

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202391173 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2023.07.28

(22) Дата подачи заявки  
2021.10.25

(51) Int. Cl. *F22B 1/18* (2006.01)  
*E21B 43/24* (2006.01)  
*E21B 43/243* (2006.01)  
*F22B 1/22* (2006.01)

(54) ПАРОГЕНЕРАТОРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

(31) 63/104,825

(32) 2020.10.23

(33) US

(86) PCT/CA2021/051497

(87) WO 2022/082321 2022.04.28

(71) Заявитель:  
ДЖЕНЕРАЛ ЭНЕРДЖИ РИКАВЕРИ  
ИНК. (СА)

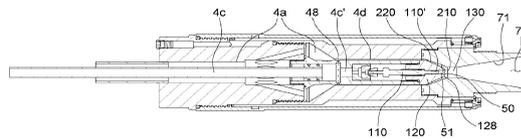
(72) Изобретатель:

Кэй Брайан, Демаре Андриан, Бэйрд  
Фаррелл, Томпсон Даниэль, Сопко  
Уэсли, Вибе Кевин, Дари Брэдли (СА)

(74) Представитель:

Хмара М.В. (РУ)

(57) Изобретение относится к инструменту для генерирования пара и газообразных продуктов сгорания. Инструмент выполнен таким образом, чтобы увеличить срок службы его воспламенителя. Воспламенитель инструмента может быть заглублен, но открыт в стенке камеры сгорания инструмента, что защищает воспламенитель от попадания на него пламени при эксплуатации. Альтернативно или дополнительно, данный инструмент может иметь каналы для входных веществ воздуха, топлива и/или воды, проходящие вдоль и кольцеобразно вокруг воспламенителя, чтобы охлаждать воспламенитель при эксплуатации.



A1

202391173

202391173

A1

## ПАРОГЕНЕРАТОРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

### Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к парогенераторному инструменту, а в частности - к парогенераторному инструменту с повышенной долговечностью и эффективностью, а также к способу использования парогенераторного инструмента.

### Уровень техники

В мире существует множество нефтяных пластов, которые содержат вязкие углеводороды, часто называемые «битумом», «смолой», «тяжелой нефтью» или «сверхтяжелой нефтью» (совместно именуемые в настоящем документе «тяжелой нефтью»), при этом тяжелая нефть может иметь вязкость в диапазоне от 3 000 до более 1 000 000 сантипуаз. Высокая вязкость препятствует извлечению нефти, так как она не может легко вытекать из пласта.

Для экономичного извлечения наиболее распространенным способом извлечения является нагрев тяжелой нефти, например, с помощью закачки пара, для снижения вязкости. Обычно тяжелую нефть из пластов добывают с помощью циклической паростимуляции (CSS, англ. cyclic steam stimulation), вытеснения паром (Drive) и парогравитационного дренажа (SAGD, англ. steam assisted gravity drainage), когда пар закачивают с поверхности в пласт для нагрева нефти, достаточно снижая вязкость нефти для эффективной добычи.

Закачка пара с поверхности имеет ряд ограничений из-за неэффективности поверхностных паровых котлов, потерь энергии в поверхностных линиях и потерь энергии в скважине. Стандартные нефтепромысловые паровые котлы преобразуют от 85% до 90% энергии топлива в пар, поверхностные трубопроводы теряют от 5% до 25% энергии топлива в зависимости от длины трубопроводов и качества изоляции, и, наконец, тепловые потери в стволе скважины могут составлять до 5-15% энергии топлива в зависимости от глубины скважины и способов изоляции в скважине. Таким образом, суммарные потери энергии могут составлять более 50% энергии топлива до того, как пар достигнет пласта. В глубоких пластах тяжелой нефти закачка пара с поверхности часто приводит к тому, что из-за потерь тепла пласт достигает не пар, а горячая вода.

Кроме того, многочисленные пласты тяжелой нефти не реагируют на обычную закачку пара, поскольку многие из них имеют малое собственное естественное давление вытеснения или вообще не имеют его. Даже когда

пластовое давление изначально является достаточным для добычи, давление явно снижается по мере продвижения добычи. Следовательно, обычные методы закачки пара в этих случаях не дают значительного результата, поскольку производимый пар находится под низким давлением, например, в несколько атмосфер. В результате о непрерывной закачке пара или «паровом вытеснении» вообще не может быть и речи. В результате во многих операциях закачки пара был принят метод циклического нагнетания, широко известный как «huff and puff». В этом методе пар закачивают в течение заданного периода времени, закачку пара прерывают, и скважину закрывают на заданный период времени, называемый «паропропиткой». После этого скважину выкачивают до заданной точки выработки и цикл повторяют. Однако пар проникает только в очень небольшую часть пласта, окружающего ствол скважины, в частности, потому что пар закачивается при относительно низком давлении.

Еще одной проблемой, связанной с традиционными методами производства пара, является образование загрязнителей воздуха, а именно выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и твердых частиц. Несколькими ведомствами установлены максимальные выбросы для таких операций закачки пара, которые обычно применяются на обширных территориях, где существуют крупные месторождения тяжелой нефти, а операции закачки пара проводятся в коммерческих масштабах. Таким образом, количество операций закачки пара в данной области техники может быть сильно ограничено, и в некоторых случаях требуется отдельная эксплуатация горизонтов для ограничения загрязнения воздуха.

Также было предложено использовать на поверхности системы сжигания под высоким давлением. В таких системах вода испаряется дымовыми газами камеры сгорания, при этом в ствол скважины закачивают и дымовые газы, и пар. Это, по существу, устраняет или, по меньшей мере, снижает потребность в устранении загрязнения воздуха в процессе горения, поскольку все продукты сгорания закачиваются в пласт, а большая часть закачиваемых загрязняющих веществ остается изолированной в нефтяном пласте. Закачиваемая смесь обычно имеет состав от 60% до 70% пара, от 25% до 35% азота, от 4% до 5% углекислого газа, менее 1% кислорода, в зависимости от того, используется ли избыток кислорода для полного сгорания, при этом следы  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ , конечно, создают кислотные материалы. Однако потенциальное коррозионное воздействие этих материалов может быть существенно уменьшено или даже устранено за счет надлежащей обработки воды, используемой для производства пара, и разбавления кислотных соединений впрыскиваемой водой.

Такая операция имеет дополнительное преимущество, когда используется комбинация пара, азота и углекислого газа, а не только пар. В дополнение к нагреву пласта и нефти на месте за счет конденсации пара, углекислый газ растворяется в нефти, в частности, в зонах пласта перед паром, где нефть холодная, а азот создает давление или подкачку в пласте.

Однако очень серьезная проблема, связанная с предлагаемой в настоящее время надземной системой высокого давления, заключается в том, что она включает в себя сложное компрессорное оборудование и большую камеру сгорания, работающую при высоком давлении и высоких температурах. Такое сочетание требует квалифицированных механиков и электриков для безопасной эксплуатации оборудования.

Одним из решений проблем поверхностного генерирования и передачи парогазовой смеси вниз по скважине с помощью генерирующего оборудования, расположенного на поверхности, и загрязнения воздуха является размещение парогенератора, закачивающего смесь пара и дымовых газов в пласт, в скважине в месте рядом с пластом, в который надо закачивать пар. Это также имеет вышеупомянутые преимущества, заключающиеся в увеличении глубины, на которой закачка пара может быть экономически и практически осуществимой, и в повышении скорости и производительности за счет закачки парогазовой смеси.

Хотя было предложено много скважинных парогенераторов, существующие на данный момент конструкции, как правило, являются очень сложными, что вызывает проблемы при изготовлении и эксплуатации. Кроме того, существующие конструкции требуют частого технического обслуживания из-за скопления жесткой воды или отказов воспламенителя, поскольку скважинные условия являются экстремальными. Каждый раз, когда требуется техническое обслуживание, инструмент нужно извлекать из скважины, что требует много времени и затрат.

Требуется надежный парогенератор, который можно использовать в скважине.

#### Сущность изобретения

В одном аспекте изобретение относится к инструменту для генерирования пара и газообразных продуктов сгорания, содержащему: первый конец, выполненный с возможностью приема входных веществ, включающих в себя воздух, топливо и воду; камеру сгорания, образованную в пределах базовой стенки и трубчатой стенки, проходящей от базовой стенки до выпуска, противоположного базовой стенке, причем камера сгорания выполнена с

возможностью размещения в ней пламени и обеспечения прохода для выхода продуктов сгорания через выпуск; отверстие в базовой стенке, открытое в камеру сгорания; и воспламенитель, расположенный в указанном отверстии и заглубленный относительно камеры сгорания, указанный воспламенитель выполнен с возможностью воспламенения топлива и воздуха для создания пламени.

В другом аспекте изобретение относится к инструменту для генерирования пара и газообразных продуктов сгорания, содержащему: первый конец, выполненный с возможностью приема входных веществ, включающих в себя воздух, топливо и воду; трубчатую стенку, проходящую от базовой стенки до выпуска, противоположного базовой стенке, причем трубчатая стенка выполнена с возможностью размещения в ней пламени; воспламенитель внутри трубчатой стенки, выполненный с возможностью воспламенения топлива и воздуха для создания пламени; канал, подающий по меньшей мере одно входное вещество внутрь инструмента и окружающий наружную окружность воспламенителя.

#### Краткое описание чертежей

Для лучшего понимания изобретения прилагаются следующие чертежи:

Фиг. 1А - вид в разрезе парогенераторного инструмента с пламенем.

фиг. 1В - вид в разрезе варианта осуществления внутренней конструкции инструмента.

Фиг. 2А - вид в разрезе другого парогенератора в нефтяном пласте, показывающий дополнительные форсунки и наружный корпус.

Фиг. 2В - вид в разрезе другого парогенераторного инструмента в нефтяном пласте с опорами смесительного устройства и редукционный конус в опциональных вариантах осуществления.

Фиг. 2С - изометрический вид парогенераторного инструмента, включающего в себя опоры смесительного устройства и редукционный конус с удлинением.

Фиг. 3А - аксонометрический вид парогенератора, показывающий форсунки на наружной поверхности инструмента.

Фиг. 3В - аксонометрический вид парогенератора, показывающий форсунки в действии.

Фиг. 3С - аксонометрический вид парогенератора, показывающий форсунки и удлинительные водоводы в действии.

Фиг. 4А - вид сверху парогенератора, установленного и соединенного с поверхностью с помощью колтюбингового шлангокабеля.

Фиг. 4B - вид сверху парогенератора, установленного и соединенного с поверхностью с помощью многоканального шлангокабеля Arмограк.

Фиг. 4C - вид сверху установленного парогенераторного инструмента, соединенного с поверхностью колтюбинговым шлангокабелем с кольцевым байпасом для ввода окислителя.

Фиг. 4D - вид в разрезе парогенератора, включающего в себя кольцевой воздушный байпас.

Фиг. 5 - схематический вид парогенераторного инструмента по фиг. 1B в сечении, взятом по линии а-а.

Фиг. 6 - вид в разрезе парогенератора, показывающий его внутреннюю конструкцию, включающую в себя каналы для топлива, воздуха, воды и управления воспламенением.

Фиг. 7 - вид в разрезе варианта осуществления держателя со свечой, показанной пунктиром, как она будет установлена в держателе.

Фиг. 8A - вид с торца нижней части парогенератора.

Фиг. 8B - часть парогенераторного инструмента по фиг. 8A, разрезанного по линии М-М.

Фиг. 8C – увеличенный фрагмент фиг. 8B.

#### Осуществление изобретения

Подробное раскрытие и примеры, приведенные ниже, предназначены для описания различных вариантов осуществления настоящего изобретения и не предназначены для представления единственных вариантов осуществления, предполагаемых изобретателем. Подробное раскрытие изобретения включает в себя конкретные детали для обеспечения всестороннего понимания настоящего изобретения. Тем не менее, специалистам в данной области техники будет очевидно, что настоящее изобретение может быть реализовано на практике без этих конкретных деталей.

Изобретение, в целом, относится к парогенераторному инструменту и к способу генерирования пара в скважине или на поверхности для закачки пара и газообразных продуктов сгорания в нефтяной пласт.

Хотя закачка пара часто используется для извлечения тяжелой нефти, аспекты изобретения не ограничиваются использованием для извлечения тяжелой нефти, но применимы к генерированию пара в общем. Области применения включают в себя, но не ограничиваются этим, получение пара для промышленного применения, очистку воды, обработку почвы и т. д. Кроме того, парогенераторный инструмент может использоваться во множестве

конфигураций, например, на поверхности или в скважине в вертикальной, горизонтальной или других ориентациях ствола скважины.

На фиг. 1, 3А и 3В показан парогенераторный инструмент 100, выполненный с возможностью приема подачи топлива и воды и, таким образом, сжигания топлива и получения пара из воды. Инструмент можно использовать в скважине или на поверхности. В проиллюстрированном на фиг. 1 варианте осуществления инструмент 100 включает в себя: соединительный компонент 2 инструмента, выполненный с возможностью приема входных веществ воды, топлива и окислителя; компонент 4 разводки потоков, соединенный с соединительным компонентом и направляющий поступления через инструмент; и компонент 5 воспламенения, выполненный с возможностью воспламенения топлива для создания пламени FL. Инструмент 100 дополнительно включает в себя камеру 74 сгорания, выполненную с возможностью размещения в ней пламени; и множество водяных форсунок 6 на наружной поверхности инструмента. Каждая из форсунок имеет отверстие и выполнена с возможностью выпуска воды на наружную поверхность камеры 74 сгорания. Вода превращается в пар во время работы инструмента 100. Соединительный компонент 2 инструмента определяет первый конец, который можно считать верхним концом парогенераторного инструмента, а камера сгорания находится на втором, противоположном конце инструмента. Длинная ось инструмента определяется как проходящая от первого конца к противоположному концу.

Для соединения с инструментом в процессе эксплуатации можно предусмотреть одну или более линий 1 подачи для доставки входных веществ. Линии 1 принимаются в соединительном компоненте 2 инструмента. Соединительный компонент 2 инструмента выполнен с возможностью приема линий 1 и соединения с ними.

