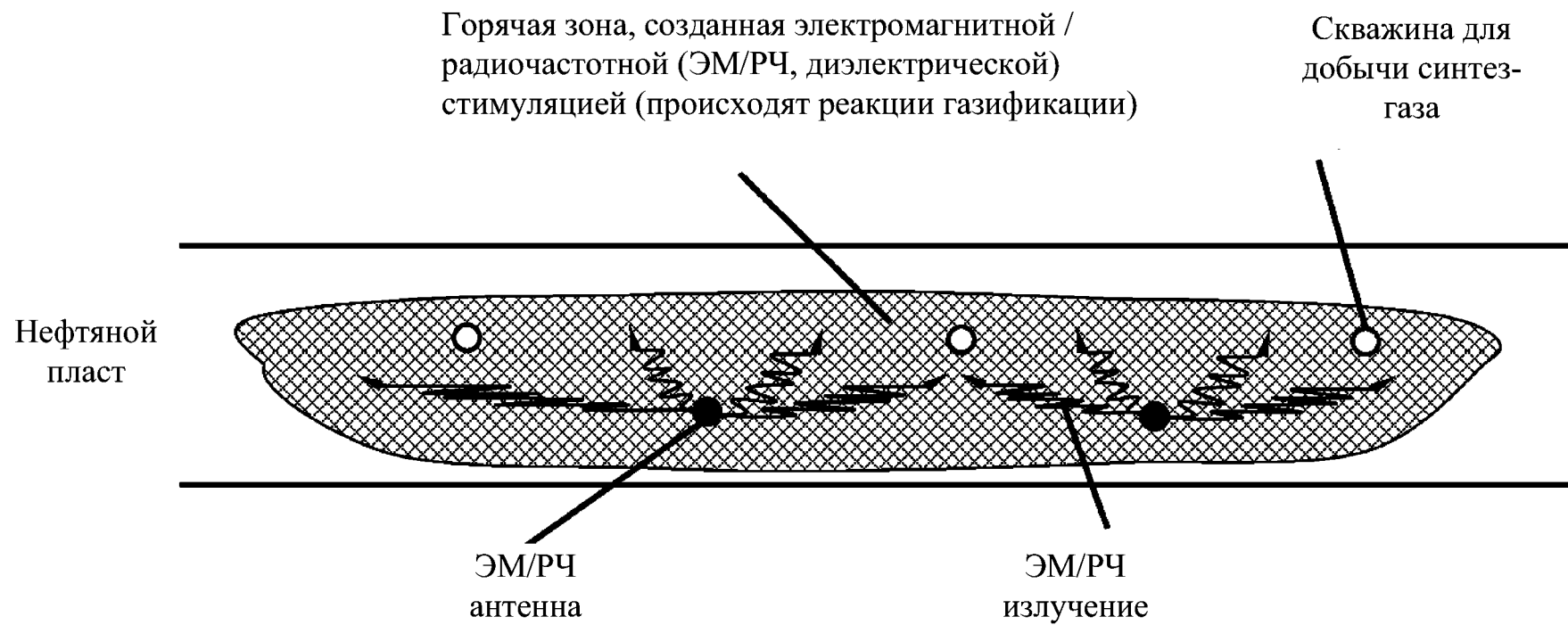
# Этап 3



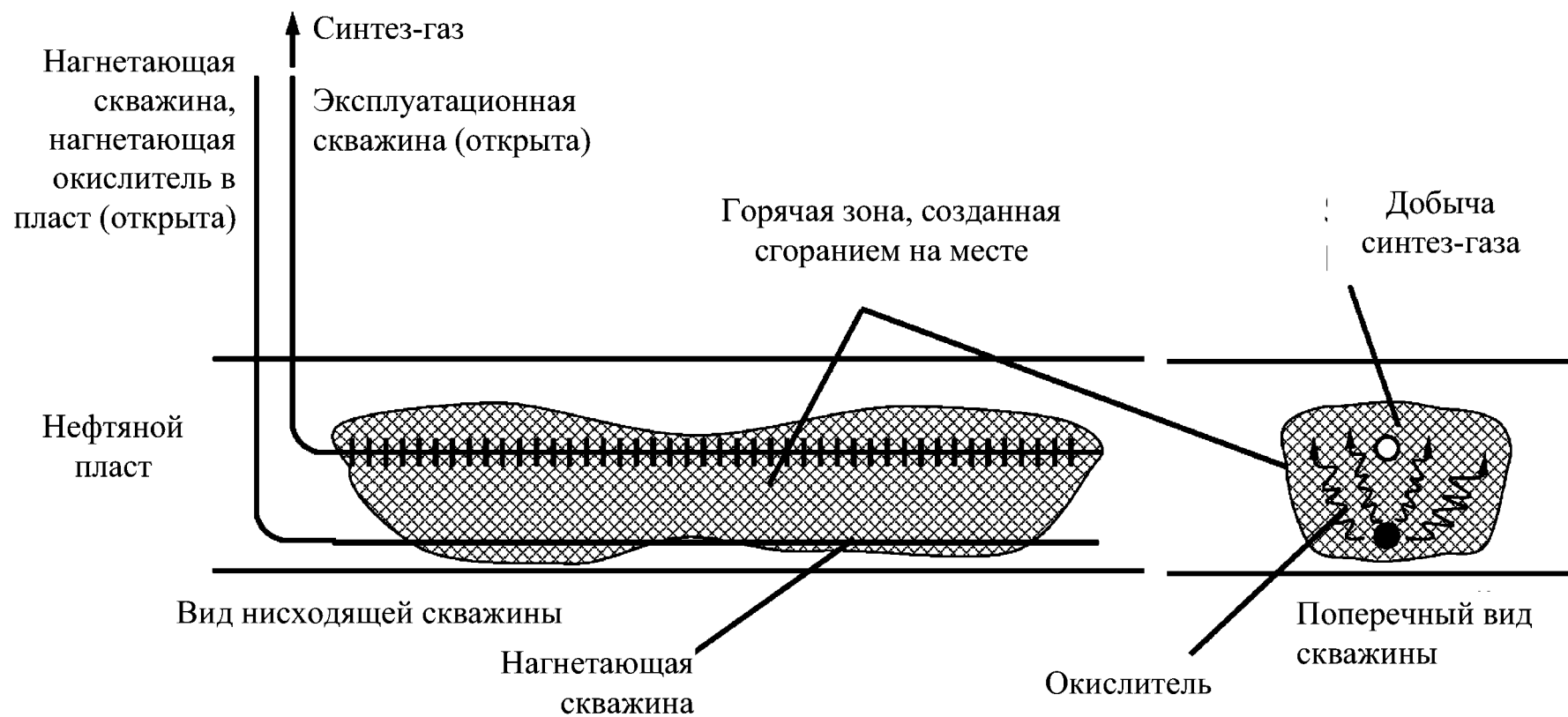
