

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **045159**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.10.31**

(21) Номер заявки  
**202092297**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.04.26**

(51) Int. Cl. **G01M 3/28** (2006.01)  
**E21B 47/10** (2012.01)

---

(54) **СПОСОБ ПРОВЕРКИ ЦЕЛОСТНОСТИ КОНСТРУКЦИИ, ОТДЕЛЯЮЩЕЙ КАМЕРУ ОТ СМЕЖНОЙ СРЕДЫ, И СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО**

---

(31) **20180592**

(32) **2018.04.26**

(33) **NO**

(43) **2021.04.07**

(86) **PCT/NO2019/050095**

(87) **WO 2019/209121 2019.10.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**СКАНВЕЛЛ ТЕКНОЛОДЖИ АС (NO)**

(72) Изобретатель:  
**Квернвольд Мортен (NO)**

(74) Представитель:  
**Хмара М.В., Рыбаков В.М., Липатова И.И., Новоселова С.В., Дощечкина В.В., Пантелеев А.С., Ильмер Е.Г., Осипов К.В. (RU)**

(56) **US-A1-2017023435**  
**WO-A1-2017111608**

Raj Mrudhul ET AL.: "Well Integrity - Christmas Tree Acceptable Leakage Rate and Sustained Casing Pressure", 24th Symposium on Hazards (Hazards 24), Symposium Series 159, 9 May 2014 (2014-05-09), pages 1-13, XP055602717, Retrieved from the Internet: URL:<https://www.icheme.org/media/8920/xxiv-paper-26.pdf> [retrieved on 2019-07-05] abstract

---

(57) Предложен способ проверки целостности конструкции (2), отделяющей камеру (22) от смежной среды, причем способ включает этапы: а) выпуск газа из камеры (22) с потоком, увеличивающий перепад давления между камерой (22) и смежной средой; б) использование по меньшей мере одного датчика (11, 12) для получения по меньшей мере одного параметра, связанного с потоком или состоянием газа в потоке; и с) определение того, поступила ли в процессе выполнения этапа а) текучая среда в камеру (22), и/или определение скорости поступления текучей среды в камеру (22) в процессе выполнения этапа а) с использованием полученного параметра, причем определение основано на количестве выпущенного из камеры (22) газа.

---

**B1**

**045159**

**045159**

**B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Настоящее изобретение относится к области контроля целостности, и, в частности, оно относится к способу контроля целостности конструкции, которая отделяет камеру от смежной среды, и к соответствующему устройству. В некоторых вариантах осуществления такая конструкция проверяется на то, в какой степени она может выдерживать утечку текучей среды из окружающей среды в камеру.

### **Сведения о предшествующем уровне техники**

В различных ситуациях может быть важно проверить, что конструкция имеет необходимую целостность для ее предполагаемого назначения, например, до того, как она будет введена в состояние нормальной эксплуатации или в рамках регулярного рабочего тестирования или устранения неполадок. Одним из таких примеров может быть конструкция ствола скважины, такая как часть трубы в стволе скважины, которая может быть предназначена для отделения смежной среды на одной стороне трубы от области внутри трубы.

"Конструкцией" в контексте настоящей заявки, как правило, может быть то, что в нефтедобывающей промышленности обычно называют "барьером скважины" - оболочкой из одного или более элементов барьера скважины, отделяющей камеру в скважине от одной или более смежных сред. Элемент барьера скважины может быть определен как составная часть скважины, выполненная для предотвращения непреднамеренного перетекания текучих сред, например, из смежного пласта, затрубного пространства или камеры в эксплуатационной трубе, например, в другой пласт, другую камеру или поверхность.

"Текучая среда" в контексте настоящей заявки может включать как жидкость, так и газ.

Чтобы убедиться в том, что конструкция является подходящей и обеспечивает достаточную изоляцию от смежной среды, может потребоваться провести испытание. В разведке и добыче нефти и газа, как известно, проводят так называемое "испытание на давление притока" конструкции, чтобы определить, есть ли в части конструкции утечка текучей среды, причем эта часть обычно называется "барьерным элементом". Такие испытания позволяют определять, есть ли протечка в конструкции под воздействием перепада давления, и в результате испытания можно сделать вывод о том, обладает ли конструкция достаточной целостностью.