Соединительный компонент 2 инструмента может включать в себя коннектор или фиксатор, обеспечивающий связь между несколькими подаваемыми потоками и компонентом 4 разводки потоков. Линии 1 могут обеспечивать подачу под давлением входящих потоков, таких как окислитель (например, воздух), топливо и вода или управление воспламенением для соединительного компонента 2 инструмента. Входные вещества могут приниматься компонентом 2 с помощью соединений, которые могут быть соответствующим образом герметизированы и обеспечивают простоту замены, ремонта и модификации.

Компонент 4 разводки потоков подает топливо и воздух от компонента 2 к компоненту 5 воспламенения, а также подает воду к форсункам 6, 12а. Компонент

4 разводки потоков имеет первый конец 41, который принимает подаваемые потоки от соединительного компонента 2 инструмента. Компонент 4 разводки потоков направляет подаваемые потоки внутри инструмента для их использования и потребления. Топливо и воздух могут подаваться в инструмент по линиям 1, отводиться в инструмент компонентом 4 разводки потоков и сжигаться в камере 74 сгорания. Вода может вводиться в инструмент из линии 1, отводиться в водяные форсунки 6 компонентом 4 разводки потоков и частично испаряться в пар по мере того, как вода протекает вдоль наружной стенки камеры сгорания или в горячие газообразные продукты сгорания, выходящие из камеры сгорания.

В частности, компонент 4 разводки потоков включает в себя множество каналов 4а, 4б, 4с для текучей среды, по которым входные вещества — топливо, вода и окислитель — могут быть направлены внутрь инструмента. Каналы для текучей среды включают в себя: канал 4а окислителя, проходящий от первого конца инструмента, например, от его входного отверстия, к камере сгорания, водяной канал 4б, проходящий от соединительного компонента 2 инструмента к форсункам 6а, и топливный канал 4с, проходящий от соединительного компонента 2 инструмента к камере 74 сгорания. В дополнение к каналам для текучей среды может иметься канал 4е электропитания/управления, проходящий от верхнего конца инструмента к компоненту 5 воспламенения.

Компонент 5 воспламенения выполнен с возможностью воспламенять топливо и окислитель, поступающие в камеру сгорания. Например, компонент 5 воспламенения открыт в камеру 74 сгорания. После воспламенения потоки топлива и окислителя продолжают гореть в камере 74 сгорания. Компонент воспламенения включает в себя воспламенитель, такой как свеча/генератор искры, нагретую поверхность, систему подачи пирофорных или гиперголических жидкостей (т.е. жидкости, которая воспламеняется при контакте с воздухом) и т.д.

Компонентом 5 воспламенения можно управлять посредством системы управления, которая определяет, когда компонент воспламенения приводить в действие. Система управления может обладать другими функциями, такими как регулирование стабильности пламени или степени сгорания топлива, или измерение стехиометрических данных, давления воздуха и топлива, подаваемых в инструмент, и датчиков, расположенных внутри компонента 4 разводки потоков. Таким образом, инструмент может иметь линию управления воспламенением, которая связана с линией 19 управления в линии 1. Линия 19 управления может быть пропущена по каналу 4е, проходящему от входной линии 1 к компоненту

воспламенения. Для линии 19 управления может потребоваться электрическое подключение 91 в компонентах 2 и 5.

Камера сгорания 74 проходит на втором конце инструмента, противоположном верхнему концу. Камера сгорания образована внутри трубчатой стенки 7, проходящей на втором конце. Трубчатая стенка имеет длину  $L$ , проходящую в осевом направлении от базовой торцевой стенки 50 до открытого конца, который образует выпуск 40 из камеры. Длина  $L$  может составлять от 300 мм до 1000 мм в зависимости от требований к воде и выходной мощности.

Стенка 7 камеры сгорания имеет внутреннюю поверхность 71, обращенную в камеру сгорания, и наружную поверхность 72, которая в варианте осуществления на фиг. 1 представляет собой часть наружной поверхности инструмента. Стенка 7 может представлять собой полую трубчатую конструкцию с внутренней поверхностью 71, образующей внутренний диаметр полой трубчатой конструкции, и наружной поверхностью 72, являющейся наружной поверхностью. В проиллюстрированном на фиг. 1 варианте осуществления стенка, по существу, является цилиндрической, концентрической с длинной осью инструмента, и в этом случае внутренняя поверхность 71 и наружная поверхность 72 могут быть в целом цилиндрическими. Тем не менее, как раскрывается ниже, рассматриваются и другие геометрические формы.

Диаметр выпуска 40 камеры сгорания может варьироваться. В одном варианте осуществления диаметр выпуска 40 меньше диаметра камеры 74 сгорания, примыкающей к базовой стенке 50. Стенка, образующая сужающееся выпуск 40, может называться соплом 75 сгорания. Сопло 75 сгорания воздействует на выходящие газообразные продукты сгорания, сужая их, чтобы они проходили через более узкий диаметр сопла 75 сгорания. Таким образом, сопло 75 сгорания создает противодействие в камере 74, препятствуя попаданию воды в камеру сгорания. Кроме того, сопло 75 сгорания удерживает воздух и топливо внутри камеры сгорания, обеспечивая полное сгорание.

Камера 74 сгорания образована в пределах базовой стенки 50 и внутренней поверхности 71, а ее длина  $L$  находится между базовой стенкой 50 и выпуском 40. Пламя находится в камере 74 сгорания, а продукты сгорания покидают камеру сгорания из выпуска 40.

На фиг. 1В показан вариант осуществления внутренней конструкции инструмента и, в частности, показаны внутренние признаки компонента 4 разводки потоков и компонента 5 воспламенения. На фиг. 6 показаны входные

линии для подачи воздуха (A), топлива (F), мощности/управления воспламенением (I) и воды (W) в инструмент.

Внутренняя конструкция инструмента может быть выполнена с возможностью защищать компонент 5 от поломки, в том числе от термической деструкции, и управлять работой компонента 5 при его использовании для воспламенения топливно-газовой смеси для создания пламени, а также управлять скоростью потока текучей среды для стабилизации пламени.

В проиллюстрированном на фиг. 1В и фиг. 6 варианте осуществления показаны компонент 5 воспламенения и компонент 4 разводки потоков. Компонент воспламенения включает в себя: воспламенитель, конкретно показанный здесь в виде свечи 110, которая выполнена с возможностью воспламенения топлива и воздуха, и держатель 120, удерживающий свечу 110 и позиционирующий ее, по существу, концентрически внутри камеры 74 сгорания относительно внутренней поверхности 71 стенок 7.

Как отмечалось выше, компонент разводки потоков включает в себя множество каналов 4а, 4б, 4с для текучей среды, действующих как трубопроводы, через которые направляются входные вещества — топливо, вода и окислитель — внутрь инструмента. Каналы могут иметь различные конфигурации. Как уже отмечалось, может иметься водяной канал 4с, оканчивающийся отверстиями 68, соединяющимися с водяными форсунками 6, канал 4е управления воспламенением/электропитанием, соединяющийся с компонентом 5, воздушный канал 4а, проходящий от верхнего конца инструмента к камере сгорания, и топливный канал 4с, проходящий от верхнего конца инструмента к камере 74 сгорания, например, открывающийся рядом с базовой стенкой 50. В варианте осуществления, проиллюстрированном на фиг. 1В и 6, воздушный канал 4а и топливный канал 4с могут объединяться внутри инструмента перед камерой сгорания для создания объединенного топливно-воздушного канала 4d. Этот объединенный газовый канал 4d может проходить от места объединения каналов 4а и 4с до камеры сгорания. Таким образом, компонент разводки потоков может включать в себя топливный канал 4с, заканчивающийся в топливных отверстиях 48, воздушный канал 4а через воздушные отверстия 49 и заканчивающийся возле отверстий 48, и объединенный газовый канал 4d для транспортировки смеси воздуха и топлива, начинающийся у отверстий 48 и заканчивающийся у отверстия 128, находящегося у внутренней поверхности 71 камеры сгорания.

Следует отметить, что воспламенитель, показанный здесь как свеча 110, может представлять собой свечу накаливания, искровую свечу, нагретую

поверхность, систему подачи для воспламенения текучей среды. Во время работы свеча может получать электропитание для создания нагретой поверхности или искры на кончике свечи, которая может воспламенить какую-либо топливно-воздушную смесь в камере 74. Воспламененная воздушно-топливная смесь создает пламя и, следовательно, горячие газообразные продукты сгорания, что, в свою очередь, позволяет испарять воду в пар. Тогда как инструменты из уровня техники могут испытывать проблемы с выходом из строя свечи, в настоящем инструменте свеча расположена с заглублением в базовой торцевой стенке 50, что защищает свечу от повреждений.

Как также показано на фиг. 7, держатель 120 закреплен в инструменте концом, открытым в камеру 74. Держатель 120 установлен внутри инструмента, фактически образуя по меньшей мере часть базовой стенки. Держатель может быть выполнен с возможностью концентрического крепления свечи и заглублен в базовую стенку 50 внутри инструмента. Держатель может соединяться с компонентом 5, например, посредством резьбы, так что к нему можно легко получить доступ для технического обслуживания и ремонта. Кроме того, свеча 110 может быть соединена с держателем 120, например, посредством резьбы, так что ее можно легко снять для технического обслуживания и ремонта.

Отверстие 51, в которое заглублена свеча, может быть, например, в держателе 120 или, в общем, в базовой стенке. Когда свеча 110 установлена внутри инструмента, она заглублена в отверстие в базовой стенке 50. В частности, воспламеняющая часть, например, по меньшей мере, генерирующая искру или нагретая поверхность свечи 110, заглублена, но открыта в базовой стенке 50 и, таким образом, будучи заглубленной, смещена от основной области камеры сгорания, и любое генерируемое пламя в камере находится на расстоянии D (фиг. 1B) от свечи. Поскольку свеча 110 смещена вглубь от камеры 74 сгорания, это предотвращает попадание пламени на свечу. Кроме того, максимальное тепло от пламени генерируется в пламени ниже по потоку по направлению к выпуску 40. Таким образом, заглубленное положение свечи с воспламеняющей частью, открытой в отверстии 51 в базовой стенке 50, и охват остальной части корпуса свечи, держателем 120 защищает свечу от пламени и максимальной температуры пламени.

Если есть опасения, что топливо и воздух могут достичь свечи 110 из-за ее расположения в отверстии 51, можно выбрать размеры отверстия, гарантирующие воспламенение. Отверстие 51 имеет диаметр, обеспечивающий достаточный доступ к свече 110 для воспламенения. Диаметр отверстия может зависеть от размера, формы и типа свечи 110, параметров топлива и/или

воздуха, а также рабочего давления инструмента. Отверстие 51 имеет глубину, которая также обеспечивает достаточный доступ к свече. Глубина может соответствовать диаметру, например, если отверстие 51 имеет относительно малый диаметр, то глубина будет небольшой, чтобы обеспечить достаточный поток воздуха и топлива к свече 110, однако, если отверстие имеет большой диаметр, то глубина отверстия будет больше по сравнению с глубиной отверстия малого диаметра. Как уже отмечалось, глубина отверстия защищает свечу от выхода из строя, например, от термической деструкции. Соотношение между диаметром отверстия и глубиной может составлять 1:2, например, если диаметр равен 12мм, то глубина равна 24мм.

Чтобы дополнительно гарантировать, что пламя не попадет на свечу, можно выбрать ее расположение относительно отверстий, из которых горючие текучие среды (т.е. топливо и воздух) попадают в камеру сгорания. Свеча 110 может находиться вблизи, но не ниже по потоку, от того места, где каналы горючей текучей среды (т.е. топлива/воздуха) заходят в камеру 74. Например, воспламеняющая часть свечи может находиться рядом с отверстием 128 объединенного газового канала 4d в камеру 74. В одном варианте осуществления воспламеняющая часть свечи может находиться рядом и либо аксиально на одном уровне, либо со сдвигом назад от отверстия 128 объединенного газового канала, свечи, отверстий, камеры, иначе говоря, относительно базовой стенки 50, при этом воспламеняющая часть, например, генерирующая искру или нагретая поверхность свечи 110 расположена заглубленной внутрь и аксиально позади, но открыто относительно поверхности базовой стенки, при этом отверстие 128 находится на базовой стенке или рядом с ней, а пламя устанавливается в камере 74 аксиально ниже по потоку от отверстия 128.

В одном варианте осуществления отверстие 128 определяется между поверхностью 220 наружного диаметра компонента воспламенения, например, поверхностью наружного диаметра держателя 120, и внутренним диаметром окружающего корпуса 210.

Отверстие 128 может быть выполнено для обеспечения эффективной динамики потока, когда горючее топливо поступает в камеру. Например, отверстие 128 может иметь меньшую площадь поперечного сечения, чем площадь поперечного сечения выше по потоку в объединенном газовом канале 4d, что обуславливает повышение скорости потока текучей среды в отверстии 128. Кроме того, фактическое устье отверстия 128 открывается на плоской поверхности базовой стенки 50, которая, например, по существу, ортогональна длинной оси инструмента (длинная ось инструмента может быть определена как

длинная ось, проходящая через свечу 110). Следовательно, в отверстии 128 происходит возмущение ламинарного потока воздуха и топлива в канале 4d с образованием турбулентности и созданием вихревых потоков 129. Вихревые потоки (стрелки 129) изменяют направление воздуха и топлива, покидающих канал 4d для текучей среды, чтобы они циркулировали обратно к отверстию 51 и свече 110 в нем, где топливо и воздух воспламеняются для создания пламени. В этом варианте осуществления устье отверстия, где наружный диаметр поверхности держателя 120 переходит в базовую торцевую стенку 50, имеет острый угол.