Фиг. 1С



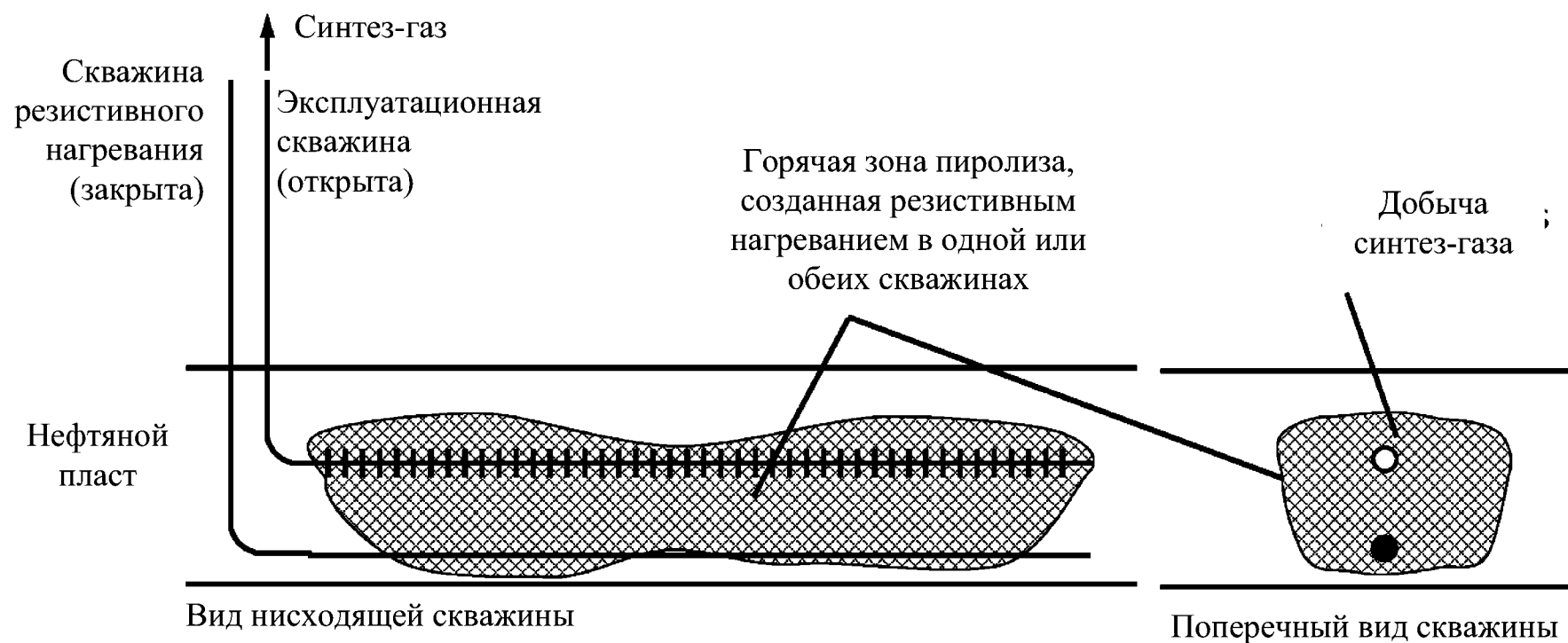
Фиг. 2