Первый тип испытания на давление притока, известный из предыдущего уровня техники, может быть назван испытанием на измерение утечки посредством анализа нарастания давления. График на фиг. 4 показывает, как выполняется первый тип испытания на давление притока, иллюстрируя упрощенный пример того, как давление в камере обычно может изменяться с течением времени в период такого испытания и на какой стадии выполняется измерение:

Камера имеет начальное давление, которое снижается в течение значительного периода времени посредством стравливания давления (период стравливания давления) посредством обеспечения протекания текучей среды через открытый стравливающий клапан для создания перепада давления в камере по сравнению с окружающей средой. Окружающая среда может быть, например, кольцевым пространством, пластом, нижним участком трубы и т.д.

Затем камеру закрывают посредством закрытия стравливающего клапана. Если в период, когда камера закрыта, присутствует утечка из конструкции, как правило, с течением времени давление в камере увеличивается (в период наращивания). Давление в камере контролируют для регистрации увеличения давления в течение определенного периода времени и скорости утечки на основе расчета, содержащего деление изменения давления на период времени ( $\Delta P/\Delta t$ ).

Первый тип испытания на давление притока неэффективен, так как он требует значительного снижения давления в камере с последующим периодом контроля давления, за которым следует период повышения давления, прежде чем может начаться нормальная работа. Поскольку испытываемая камера может быть очень большой, периоды снижения давления и повышения давления могут быть очень длительными. В некоторых случаях период стравливания может длиться более 24 ч.

Этот вид испытания на приток дополнительно раскрыт в публикации SPE 117961 под названием "Проектирование и изготовление низкоскоростной измерительной установки для измерения скорости внутренней утечки кольцевого пространства под давлением для определения состояния целостности скважины", опубликованной обществом инженеров-нефтяников в 2008 году.

Второй тип испытания на давление притока может быть известен как оценка скорости утечки посредством способа прямого измерения утечки. График на фиг. 5 показывает, как выполняется второй тип испытания давления притока, иллюстрируя то, как давление в камере обычно может изменяться с течением времени в период такого испытания, и то, на какой стадии выполняется измерение.

Как и в первом типе испытания на давление притока, стравливающий клапан открывают для стравливания давления в камере в течение периода стравливания. Однако во втором типе испытания на давление притока период стравливания короче, и поддерживается постоянный перепад давления по всей конструкции, между камерой и смежной средой (средами) в течение последующего периода времени. В течение этого периода постоянного перепада давления путь для потока остается открытым, что обеспечивает протекание текучей среды из камеры через расходомер. Поскольку перепад давления поддерживается постоянным, протекающая через расходомер текучая среда обеспечивает информацию о скорости потока текучей среды в камере при утечке. При определенных условиях скорость потока через расходомер

равна скорости потока в камеру при утечке или по меньшей мере приближается к ней.

Это испытание может быть предпочтительнее при определенных условиях по сравнению с первым типом, поскольку период стравливания и последующий период повышения давления, как правило, могут быть короче. Однако, несмотря на то, что эти периоды короче, они все же требуют значительного количества времени. Этот способ может быть сложен в использовании в стволах скважины, где текучая среда в камере/в потоке содержит многофазную смесь газа и жидкости.

Второй тип испытания описан в заявке WO 2010151144 A1.

Оба вышеупомянутых вида испытаний могут иметь недостаток, заключающийся в необходимости значительного снижения давления в камере до получения результатов для определения состояния конструкции. Снижение давления в камере может быть нежелательно длительным, особенно при большом объеме камеры и объема присутствующего в ней газа.

Целью изобретения является устранение или уменьшение значимости по меньшей мере одного из недостатков предыдущего уровня техники.