Как показано на фиг. 5, канал 4d и отверстие 128 могут, по существу, окружать держатель 120. Таким образом, может иметься кольцевой поток объединенного газа вокруг поверхности наружного диаметра, цилиндрического периметра, держателя 120. Таким образом, канал 4d представляет собой кольцевой зазор между держателем 120 и корпусом 210. Это является целесообразным, поскольку в случае закупорки в какой-либо точке кольцевого зазора объединенный газовый канал остается открытым и сохраняет поток воздуха и топлива в камеру сгорания, поскольку проход является кольцевым. Таким образом, объединенный газовый канал 4d обеспечивает поток объединенного газа, по существу, с кольцевым выпуском из отверстия 128 в камеру 74, причем выпуск, по существу, концентричен относительно свечи.

Кроме того, каналы 4a, 4c и 4d направляют текучую среду внутри инструмента, обеспечивая охлаждающий эффект для внутренних компонентов инструмента. В частности, внутренние компоненты 4 и 5 могут иметь тенденцию к нагреву из-за их близости к камере сгорания, в которой поддерживается пламя, и которая, следовательно, является самой горячей частью внутри инструмента. Однако воздушный канал 4a и топливный канал 4c, которые проходят внутри компонента 4, и объединенный газовый канал 4d, который проходит к камере сгорания, обеспечивают охлаждающий эффект за счет потока текучей среды к внутренним компонентам инструмента. Кроме того, объединенный газ в канале 4d течет через кольцевой зазор, окружающий держатель, и создает охлаждающий эффект для всей наружной поверхности держателя и установленной в нем свечи. Таким образом, объединенный поток газа через канал 4d дополнительно защищает свечу 110 от термической деструкции.

Размер каналов может варьироваться. Зазор проходов можно выбрать для управления скоростью и давлением воздуха, топлива и объединенного газа. Зазор может определяться наружным диаметром 220 компонента 5 и внутренним диаметром корпуса 210. Зазор каналов обеспечивает управление скоростью

потока текучей среды внутри инструмента и влияет на установление пламени на базовой стенке 50. Следует отметить, что в данном варианте осуществления топливный канал 4с находится внутри трубки, которая проходит через отверстие, проходящее через компонент 4, а кольцевая область между трубкой и отверстием образует воздушный канал 4а. Канал 4а затем разводится через множество суботверстий перед входом в объединенный газовый канал 4d. Воздушный канал 4а, в целом, имеет большие зазор и объем воздуха проходящего через его поперечное сечение, чем канал 4d. Иначе говоря, канал 4а имеет большую общую площадь поперечного сечения, чем канал 4d. Следовательно, воздух (стрелка А), проходящий через канал 4а, сжимается в канале 4d, и в результате скорость воздушного потока в канале 4d повышается. Повышенная скорость потока объединенного газа через отверстие 128 устанавливает пламя возле базовой стенки 50 внутри камеры сгорания.

В другом варианте осуществления топливо (стрелки F), выпускаемое из топливного отверстия 48, расширяется в канале 4d, создавая эффект Джоуля-Томпсона в топливном отверстии, и охлаждает внутренние компоненты инструмента, включая компонент 5.

В другом варианте осуществления топливный канал 4с может проходить от верхнего конца инструмента до области, примыкающей к заднему концу компонента 5 и свече 110. Участок топливного канала, примыкающий к базовому концу свечи, определяется как удлиненный канал 4с'. В этом случае топливо, ожидающее прохождения через топливные отверстия 48, может течь через удлиненный канал 4с' рядом с базовым концом свечи. Поток топлива создает охлаждающий эффект на свече 110, тем самым снова защищая свечу от термической деструкции.

Камера 74 на фиг. 6 и фиг. 7 в целом имеет цилиндрическую форму или плавно расширяется от базовой стенки 50 к выпуску 40. Расширение внутреннего диаметра камеры от базовой стенки 50 к выпуску 40 может понизить скорость и давление потока текучей среды и установить пламя на базовой стенке 50. В другом варианте осуществления камера 74 сгорания может иметь сужение внутреннего диаметра камеры, при этом внутренний диаметр камеры уменьшается от базовой стенки 50 к сужению. Сужение может влиять на изменение внутреннего давления и скорость, усиливая горение и регулируя местоположение пламени. За счет выбора местоположения сужения по длине L камеры сгорания, пламя будет устанавливаться между базовой стенкой 50 и сужением или между сужением и выпуском 40. Сужение может быть определено за счет изменения формы внутренней поверхности стенки 7 или за счет

установки вставного кольца или вкладыша для камеры. Вставное кольцо или вкладыш имеет образованное в нем сужение и может быть расположено в любой точке камеры сгорания.

В варианте осуществления на фиг. 8А - 8С в камере 74 имеется сужение 130. Сужение приводит к уменьшению внутреннего диаметра камеры. Как видно из чертежей, сужение 130 приводит к тому, что внутренняя поверхность 71 камеры 74 сгорания имеет форму песочных часов, при этом внутренняя поверхность 71 стенки камеры сгорания постепенно сужается от базовой стенки 50 внутрь до самого узкого места в сужении, а затем внутренний диаметр камеры сгорания постепенно увеличивается наружу к выпуску 40. В выпуске 40 может иметься сопло 75 сжигания.

В этом варианте осуществления сужение 130 расположено рядом с базовой стенкой 50. Было обнаружено, что расположение сужения рядом с базовой стенкой приводит к тому, что пламя устанавливается на нижней по потоку стороне сужения, которая находится в области между сужением и выпуском 40. Установление пламени на нижней по потоку стороне сужения 130 удаляет пламя от свечи 110 и уменьшает ее термическую деструкцию. Это особенно эффективно при высоких расходах газа. Сужение может быть расположено в пределах первых 10% длины камеры сгорания, которые являются ближайшими к базовой стенке 10% длины.

Хотя возможны другие подходы, сужение 130 выполнено во вставке, которая вставляется между стенкой 7 и остальной частью инструмента. В этом варианте осуществления вставка выполнена с возможностью ввинчивания между компонентом 4 и стенкой 7. Таким образом, вставку можно извлечь и заменить, если требуется ремонт или выбор другой формы (т.е. местоположения или размера сужения).

В этом варианте осуществления держатель 120 может иметь конусообразную поверхность 220 наружного диаметра, причем наружный диаметр сужается к концу, образуя базовую стенку 50.

Держатель 120 выдается в коническую область выше по потоку от сужения 130. Таким образом, отверстие 128 из канала 4d находится очень близко к сужению 130.

Базовая стенка 50, образующая конец держателя 120, является плоской вокруг отверстия 51 и ортогональной к длинной оси камеры 74. Воспламеняющаяся часть 110' свечи 110 открыта, но заглублена в отверстии 51. Отверстие 128 окружает отверстие 51, и из-за усеченно-конического сужения наружного диаметра 220 объединенный газ выходит из канала в направлении под углом

вовнутрь и в сторону сужения (т.е. конически вовнутрь). Объединенный газ, выходящий из отверстия 128, создает некоторое вихревое действие и течет обратно к отверстию 51.

Во избежание противодействия, зазор между поверхностью 220 наружного диаметра и поверхностью 210 внутреннего диаметра корпуса, образующий канал 4d, может быть немного увеличен рядом с отверстием 128 для сохранения общей площади поперечного сечения канала 4d.

Интенсивный нагрев создается пламенем от того места, где оно установилось и ниже от него по потоку вдоль пламени и тракта продуктов сгорания из пламени. Таким образом, стенка камеры сгорания становится чрезвычайно горячей в радиальном наружу положении там, где установилось пламя, и ниже от него по потоку к выпуску 40.

Хотя вышеупомянутые внутренние компоненты используются в различных генерирующих пар инструментах, Заявители использовали эту внутреннюю конфигурацию в инструменте, уже раскрытом в одновременно рассматриваемой заявке WO 2021/026638 Заявителя, поданной 6 августа 2020 года. Этот инструмент раскрывается ниже, но следует понимать, что технология, раскрытая выше, может быть использована в раскрываемом ниже инструменте или где-либо еще.

Инструмент основан на тепле пламени, передаваемом от внутренней поверхности 71 к наружной поверхности 72.

Подаваемую воду выпускают из водяных форсунок 6 возле наружной поверхности 72 стенки. Нагрев наружной поверхности 72 приводит к тому, что вода по меньшей мере частично испаряется в пар. Форсунки 6 расположены так, что выпускаемая из них вода проходит вдоль наружной поверхности стенки 7 камеры сгорания. В частности, вместо расположения с выбросом воды в камеру сгорания, где вода может отрицательно повлиять на пламя, форсунки расположены снаружи камеры на наружной поверхности 72. Таким образом, отверстия форсунок открыты рядом с радиально обращенной наружу поверхностью 72 стенки камеры сгорания. Форсунки выполнены с возможностью выпускать воду, по меньшей мере, частично в осевом направлении вдоль наружной поверхности 72 стенки 7.

Форсунки 6, расположенные на наружной поверхности инструмента, могут быть расположены приблизительно в том месте, где топливо и окислитель поступают в камеру сгорания. Например, когда воздух и топливо соединяются и воспламеняются в камере сгорания, пламя устанавливается в камере сгорания или немного ниже по потоку от нее. Таким образом, форсунки 6 могут находиться

приблизительно в том же осевом положении, что и отверстия воздушного канала 4а и топливного канала 4с или, в варианте осуществления на фиг. 6, отверстие 128 объединенных газовых каналов 4d в камеру 74, но форсунки 6 находятся на наружной поверхности инструмента. Положение форсунок приблизительно в том же осевом положении, что и область перемешивания топлива и воздуха, позволяет выпускать воду из прохладной области на наружной поверхности инструмента.

В проиллюстрированном варианте осуществления, отверстия воздушного канала 4а и топливного канала 4с или, в варианте осуществления на фиг. 6, объединенных газовых каналов 4d в камере 74 находятся у базовой стенки 50, и, следовательно, форсунки 6 могут быть расположены приблизительно в месте расположения базовой стенки 50, которая является верхним концом камеры сгорания. Форсунки расположены вблизи или на наружной поверхности стенки камеры сгорания радиально снаружи от базовой стенки 50 камеры 74 сгорания. Например, форсунки могут находиться на наружной поверхности компонента 4 разводки потоков, расположенного на уровне, например, компланарном с компонентом 5 воспламенения, который находится у базовой стенки 50. Форсунки 6 расположены на наружной поверхности примыкающей стенки 7 компонента 4 и ориентированы и выполнены таким образом, чтобы вода распылялась из них вдоль наружной поверхности 72 стенки камеры сгорания в направлении выпуска 40. По мере протекания воды по наружной поверхности стенки 7 камеры сгорания к выпуску 40 камеры сгорания, нагретая наружная поверхность 72 камеры сгорания частично испаряет воду в пар.

Размещение форсунок в том же осевом положении, что и у базовой стенки 50, гарантирует выход воды из форсунок до того, как вода достигнет самой горячей области инструмента, которая находится на стенке 7 между местом установления пламени и выпускным концом 40. Таким образом, водяные каналы 4b до достижения форсунок 6 проходят только через соединительный компонент 2 и компонент 4 разводки потоков, и они не проходят вдоль инструмента мимо его самой горячей области. В одном варианте осуществления каналы 4b оканчиваются у форсунок 6, не проходя внутри стенки 7.

Подача воды из форсунок 6 на наружную поверхность 72 создает охлаждающий эффект на стенке 7, где вода частично испаряется с образованием пара. Таким образом, такое положение форсунок защищает стенку 7 камеры сгорания от термической деструкции и обеспечивает равномерное распределение температуры по стенке 7 камеры сгорания. Кроме того, тогда как известные из уровня техники инструменты испытывали проблемы с

образованием накипи и закупоркой водяных каналов и форсунок, в настоящем инструменте форсунки расположены выше по потоку от самой горячей области инструмента во избежание чрезмерного нагрева и образования накипи в водяном канале и форсунках. Хотя накипь может образовываться на наружной поверхности инструмента, например, на наружной поверхности 72 стенки 7, большая площадь поверхности гарантирует, что такая накипь не перекроет распыление воды и может абсорбироваться потоком воды по длине L стенки 7 камеры сгорания. Тогда как известные из уровня техники инструменты иногда требовали умягченной воды, настоящий инструмент может работать с источниками неочищенной воды, такими как техническая вода, поверхностные воды, жесткая вода и т. д.

В одном варианте осуществления наружная поверхность 72 стенки 7 обработана так, чтобы противостоять образованию накипи в результате испарения воды. Например, наружная поверхность может быть отполирована или покрыта антипригарным покрытием, таким как Тефлон™, титановые керамические соединения или аналогичные материалы. Такая обработка облегчает удаление накипи во время планового технического обслуживания.

Форсунки 6 могут быть расположены на расстоянии друг от друга по окружности инструмента таким образом, чтобы вода подавалась по всей наружной поверхности 72 стенки. Количество форсунок зависит от установочной мощности инструмента, расхода, ожидаемых потерь давления и длины камеры сгорания.

В одном варианте осуществления, как показано на фиг. 3А и фиг.3В, форсунки 6 могут быть установлены на заплечике 65 на наружной поверхности инструмента. Заплечик может быть образован за счет изменения наружного диаметра инструмента. Заплечик может находиться между компонентом 4 разводки потоков и стенкой 7 камеры сгорания. Заплечик может представлять собой кольцевую поверхность, по существу, перпендикулярную длинной оси инструмента, которая проходит по длине камеры 74 сгорания. Заплечик 65 обращен вниз, так что наружный диаметр наружной поверхности, по существу, на уровне 50 базовой стенки и над ней больше, чем наружный диаметр наружной поверхности 72 стенки камеры сгорания. Форсунки 6 расположены так, что их отверстия открываются на кольцевой стенке ступеньки таким образом, чтобы вода выпускалась аксиально вдоль наружной поверхности инструмента, параллельно стенке 7 камеры сгорания. Форсунки 6 могут быть расположены равномерно по окружности заплечика. Форсунки на заплечике 65 основного корпуса могут быть направлены в сторону выпуска 40 камеры сгорания. На фиг.

За показаны форсунки 6 в рабочем состоянии, когда воду выпускают из них концентрически вокруг инструмента и в направлении выпуска 40 с образованием водяной пленки вдоль наружной поверхности 72 стенки 7 камеры сгорания. Расстояние между форсунками на заплечике 65 может быть равномерным, чтобы обеспечить достаточное покрытие водой стенки 7 камеры сгорания. Форсунки 6 могут быть выполнены с возможностью подачи различных типов распыления, включая веер, струю, туман или распыление. Кроме того, давление воды и расход воды можно изменять в зависимости от размера инструмента, критериев исполнения и требований к мощности инструмента.