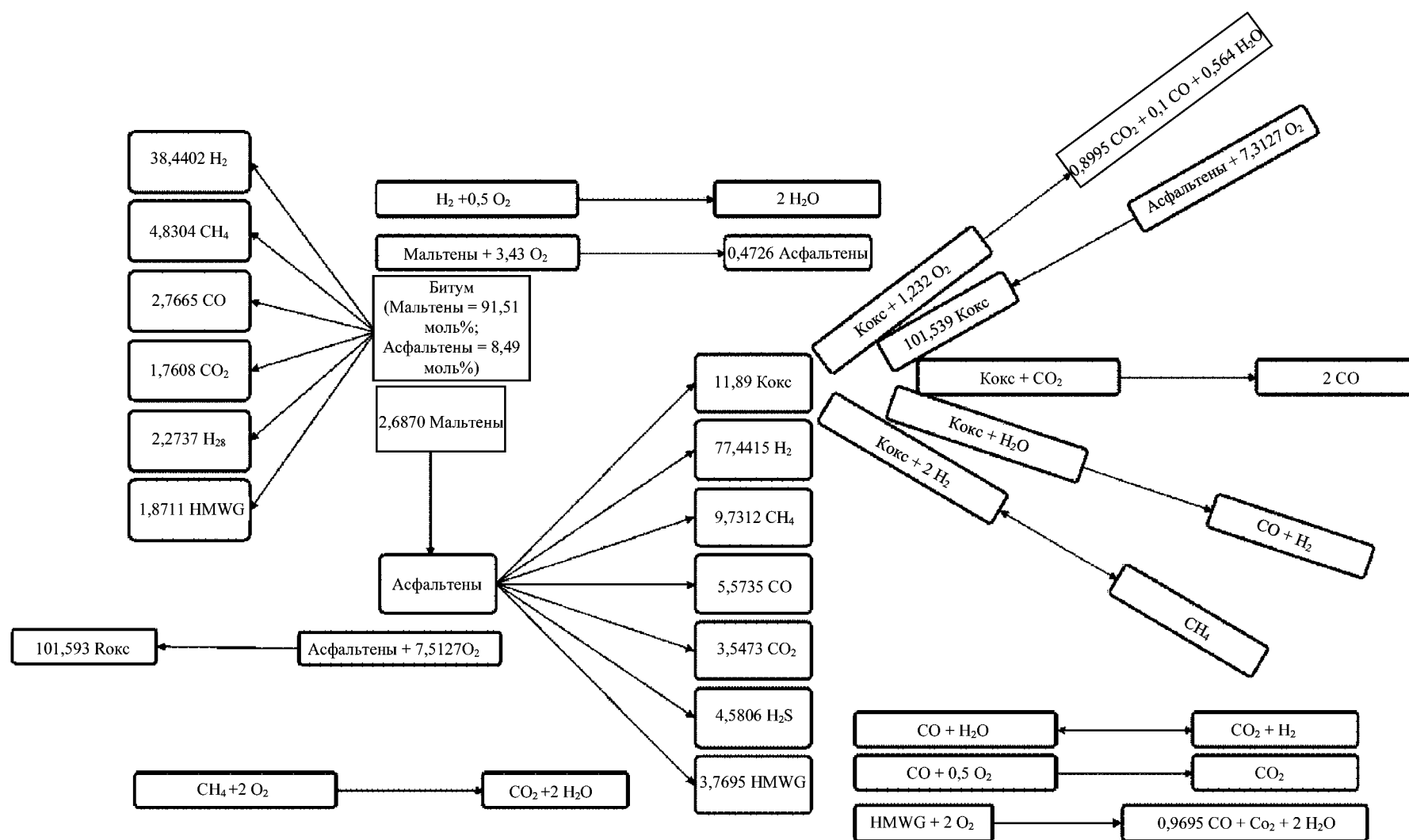
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6