### **Сущность изобретения**

В соответствии с первым аспектом изобретения предложен способ проверки целостности конструкции, отделяющей камеру от смежной среды, при этом способ включает этапы:

- a) выпуск газа из камеры с потоком через проточную линию, увеличивающий перепад давления между камерой и смежной средой;
- b) использование по меньшей мере одного датчика для получения по меньшей мере одного параметра, связанного с потоком или состоянием газа в проточной линии;
- c) определение того, поступила ли на этапе a) текучая среда в камеру, и/или определение скорости поступления текучей среды в камеру на этапе a) с использованием полученного параметра, причем определение основано на количестве выпущенного из камеры газа.

Способ может быть способом проведения испытания на давление притока.

Конструкция может быть, например, барьером скважины, содержащим один или более элементов барьера скважины. Способ проверки целостности конструкции может быть способом проверки целостности конкретного элемента барьера скважины или барьера скважины. Смежной средой может быть, например, пласт, затрубное пространство, нижняя часть эксплуатационной трубы и т.д.

На этапе c) определение может быть выполнено во время этапа a) или после него, например, посредством анализа полученных данных.

Как правило, период выпуска газа из камеры в потоке может называться "периодом стравливания".

Способ может быть способом проверки целостности конструкции, отделяющей камеру от смежной среды, причем способ включает этапы:

- a) выпуск газа из камеры через проточную линию, увеличивающий перепад давления между камерой и смежной средой, в течение периода стравливания;
- b) использование по меньшей мере одного датчика для получения по меньшей мере одного параметра, связанного с потоком или состоянием газа в проточной линии в течение периода стравливания;
- c) определение того, поступила ли в течение периода стравливания текучая среда в камеру, и/или определение скорости поступления текучей среды в камеру в течение периода стравливания с использованием полученного параметра, причем определение основано на количестве выпущенного из камеры газа.

Способ может иметь преимущества по сравнению с предыдущим уровнем техники, поскольку данные, используемые для определения того, поступила ли текучая среда в камеру, и/или для определения скорости поступления жидкости в камеру, могут быть получены и/или такие определения могут быть сделаны в течение периода стравливания. Как только получено и/или определено достаточное количество информации, стравливание может быть остановлено и могут быть предприняты действия для возвращения к нормальной работе, например, восстановление давления в камере для возобновления добычи. Таким образом, изобретение обеспечивает более эффективный способ проведения испытания на давление притока по сравнению с известным уровнем техники.

График, показанный на фиг. 6, иллюстрирует, как в соответствии с первым аспектом изобретения может изменяться давление в камере во время испытания и после него, и когда во время испытания получают параметры, используемые в определениях: как видно на иллюстрации и как обсуждалось ранее, параметры получают в течение периода стравливания давления, и испытание, таким образом, может быть завершено за значительно более короткое время по сравнению со временем, необходимым для проведения испытаний на давление притока, известных из предыдущего уровня техники.

Для регулирования давления в камере может быть использовать клапан. Обычно клапан закрывают заранее на подготовительном этапе и открывают для обеспечения вытекания газа из камеры в начале испытания. На подготовительном этапе могут быть определены начальные параметры, используемые для последующих расчетов для определения состояния конструкции. По меньшей мере один из этапов способа может быть выполнен во время снижения давления текучей среды в камере. Многие и/или все этапы способа могут быть выполнены во время снижения давления в камере.

Определение на этапе c) может содержать оценку количества, например массы газа, выпущенного из камеры.

Кроме того, определение на этапе с) может быть основано на количестве газа, остающегося в камере после того, как некоторое количество газа выпущено из камеры с потоком.

Параметром может быть давление газа в потоке. Этот параметр может быть получен посредством датчика давления, расположенного с возможностью сообщения по текучей среде с проточной линией.

Параметром может быть скорость потока через проточную линию. Этот параметр может быть получен посредством датчика скорости потока, расположенного с возможностью сообщения по текучей среде с проточной линией.

Параметром может быть температура газа. Этот параметр может быть получен посредством датчика температуры, расположенного с возможностью сообщения по текучей среде с проточной линией.

Параметром может быть плотность газа. Этот параметр может быть получен посредством датчика плотности газа, расположенного с возможностью сообщения по текучей среде с проточной линией.

Параметр может быть другим параметром, предоставляющим релевантную информацию о текучей среде, полученную подходящим способом для получения указанного параметра.