Если существует потребность в более высоком паросодержании, или продукты сгорания, выходящие из выпуска, оказываются слишком горячими, может быть целесообразным обеспечение дополнительных удлинительных водоводов 12, на дистальных концах которых имеются форсунки 12а, как показано на фиг. 2А и 3С. Удлинительные водоводы 12 могут быть соединены с каналами 4b, такими как те, которые оканчиваются на заплечике 65. Как показано на фиг. 3С, каждый трубчатый удлинительный водовод 12 может быть соединен с компонентом 4, например, присоединенным к заплечико 65, между форсунками 6 и на определенном расстоянии от них, и может проходить по длине L стенки 7 камеры сгорания, оканчиваясь рядом с выпуском 40 камеры сгорания. Удлинительные водоводы 12 могут использоваться в дополнение к форсункам 6 для обеспечения дополнительного источника воды. Вода, подаваемая в инструмент, может подаваться и выпускаться как из водяных форсунок 6, так и из водяных форсунок 12а, установленных на удлинительных водоводах 12. На фиг. 3С показано, как воду можно выпускать одновременно из форсунок 12а удлинительных водоводов и форсунок 6.

Форсунки 12а расположены рядом с выпуском 40, где горячие дымовые газы выходят из инструмента в пространство 21. Таким образом, форсунки 12а удлинительных водоводов 12 могут быть расположены так, чтобы выпускать воду рядом с газообразными продуктами сгорания или непосредственно в них. Вода, подаваемая в инструмент, направляется в удлинительный водовод 12 и выпускается форсункой 12а в пространство 21, где горячие газообразные продукты сгорания выходят из выпуска 40 камеры сгорания, при этом вода испаряется в пар. Может существовать множество удлинительных водоводов 12 и форсунок 12а, как показано на фиг. 3С.

Удлинительные водоводы 12 могут подавать воду непосредственно к выпуску 40, откуда выходят газообразные продукты 21 сгорания и могут испарять выпускаемую воду в пар. Такое парообразование в выходящих газообразных

продуктах сгорания может также служить для более непосредственного охлаждения газообразных продуктов сгорания. В частности, водоводы 12 позволяют непосредственно охлаждать горячие газообразные продукты 21 сгорания, выпускаемые из выпуска 40 камеры сгорания. Удлинительные водоводы 12 могут выпускать воду в осевом направлении относительно стенки или могут быть наклонены внутрь к выпуску 40 камеры сгорания для направления воды, выпускаемой из форсунок радиально, от непосредственно радиально внутрь или под каким-либо углом до аксиально в сторону от выпуска. Например, дистальный конец удлиненного водовода 12 может быть наклонен по меньшей мере на  $45^\circ$  к выпуску 40, обеспечивая выпуск воды в пространство 21 горячих газообразных продуктов сгорания, выходящих из камеры сгорания. Количество удлинительных водоводов 12 можно менять в зависимости от требуемого паросодержания закачки, размера скважины, области применения и конструкции инструмента. Например, для инструмента, предназначенного для использования в скважине с внутренним диаметром менее 229 мм или менее 178 мм, может быть предусмотрено от 4 до 8 удлинительных водоводов 12.

Удлинительные водоводы 12 с форсунками 12а будут иметь наибольший эффект при установленной низкой мощности, например, ниже 5 миллионов БТЕ/час. При этом вода, выпускаемая из форсунок 12а, способствует охлаждению горячих газообразных продуктов сгорания, выходящих из выпуска 40 камеры сгорания.

Удлинительные водоводы 12 соединены с инструментом механическим соединением или сваркой. Как показано на фиг. 2А, удлинительные водоводы могут едва касаться или находиться на расстоянии от наружной поверхности 72 камеры сгорания. В одном варианте осуществления между каждым трубопроводом 12 и поверхностью 72 имеется пространство 66. Таким образом, удлинительные водоводы 12 могут охлаждаться пленкой воды, подаваемой из форсунок 6, которая может течь в пространство 66 между удлинительными водоводами 12 и наружной поверхностью 72 камеры сгорания.

Инструмент можно использовать как в скважине, так и на поверхности. При использовании в скважине инструмент устанавливается с камерой сгорания 74 и форсунками 6, открытыми в область скважины, такую как пласт 11, подлежащий обработке паром. На фиг. 2А и 2В каждый из показанных инструментов 100 установлен в скважине. Изолирующий пакер 3 закрепляет инструмент внутри стенки ствола скважины, показанной в настоящем документе в виде обсадной колонны 9, и изолирует нижний, генерирующий пар, конец инструмента от обсадной колонны скважины над пакером. Таким образом, пакер 3 удерживает

пар и тепло из камеры 74 сгорания в скважине и препятствует уходу пара по кольцевому пространству вверх от нефтяного пласта 11. Инструмент может быть установлен рядом с перфорацией 10 и нефтяным пластом 11 для уменьшения возможного повреждения обсадной колонны 9 скважины и потери энергии на обсадную колонну скважины 9 и другие пласты над нефтяным пластом. Изолирующий пакер 3 имеет один или более механических, гидравлических, надувных, набухающих или несскользящих пакерных элементов. Изолирующий пакер 3 может состоять из материалов, способных выдерживать воздействие высокотемпературного пара и агрессивных газов.

Изолирующий пакер 3 установлен концентрически вокруг наружной поверхности инструмента, над инструментом на присоединенном, но отдельном инструменте, или на линиях 1. Пакер 3 первоначально находится в убранном положении, когда он не используется или когда он перемещается в скважину, но когда он будет находиться в требуемом положении, он может быть установлен путем расширения пакерных элементов или перепада давления ниже или выше пакера.

В одном варианте осуществления изолирующий пакер установлен приблизительно по окружности инструмента между соединительным компонентом 2 и форсунками 6. Таким образом, при установке в скважине соединительный компонент находится в скважине до пакера, а форсунки 6 и выпуск 40 находятся в скважине после пакера 3. Пакер 3 изолирует соединительный компонент 2 от связи с форсунками, за исключением каналов 4a, 4b, 4c.

При установке в скважину может быть использована кольцевая система 23 охлаждения в скважине до инструмента и пакера 3.

На фиг. 2A - 2C показаны дополнительные возможные парогенераторные инструменты с сужающейся конструкцией для принудительного перемешивания какой-либо неиспаренной воды, пара и газообразных продуктов сгорания ниже по потоку от выхода 40 камеры сгорания. Сужающаяся конструкция направляет внутренний поток какой-либо оставшейся воды и пара в газообразные продукты сгорания, выходящие из выпуска, что обеспечивает как испарение воды, так и охлаждение газообразных продуктов сгорания. Сужающаяся конструкция включает в себя конический элемент на втором конце инструмента ниже выпуска. Конический элемент включает в себя конические боковые стенки, которые сходятся от входного, открытого верхнего конца к выходному, открытому нижнему концу. Открытый верхний конец шире, чем выпуск 40 и нижний конец конического элемента.

В одном варианте осуществления инструмент с сужающейся конструкцией выполнен так, как показано на фиг. 2B и 2C, и включает в себя редуцирующий конус 14 на втором конце, находящемся на расстоянии и ниже выпуска 40. В этом варианте осуществления редуцирующий конус 14 крепится ниже выпуска 40 на опорных рычагах 13, которые представляют собой стержнеобразные конструкции, присоединенные между инструментом и конусом. Опорные рычаги 13 имеют приблизительно такую же длину или длиннее, чем длина L стенки 7, так что конус 14 находится дальше от базовой стенки 50, чем выпуск 40.

Редуцирующий конус 14 имеет открытый верхний конец 14a и сужается к нижнему выпуску 14b меньшего диаметра. Большая окружность конуса 14a, которая является открытым верхним концом, ближе к выпуску 40, чем нижний выпуск 14b меньшего диаметра. Таким образом, более широкий верхний конец обращен к выпуску 40, тогда как меньшая окружность конуса обращена к нефтяному пласту 11. Конус 14 имеет усеченно-коническую или воронкообразную сплошную стенку между открытыми концами 14a, 14b, которая вынуждает какую-либо неспаренную воду, пар и газообразные продукты сгорания, поступающие в верхний конец, сближаться и проходить через нижний выпуск меньшего диаметра. В одном варианте осуществления верхний конец редуцирующего конуса 14 имеет приблизительно тот же диаметр, что и обсадная колонна ствола скважины, в которой должен использоваться инструмент, что приблизительно равно диаметру пакера 3 в установленном состоянии. Таким образом, любые текущие среды в области 21 ниже выпуска должны проходить через редуцирующий конус при отдалении от инструмента. Таким образом, верхний конец редуцирующего конуса 14a опирается рядом с обсадной колонной 9 скважины или прижимается к ней. В одном варианте осуществления на верхнем конце редуцирующего конуса 14 имеется уплотнение 15. Уплотнение может представлять собой кольцо, проходящее по всей окружности верхнего конца 14a, при этом диаметр кольца выбирают таким образом, чтобы обеспечивалось смещение относительно обсадной колонны скважины 9. Уплотнение 15 может быть изготовлено из различных термостойких упругих материалов, например, термостойких резиновых смесей, тефлона или подобных материалов. Нижний выпуск 14b меньшего диаметра может быть удлинен сплошной удлинительной цилиндрической стенкой постоянного диаметра для управления динамикой потока выходящего пара и газообразных продуктов сгорания. Удлинение, например, может увеличить турбулентное перемешивание.

Опоры 13 соединяют редуцирующий конус с остальной частью инструмента. Существует множество вариантов опор 13. По меньшей мере,

опоры 13 выступают в качестве рычагов, принимающих и закрепляющих редукционный конус 14 в требуемом месте рядом с выпуском 40 камеры сгорания. Хотя опоры 13 могут быть выполнены так, чтобы более полно окружать наружный выпуск 40 и область 21, в одном варианте осуществления опоры 13 представляют собой множество отстоящих друг от друга стержней с открытыми областями между ними, как показано на фиг. 2С. Это снижает вес и требования к материалам инструмента и оставляет кольцевое пространство вокруг стенки 7 максимально открытым.

Опоры 13 могут быть дополнительно выполнены с возможностью служить центраторами, например, предусмотрены по меньшей мере три отстоящих друг от друга опорных стержня, которые проходят в осевом направлении от заплечика 65 или выше и диаметрально разнесены, определяя наружный диаметр, который приблизительно равен диаметру обсадной колонны ствола скважины, в которой будет использоваться инструмент, который имеет приблизительно такой же диаметр, что и верхний конец конуса 14 и пакера 3, когда он установлен.

В одном варианте осуществления опоры 13 соединены кольцом 13а, прикрепленным над форсунками 6, например, к наружной поверхности компонента 4 под пакером 3. Тогда опоры 13 покрывают длину основного корпуса и заходят за стенку камеры сгорания и выпуска, соединяясь с редукционным конусом 14 рядом с выпуском 40 камеры сгорания.

В этом варианте осуществления для удержания воды, пара и продуктов сгорания в скважине ниже форсунок используют обсадную колонну 9 скважины. Например, вода, выпускаемая из форсунок 6, протекает вдоль обсадной колонны 9, а именно - между стенкой 7 камеры сгорания и обсадной колонной 9.

Если есть опасения насчет управления инструментом или повреждения корпуса, можно применить другой вариант осуществления сужающейся конструкции инструмента, как показано на фиг. 2А. В таком инструменте опорные рычаги 13 могут быть заменены наружным корпусом 8. Наружный корпус 8 охватывает нижний конец инструмента и имеет на нижнем конце редукционный конус 80, расположенный на расстоянии от выпуска 40 камеры сгорания и под ним. Наружный корпус может представлять собой сплошную цилиндрическую стенку. Как показано на фиг. 2А, наружный корпус 8 с концентратором 80 можно использовать для удержания воды из форсунок, пара и газообразных продуктов сгорания изначально внутри инструмента. Например, вода, выпускаемая из форсунок 6, создает поток воды между стенкой 7 камеры сгорания и внутренней областью наружного корпуса 8. Инструмент с наружным корпусом 8 можно эксплуатировать при более высоком паросодержании (>80%) без повреждения

обсадной колонны скважины 9. Таким образом, корпус 8 становится протекторным и защищает обсадную колонну 9 от интенсивного тепла, выделяемого вдоль стенки 7. Корпус 8 может быть съемно прикреплен к компоненту 4, чтобы его можно было заменить при техническом обслуживании.

Вода, выпускаемая из форсунок 6, протекает между стенкой 7 и внутренней поверхностью наружного корпуса. Хотя может появиться накипь, открытое кольцевое пространство не имеет тенденции засоряться. Опционально, внутреннюю поверхность наружного корпуса можно обработать от налипания, например нанести покрытие, как раскрыто выше.

Редукционный конус 80 аналогичен редукционному конусу 14, за исключением того, что не требуется уплотнение 15.

Наружный корпус увеличивает наружный диаметр инструмента и, следовательно, может использоваться, когда диаметр обсадной колонны 9 скважины достаточно велик для размещения наружного корпуса 8. Наружный диаметр наружного корпуса 8 зависит от внутреннего диаметра обсадной колонны 9 скважины, например, для типовой скважины менее 229 мм наружный корпус может находиться в диапазоне от 114 мм до 180 мм или от 180 мм до 215 мм.

На фиг. 4А-4С показан вид сверху множества инструментов, установленных в обсадной колонне 9 скважины. На этих чертежах показаны опциональные конфигурации для линий 1 подачи, таких как линии воздуха 17, топлива 18, управления 20 воспламенением и воды 20. В варианте осуществления на фиг. 4А все линии сгруппированы в трубопроводе большего диаметра, вмещающего трубы меньшего диаметра. Топливная, водяная и управляющая линии 18, 19, 20 представляют собой линии меньшего диаметра, а воздушная линия 17 фактически представляет собой пространство внутри трубы большего диаметра. Соединительный компонент 2 инструмента 100 включает в себя место присоединения трубы большего диаметра, через которую проходит воздух, и места присоединения для каждой из водяной линии 20, топливной линии 18 и линии 19 управления воспламенением.

В другом варианте осуществления множество линий может быть сгруппировано, например, в виде многоканального шлангокабеля, как показано на фиг.4В. Многоканальный шлангокабель может быть присоединен к инструменту у соединительного компонента 2 инструмента. Многоканальный шлангокабель может быть сгруппирован с помощью трубопровода, концентрического колтюбинга, гибких оплетенных шлангов, обмоток или трубопроводов Armorpak™, как раскрыто в патенте США № 10,053,927. Наружный диаметр трубопровода

может зависеть от требований к давлению при применении инструмента. Например, для добычи тяжелой нефти наружный диаметр трубопровода может варьироваться от 60 мм до 114 мм и от 15 мм до 60 мм для трубопровода Armotrak. Линии 1 подачи, такие как воздушная линия 17 или топливная линия 18, могут подавать максимальный объем входных веществ в инструмент по сравнению с водяной линией 20 и, следовательно, могут быть выполнены с возможностью жесткого крепления инструмента 100 к поверхности во время внутрискважинных работ.

В альтернативном варианте осуществления, показанном на фиг. 4C и 4D, инструмент выполнен с возможностью приема воздуха через порт 90 на наружной поверхности инструмента, а не через линию. В таком варианте осуществления инструмент 100 включает в себя входной порт 90 для окислителя на своем верхнем конце, например, на компонентах 2 или 4 инструмента. Хотя топливная линия 18, водяная линия 20 и линия 19 управления присоединены к инструменту в отдельных или сгруппированных местах, воздух подается через кольцевое пространство скважины и поступает в инструмент через порт 90. Порт 90 может не иметь каких-либо соединений с входными линиями, например, быстроразъемных соединений, резьбовых соединений, соединений Armotrak, колтюбинговых соединений или групповых соединений. Порт 90 сообщается с каналами 4a и 4d, ведущими к отверстию 128. Каналы могут быть выполнены так, чтобы обеспечивать поступление воздуха из порта 90 в камеру сгорания. Канал 4d осуществляет выпуск во внутреннюю область 71 камеры сгорания. Можно предусмотреть барьер от обломков породы, такой как экран 92 над портом 90, предотвращающий закупорку порта 90 обломками породы или загрязнениями, попадающими в порт и канал. В этом варианте осуществления отсутствует линия, подающая воздух к инструменту, вместо этого воздух может втягиваться в инструмент из ствола скважины выше по скважине от инструмента. Окислитель, такой как воздух, может закачиваться в ствол скважины выше по скважине от инструмента. Порт 90 обеспечивает кольцевой байпас через инструмент. Кольцевой байпас может использоваться, например, в тех случаях, когда требуются большие объемы воздуха. В этих случаях использование кольцевого байпаса позволяет снизить поверхностное давление и давление закачки для управления общим давлением в системе.

Как показано на фиг. 4D, порт 90 может быть ограничен обсадной колонной 9 скважины, соединительным компонентом 2 инструмента и пакером 3. Воздух, поступающий в кольцевое пространство обсадной колонны 9 скважины, поступает в порт 90 и отводится в компонент 4 разводки потоков. Компонент 4

разводки потоков может иметь определенную конструкцию кольцевого байпаса для приема воздуха, поступающего через порт 90 и подаваемого к компоненту 5 воспламенения. При внутрискважинных работах кольцевой байпас обеспечивает более низкое рабочее давление на поверхности скважины, так как проходное сечение в кольцевом пространстве может быть в несколько раз больше, чем проходное сечение через линии 1 подачи. В результате кольцевой байпас может быть полезен при узкой обсадной колонне 9 скважины для обеспечения оптимального рабочего давления на поверхности инструмента. Кроме того, компрессоры, используемые для подачи входных веществ в скважину, могут быть более экономичными, когда воздух подается через порт 90. При использовании кольцевого пространства для подачи воздуха через порт 90 по линиям подачи 1 можно подавать дополнительное топливо 17 и воду 20.

В другом аспекте изобретения, как показано на фиг. 4С, инструмент включает в себя датчик 24 температуры, который может контролироваться с помощью линий 1 или дистанционно. Также могут быть использованы другие датчики, например, датчик давления или закачки химикатов. Датчики могут обнаруживать параметры, сообщающие о режимах работы или о неисправностях, таких как перегрев или утечки. Химикаты можно закачивать Датчики могут быть предусмотрены выше (как показано) и ниже пакера 3.

Наружный диаметр парогенераторного инструмента 100 может изменяться в зависимости от внутреннего диаметра обсадной колонны 9 скважины. Наружный диаметр парогенераторного инструмента должен быть меньше внутреннего диаметра обсадной колонны 9 скважины. Как правило, внутренний диаметр скважины может быть менее 200 мм или менее 125 мм, в таких случаях инструмент, чтобы войти в обсадную колонну 9 скважины, может иметь максимальный наружный диаметр, составляющий приблизительно от 190 мм до 120 мм.

При внутрискважинных применениях парогенераторного инструмента наружный диаметр инструмента может быть ограничен размером обсадной колонны 9 скважины, тогда как при поверхностных применениях инструмента ограничений по размеру нет.

В другом варианте осуществления обеспечен способ генерирования пара, например, для закачки в пласт 11 для получения нефти из нефтяного пласта. Способ включает в себя: подачу воздуха, воды, топлива и электропитания к парогенераторному инструменту; воспламенение топлива для создания пламени в камере 74 сгорания; выпускание воды из форсунок 6 вдоль наружной стенки 7 камеры сгорания таким образом, чтобы вода частично испарялась с

образованием пара и протекала по наружной поверхности 72 стенки 7 камеры сгорания, при этом газообразные продукты сгорания из пламени протекают внутри камеры сгорания через внутренний диаметр, определенный внутри внутренней поверхности 71 стенки; и перемешивание пара и газообразных продуктов сгорания у выпуска 40 из камеры сгорания. Смесь пара и дымовых газов может поступать в пласт.

Подача воздуха, воды, топлива и электропитания к инструменту может быть достигнута различными способами. Например, входные вещества в инструмент можно подавать с помощью многоканального шлангокабеля. Альтернативно, тракт для входных веществ, таких как воздух, может обеспечиваться пространством между инструментом и обсадной 9 колонной скважины, в частности – кольцевым пространством, при этом инструмент включает в себя порт 90. Компонент 5 воспламенения может быть использован для инициирования горения подаваемого топлива и воздуха с образованием пламени внутри камеры сгорания. Воду, поступающую в инструмент через многоканальный шлангокабель, можно выпускать через водяные форсунки 6. Форсунки 6 могут быть ориентированы так, чтобы воду можно было выпускать, по меньшей мере, частично аксиально в направлении выпуска 40 камеры сгорания. Вода, протекающая вдоль длины L нагретой стенки 7 камеры сгорания, испаряется в пар.

Пар и газообразные продукты сгорания, а также какую-либо неиспарившуюся воду можно направлять со сближением, например, за счет прохождения через редуцирующий конус 14, 80 до вхождения в нефтяной пласт 11. Редуцирующий конус направляет и принудительно перемешивает пар и/или воду после прохождения вдоль стенки 7 камеры сгорания и газообразные продукты сгорания, выходящие из выпуска 40 камеры сгорания. Это повышает паросодержание и снижает выходную температуру газообразных продуктов сгорания.

Вода, подаваемая в инструмент 100, может представлять собой неочищенную воду, например, непитьевую пресную воду, жесткую воду или морскую воду. Пар, генерируемый инструментом 100, может включать в себя перегретый пар.

Можно использовать множество различных видов топлива, например, природный газ, синтетический газ, пропан, водород или жидкое топливо.

Для использования в типовых нефтяных пластах давление воздуха или газов может регулироваться от приблизительно 20 атмосфер (1 500 кПа) до

приблизительно 100 атмосфер (10 500 кПа), а производительность инструмента может контролироваться до уровня выше 25 ММ БТЕ/час.

Компоненты парогенератора 100 являются простыми и гибкими, что обеспечивает простоту эксплуатации, осмотра, ремонта и модификации. Инструмент обладает отличными охлаждающими свойствами и решениями для защиты воспламенителя от термической деструкции. Инструмент и способ эксплуатации инструмента для получения пара уменьшает или замедляет загрязнение окружающей среды. Благодаря конструкции и конфигурации компонентов, инструмент способен выдерживать высокие температуры и давление при многократном использовании. Кроме того, инструмент способен создавать давление и/или избыточное давление в нефтяном пласте, поскольку газообразные продукты сгорания и пар могут закачиваться в скважину при различных давлениях. Высокая выходная мощность инструмента обеспечивает расширенные операции по добыче нефти во многих областях применения.

**Общие понятия:**

А. Инструмент для генерирования пара и газообразных продуктов сгорания, содержащий: первый конец, выполненный с возможностью приема входных веществ, включающих в себя воздух, топливо и воду; камеру сгорания, образованную в пределах базовой стенки и трубчатой стенки, проходящей от базовой стенки до выпуска, противоположного базовой стенке, причем камера сгорания, выполнена с возможностью размещения в ней пламени и обеспечения прохода для выхода продуктов сгорания через выпуск; отверстие в базовой стенке, открытое в камеру сгорания; и воспламенитель, расположенный в указанном отверстии и заглубленный относительно камеры сгорания, указанный воспламенитель выполнен с возможностью воспламенения топлива и воздуха для создания пламени.

В. Инструмент по любому из пунктов А-Р, дополнительно содержащий канал для подачи по меньшей мере одного из входных веществ топлива и воздуха в камеру сгорания, указанный канал выполнен с возможностью обеспечения потока текучей среды вокруг воспламенителя.

С. Инструмент по любому из пунктов А-Р, в котором поток текучей среды является кольцевым вокруг воспламенителя.

Д. Инструмент по любому из пунктов А-Р, дополнительно содержащий держатель, позиционирующий воспламенитель концентрически относительно трубчатой стенки, образующей камеру сгорания.

Е. Инструмент по любому из пунктов А-Р, дополнительно содержащий кольцевой зазор вокруг наружного диаметра держателя, при этом кольцевой

зазор образует канал для подачи по меньшей мере одного из входных веществ топлива и воздуха в камеру сгорания.

F. Инструмент по любому из пунктов A-P, дополнительно содержащий сужение в камере сгорания.

G. Инструмент по любому из пунктов A-P, в котором указанное отверстие проходит аксиально концентрически с длинной осью камеры сгорания, а базовая стенка ортогональна относительно длинной оси.

H. Инструмент для генерирования пара и газообразных продуктов сгорания, содержащий: первый конец, выполненный с возможностью приема входных веществ, включающих в себя воздух, топливо и воду; трубчатую стенку, проходящую от базовой стенки до выпуска, противоположного базовой стенке, указанная трубчатая стенка выполнена с возможностью размещения в ней пламени; воспламенитель внутри трубчатой стенки, выполненный с возможностью воспламенения топлива и воздуха для создания пламени; и канал, подающий по меньшей мере одно входное вещество внутрь инструмента и окружающий наружную окружность воспламенителя.

I. Инструмент по любому из пунктов A-P, дополнительно содержащий держатель, в котором установлен воспламенитель, причем указанный держатель соединен с базовой стенкой и образует ее часть, при этом указанный канал представляет собой кольцевой зазор вокруг наружного диаметра держателя.

J. Инструмент по любому из пунктов A-P, в котором указанный канал предназначен для объединенного ввода топлива и воздуха в камеру сгорания.

K. Инструмент по любому из пунктов A-P, дополнительно содержащий кольцевой водяной канал, проходящий, по существу, концентрически вокруг указанного канала, но изолированный от него по текучей среде.

L. Инструмент по любому из пунктов A-P, дополнительно содержащий: воздушный канал, проходящий в инструмент от первого конца; топливный канал, проходящий в инструмент от первого конца; причем воздушный канал и топливный канал объединяются в месте соединения внутри инструмента, и данный канал предназначен для объединенного топливно-воздушного потока.

M. Инструмент по любому из пунктов A-P, в котором топливный канал оканчивается множеством форсунок, ведущих в место соединения, при этом место соединения имеет внутренний объем, превышающий топливный канал, что обеспечивает возможность экспансии топлива из топливного канала в место соединения.

N. Инструмент по любому из пунктов А-Р, дополнительно содержащий топливный канал, проходящий от первого конца до местоположения, открытого к задней стороне воспламенителя.

О. Инструмент по любому из пунктов А-Р, в котором воспламенитель заглублен в отверстие в базовой стенке так, что воспламенитель открыт, но смещен назад от базовой стенки.

Р. Инструмент по любому из пунктов А-Р, в котором указанный канал имеет выпуск, выполненный с возможностью выпускать указанное в виде кольцевого выпуска, который, по существу, концентричен относительно длинной оси воспламенителя.

Описание и примеры предназначены для того, чтобы настоящее изобретение было понятнее специалисту. Изобретение не должно ограничиваться описанием и примерами, а, напротив, должно иметь широкое толкование.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Инструмент для генерирования пара и газообразных продуктов сгорания, содержащий:

первый конец, выполненный с возможностью приема входных веществ, включающих в себя воздух, топливо и воду;

камеру сгорания, образованную в пределах базовой стенки и трубчатой стенки, проходящей от базовой стенки до выпуска, противоположного базовой стенке, причем камера сгорания выполнена с возможностью размещения в ней пламени и обеспечения прохода для выхода продуктов сгорания через выпуск;

отверстие в базовой стенке, открытое в камеру сгорания; и

воспламенитель, расположенный в указанном отверстии и заглубленный относительно камеры сгорания, причем указанный воспламенитель выполнен с возможностью воспламенения топлива и воздуха для создания пламени.

2. Инструмент по п. 1, дополнительно содержащий канал для подачи по меньшей мере одного из входных веществ — топлива и воздуха — в камеру сгорания, причем указанный канал выполнен с возможностью обеспечения потока текучей среды вокруг воспламенителя.

3. Инструмент по п. 2, в котором поток текучей среды является кольцевым вокруг воспламенителя.

4. Инструмент по п. 1, дополнительно содержащий держатель, позиционирующий воспламенитель концентрически относительно трубчатой стенки, образующей камеру сгорания.

5. Инструмент по п. 4, дополнительно содержащий кольцевой зазор вокруг наружного диаметра держателя, при этом кольцевой зазор образует канал для подачи по меньшей мере одного из входных веществ — топлива и воздуха — в камеру сгорания.

6. Инструмент по п. 1, дополнительно содержащий сужение в камере сгорания.

7. Инструмент по п. 1, в котором указанное отверстие проходит аксиально концентрически с длинной осью камеры сгорания, а базовая стенка ортогональна относительно указанной длинной оси.

8. Инструмент для генерирования пара и газообразных продуктов сгорания, содержащий:

первый конец, выполненный с возможностью приема входных веществ, включающих в себя воздух, топливо и воду;

трубчатую стенку, проходящую от базовой стенки до выпуска, противоположного базовой стенке, причем указанная трубчатая стенка выполнена с возможностью размещения в ней пламени;

воспламенитель внутри трубчатой стенки, выполненный с возможностью воспламенения топлива и воздуха для создания пламени; и

канал, выполненный с возможностью подачи по меньшей мере одного входного вещества внутрь инструмента и окружающий наружную окружность воспламенителя.

9. Инструмент по п. 8, дополнительно содержащий держатель, в котором установлен воспламенитель, причем указанный держатель соединен с базовой стенкой и образует ее часть, при этом указанный канал представляет собой кольцевой зазор вокруг наружного диаметра держателя.

10. Инструмент по п. 9, в котором указанный канал обеспечивает объединенный ввод топлива и воздуха в камеру сгорания.

11. Инструмент по п. 10, дополнительно содержащий кольцевой водяной канал, проходящий, по существу, концентрически вокруг указанного канала, но изолированный от него по текучей среде.

12. Инструмент по п. 8, дополнительно содержащий:  
воздушный канал, проходящий в инструмент от первого конца; и  
топливный канал, проходящий в инструмент от первого конца;  
причем воздушный канал и топливный канал объединяются в месте соединения внутри инструмента, и указанный канал предназначен для объединенного топливно-воздушного потока.

13. Инструмент по п. 12, в котором топливный канал оканчивается множеством форсунок, ведущих в место соединения, при этом место соединения имеет внутренний объем, превышающий топливный канал, что обеспечивает возможность экспансии топлива из топливного канала в место соединения.

14. Инструмент по п. 8, дополнительно содержащий топливный канал, проходящий от первого конца до местоположения, открытого к задней стороне воспламенителя.

15. Инструмент по п. 8, в котором воспламенитель заглублен в отверстие в базовой стенке так, что воспламенитель открыт, но смещен назад от базовой стенки.

16. Инструмент по п. 15, в котором указанный канал имеет выпуск, выполненный с возможностью выпускать указанное по меньшей мере одно входное вещество в виде кольцевого выпуска, который, по существу, концентричен относительно длинной оси воспламенителя.

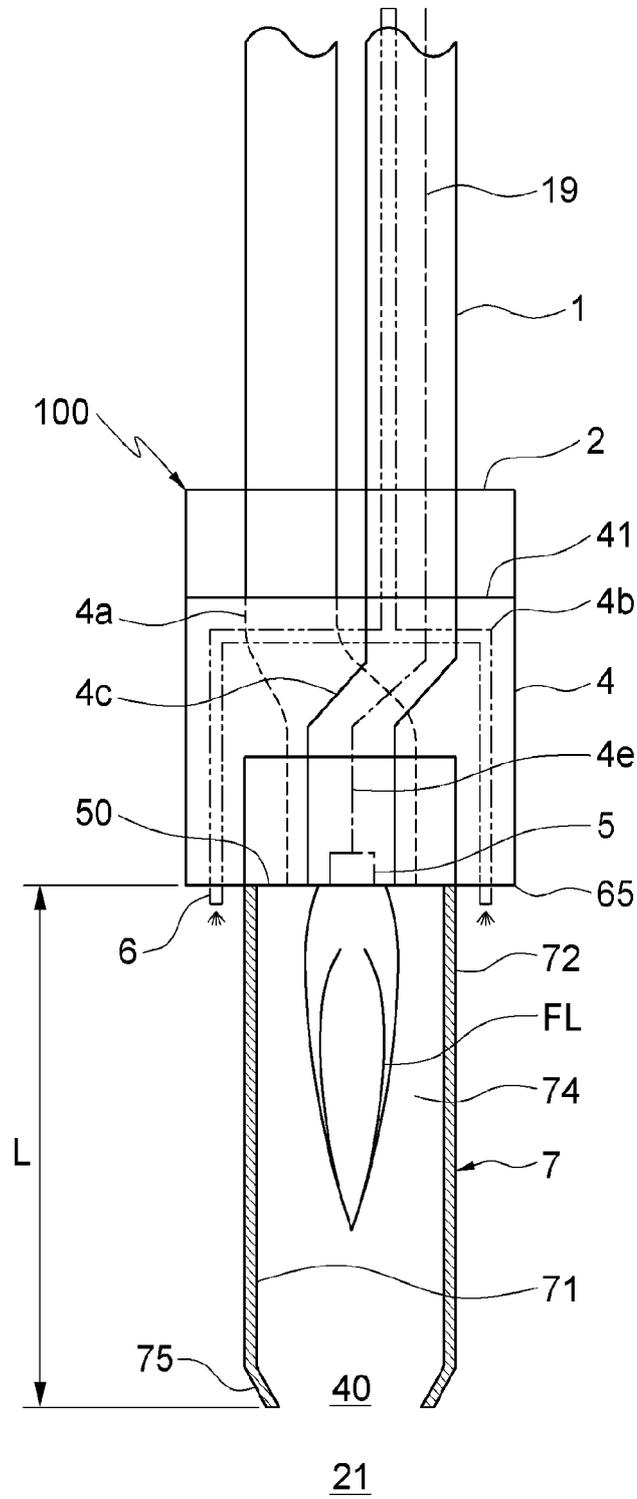


FIG. 1A

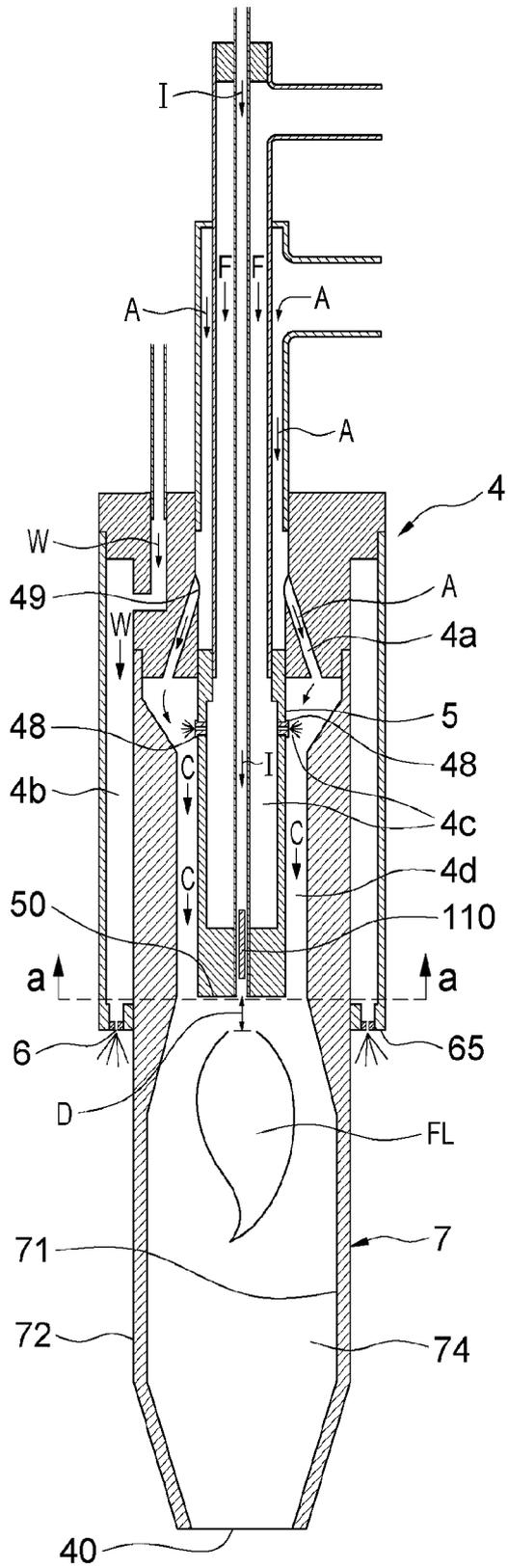
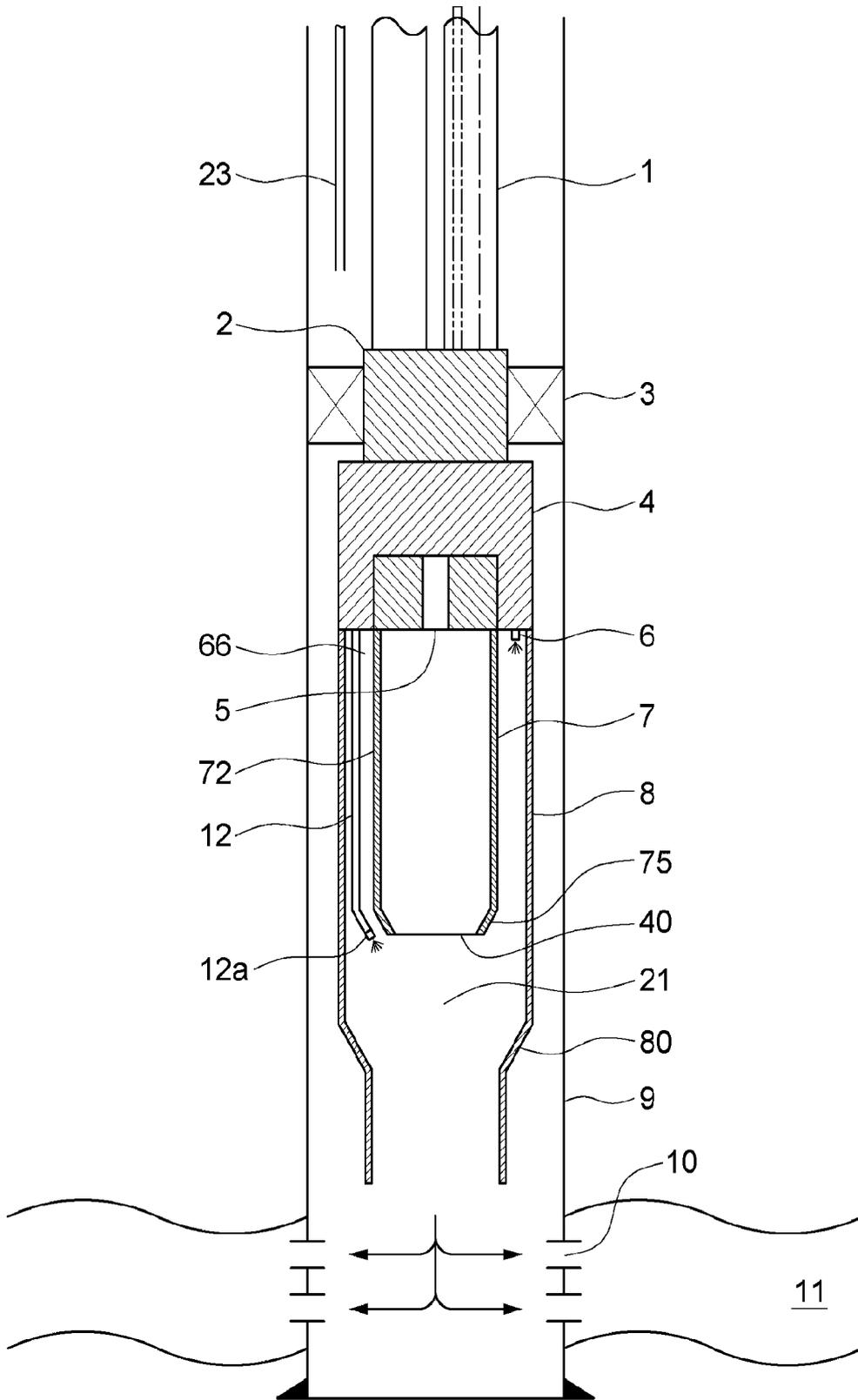
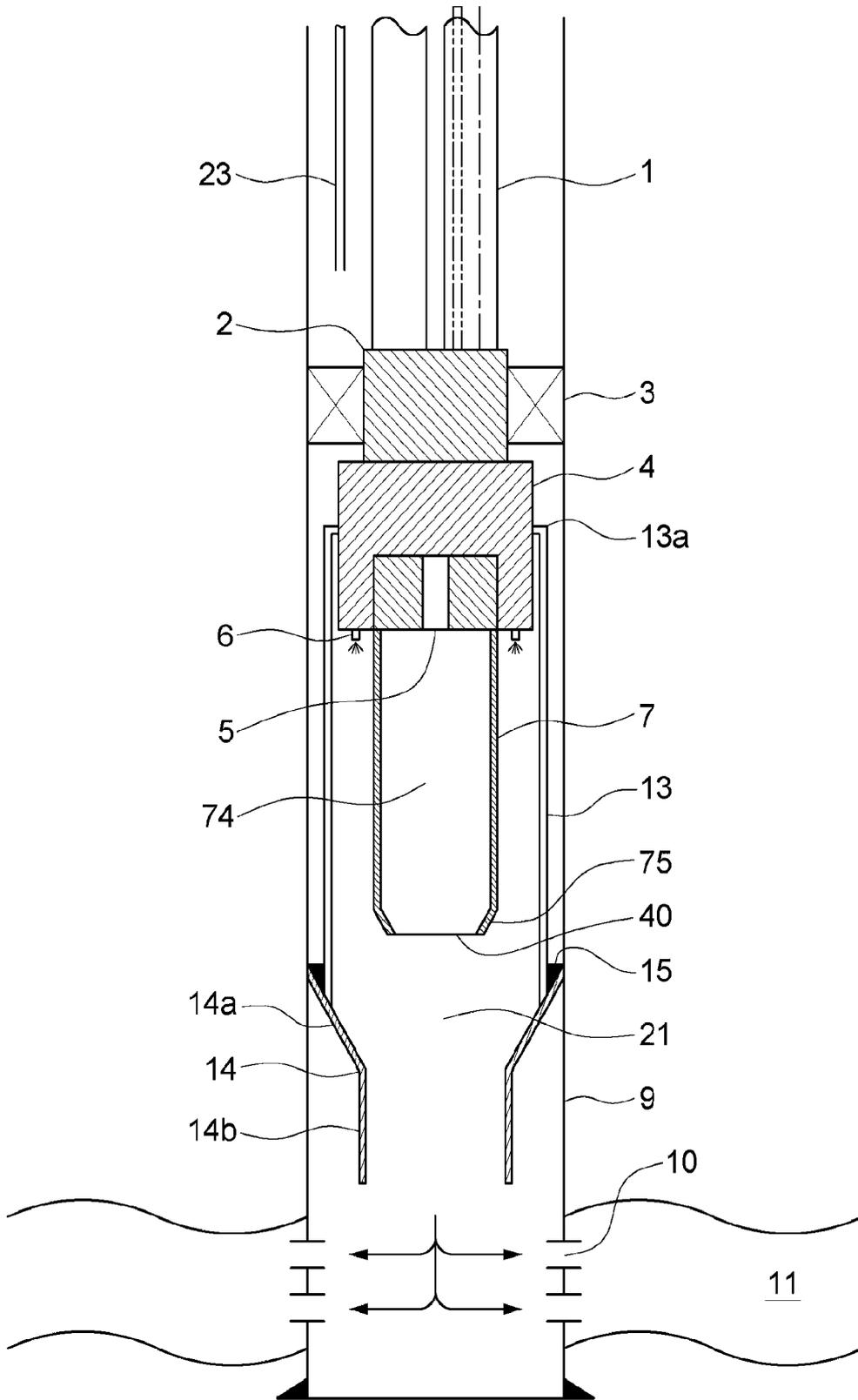


FIG. 1B





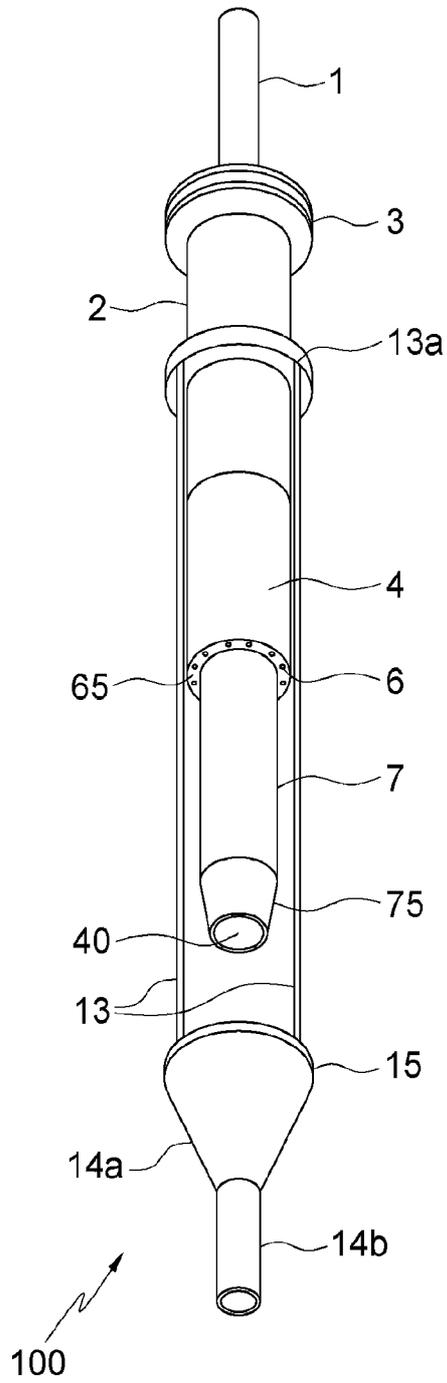


FIG. 2C

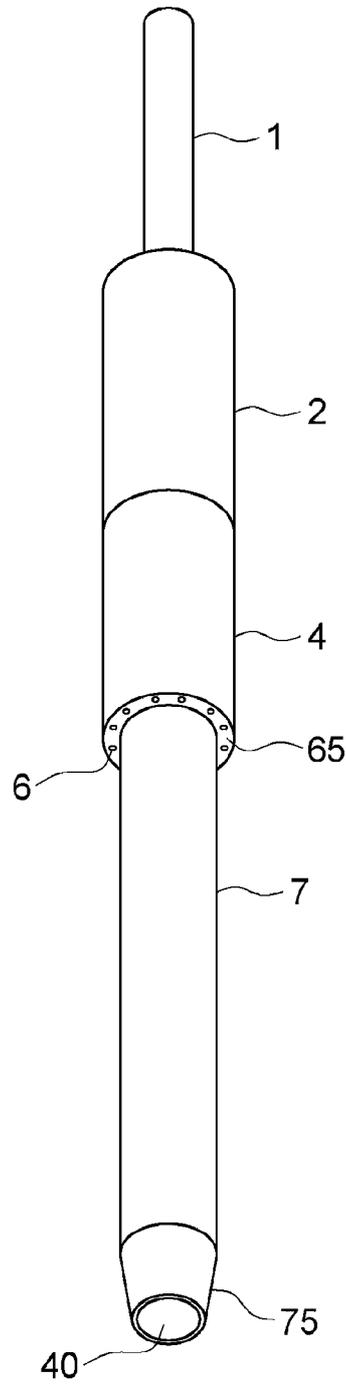


FIG. 3A

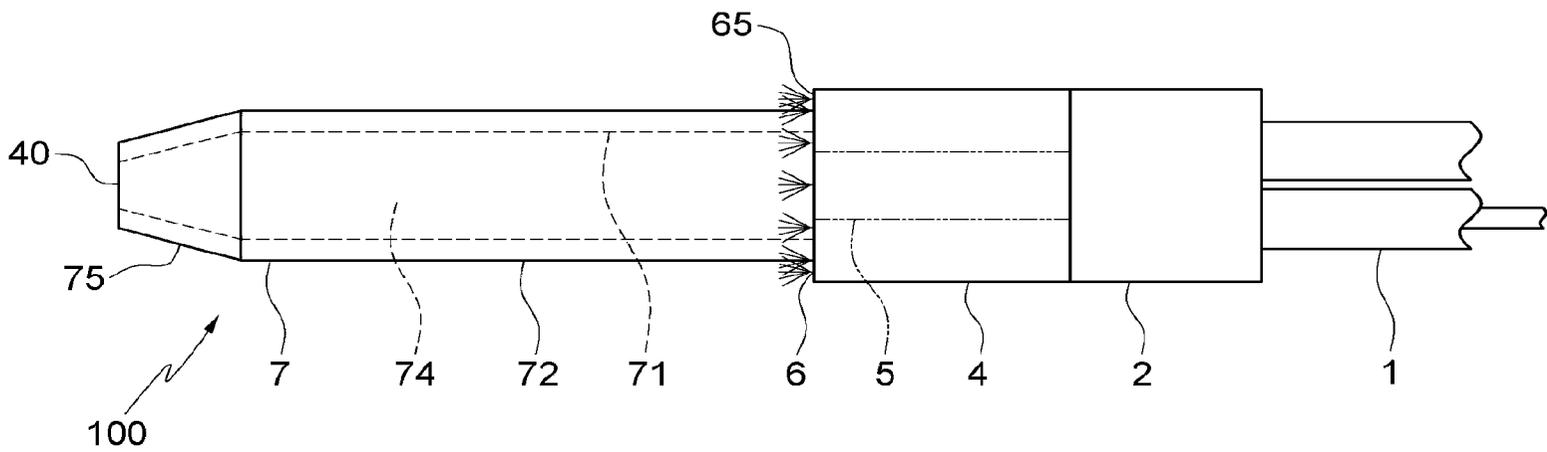


FIG. 3B

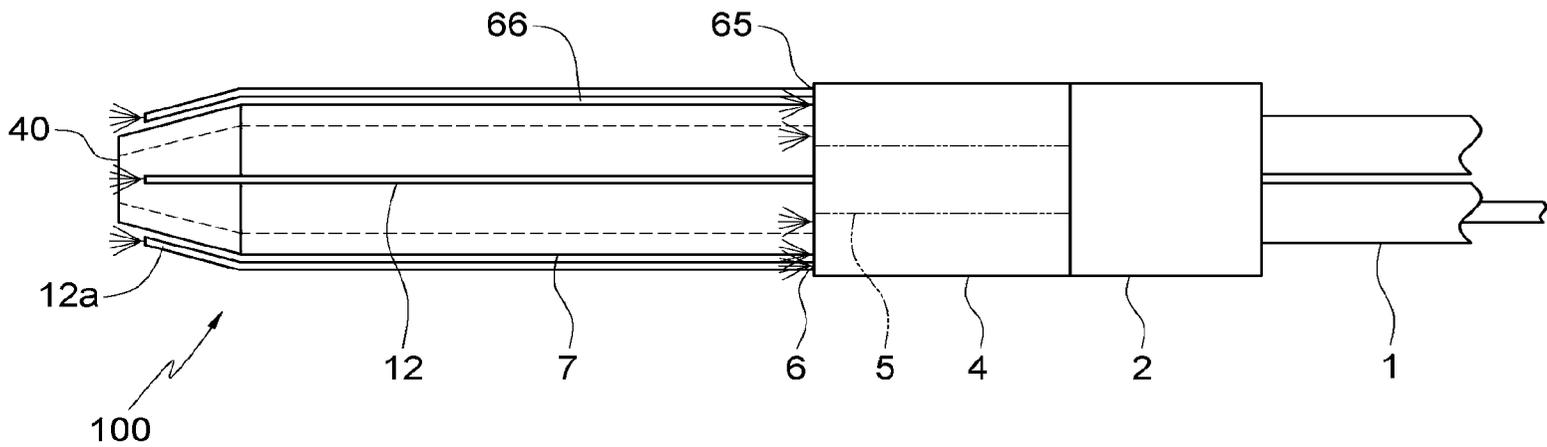


FIG. 3C

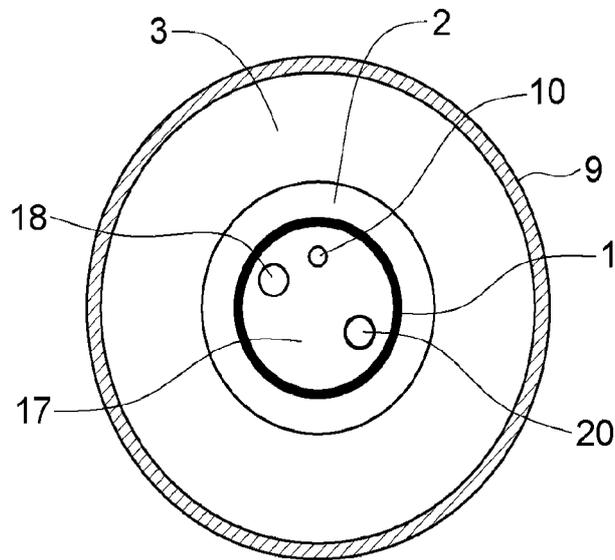


FIG. 4A

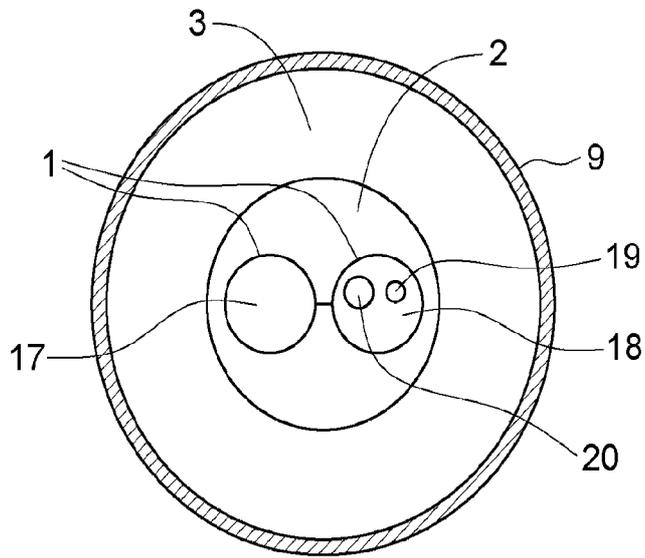


FIG. 4B

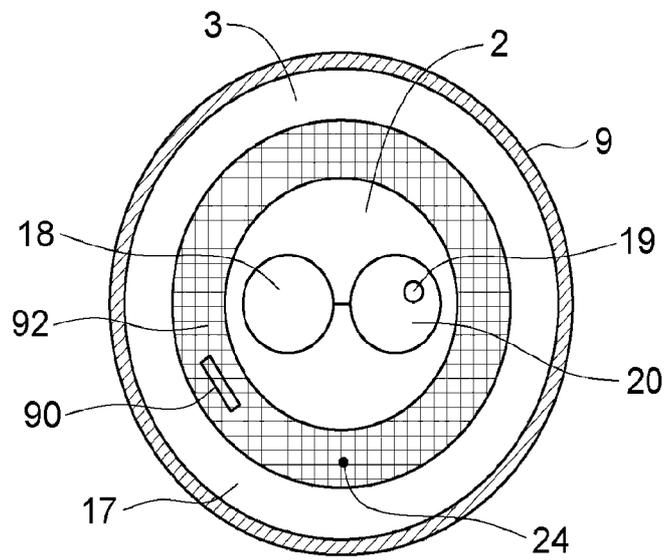


FIG. 4C

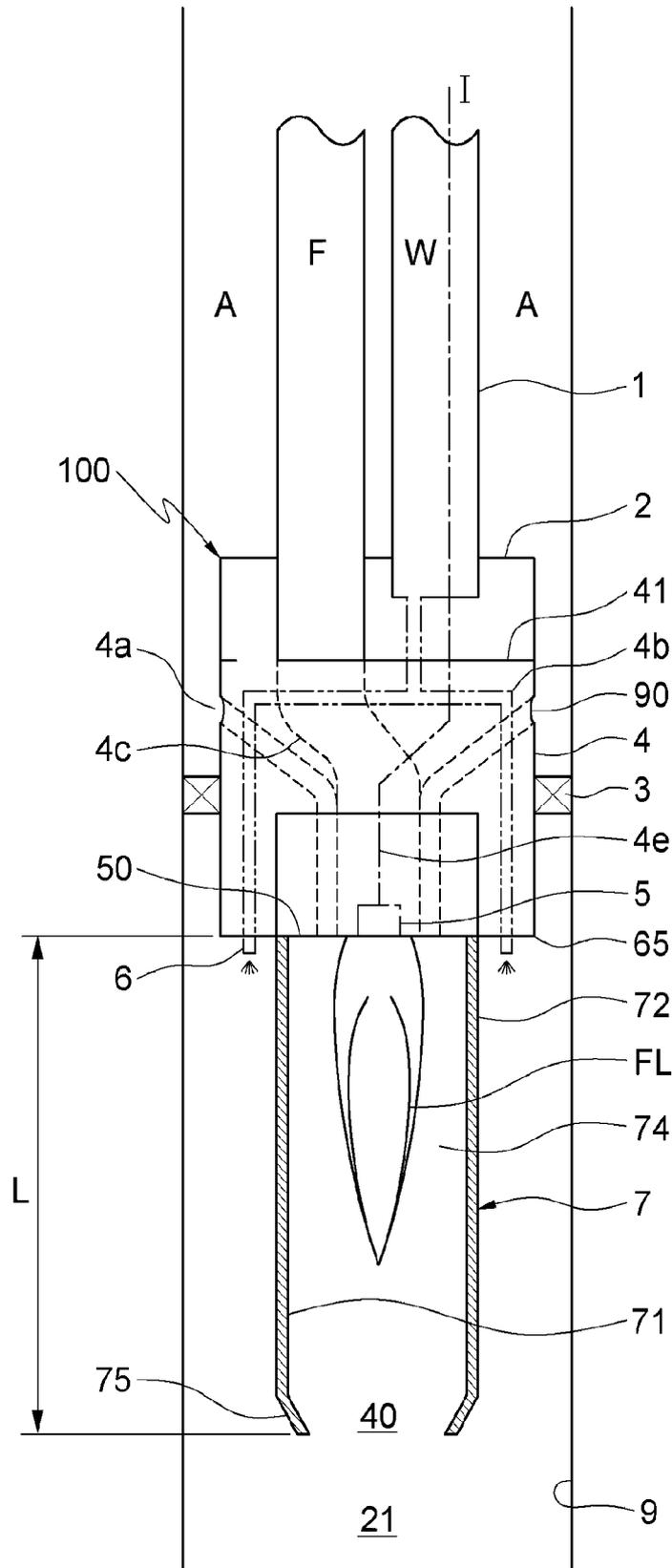


FIG. 4D

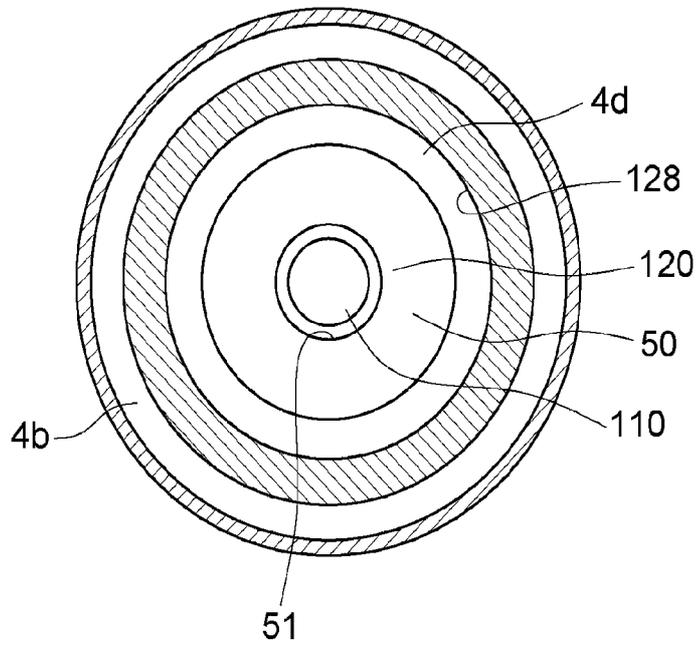


FIG. 5

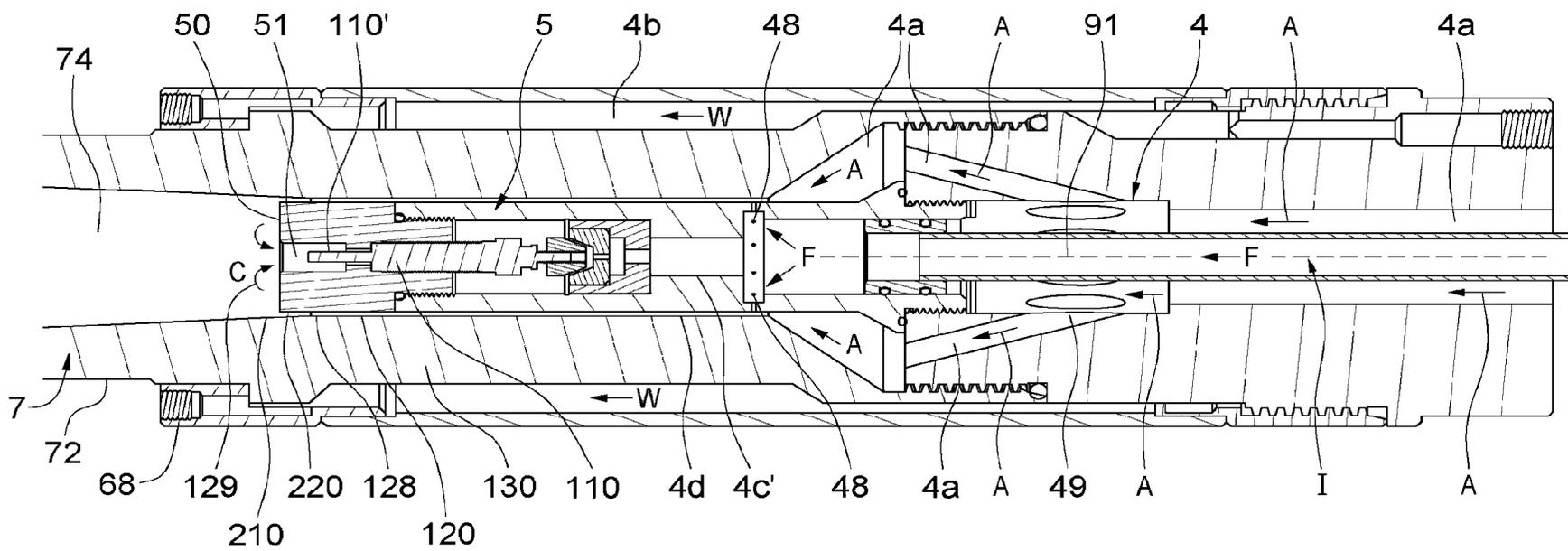


FIG. 6

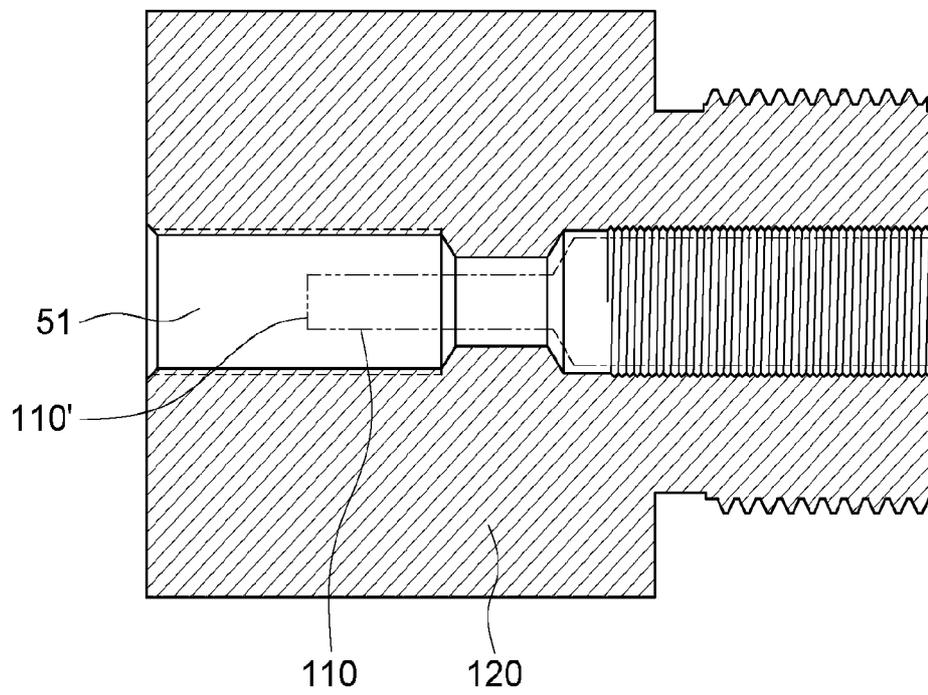


FIG. 7

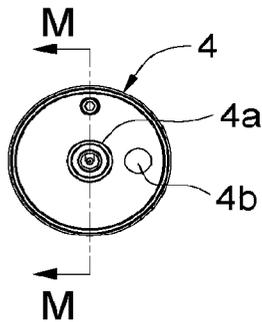


FIG. 8A

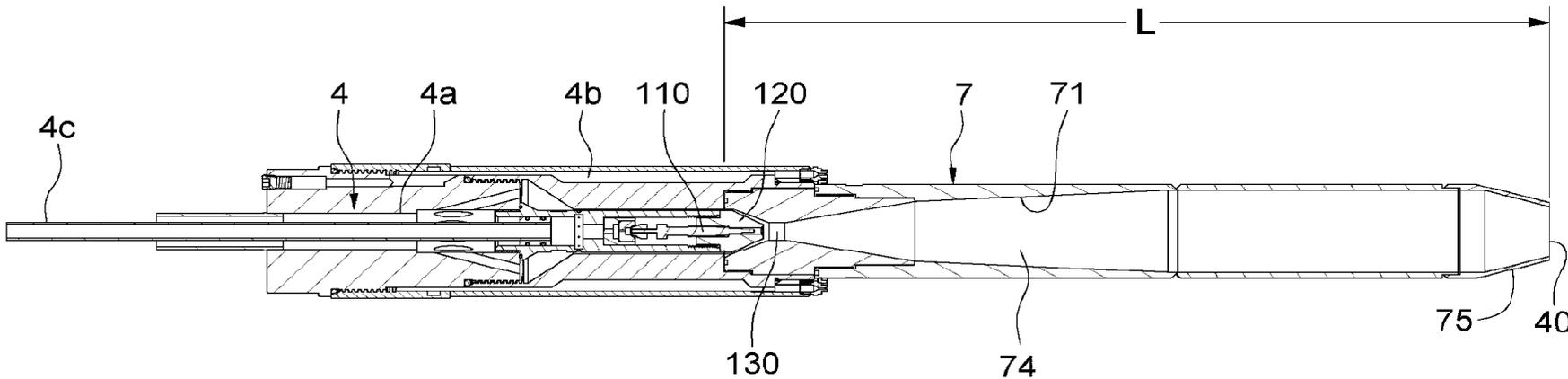


FIG. 8B

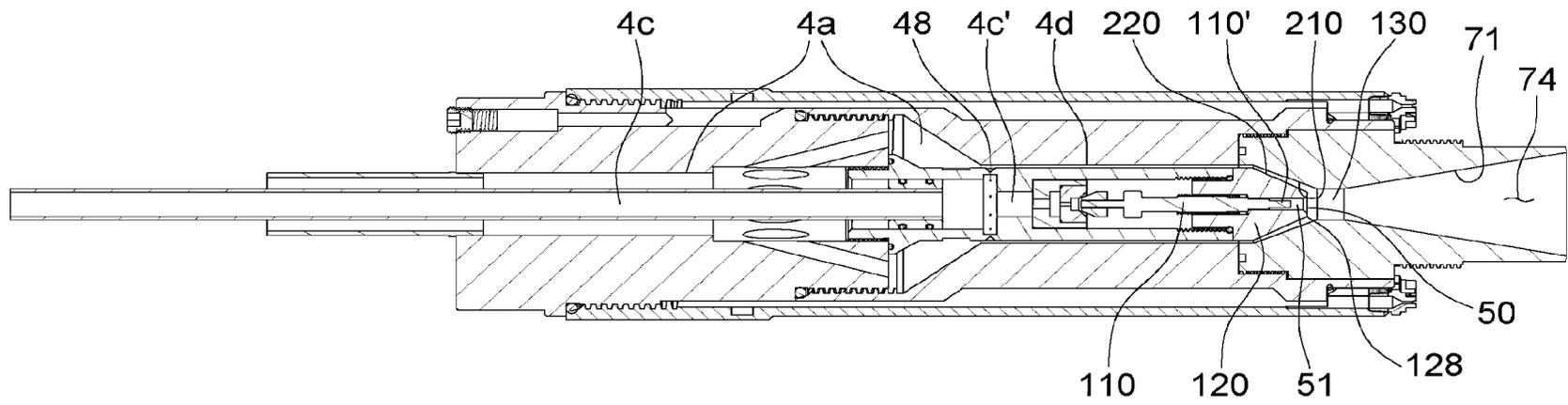


FIG. 8C