Может быть получено множество параметров. Множество параметров может содержать один или более из следующих параметров: давление газа, скорость потока, температуру, состав газа и/или любой другой параметр, который может быть использован для определения поступления текучей среды в камеру и/или для определения скорости поступления текучей среды в камеру.

Конструкция может быть, например, частью трубы ствола скважины. Смежная среда может быть затрубным пространством, центральной трубой, пластом или другой средой. В противном случае конструкция может быть, например, по меньшей мере частью трубопровода или по меньшей мере частью сосуда для текучей среды, такого как резервуар.

Начальная масса газа в камере,  $m_i$ , может быть рассчитана по следующей формуле:

$$m_i = \frac{P_i * V_i * MW}{Z_i * R * T_i}$$

где

$m_i$  = начальная масса газа в камере;

$P_i$  = начальное давление в камере;

$V_i$  = начальный объем газа в камере;

MW = молекулярная масса газа в камере;

$Z_i$  = начальная сжимаемость газа в камере;

R = постоянная Ренкина; и

$T_i$  = начальная температура газа в камере.

Текущая масса газа в камере может быть рассчитана по следующей формуле:

$$m_c = \frac{P_c * V_c * MW}{Z_c * R * T_c}$$

где

$m_c$  = текущая масса газа в камере;

$P_c$  = текущее давление в камере;

$V_c$  = текущий объем газа в камере;

MW = молекулярная масса газа;

$Z_c$  = текущая сжимаемость газа в камере;

R = постоянная Ренкина; и

$T_c$  = текущая температура газа в камере.

Масса газа, вытекшего через барьер, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$m_l = m_c - m_i + m_p$$

где

$m_l$  = масса газа, протекшего в камеру;

$m_c$  = текущая масса газа в камере;

$m_i$  = начальная масса газа в камере; и

$m_p$  = масса добытого газа.

Этап получения параметра или параметров может быть выполнен множество раз. Упомянутое "множество раз" может быть распределено во времени.

Вышеупомянутые вычисления могут быть повторены для каждого из множества раз, когда определяется параметр или параметры. Определяя параметры и производя расчеты множество раз в течение временного интервала, можно осуществить динамическое измерение утечки и/или можно увидеть, изменится ли скорость утечки при изменении перепада давления.

Реакция давления для теоретической ситуации нулевой утечки может быть рассчитана по следующей формуле:

$$P_{zl} = \frac{[m_i - m_p] * Z_c * R * T_c}{V_c * MW}$$

где

$P_{z1}$  = реакция давления при нулевой утечке через барьер.

Теоретическая реакция давления,  $P_{z1}$ , может быть использована для сравнения с реакцией давления, определяемой по определенным параметрам. Значение, определенное в результате сравнения, может быть использовано для установления и/или расчета наличия утечки в камеру и, если она есть, для количественной оценки утечки.

Текущая среда в камере может содержать газ и жидкость. Количество жидкости в камере может быть определено. Для определения количества жидкости в камере может быть использован акустический измерительный прибор. Акустический измерительный прибор может быть использован для определения газожидкостного контакта в камере. Газожидкостный контакт в камере определяет высоту столба жидкости в камере и, таким образом, может использоваться в качестве параметра для определения объема жидкости в камере.

Информация, полученная в результате определения количества жидкости в камере, может быть использована для определения количества газа в камере и/или для определения количества газа и/или жидкости, которые попали в камеру в результате утечки в барьере конструкции с внешней стороны конструкции в камеру. Зная общий объем камеры, а также высоту и объем столба жидкости в камере, можно определить оставшийся объем, занимаемый газом.

Этап определения количества жидкости в камере может быть выполнен множество раз за определенный промежуток времени. Термин "множество раз" может включать по меньшей мере один раз до выпуска газа из камеры с потоком, и/или по меньшей мере один раз во время выпуска газа из камеры с потоком, и/или по меньшей мере один раз после выпуска газа из камеры с потоком. Определение количества жидкости множество раз в течение временного интервала может быть важным для определения того, изменяется ли количество жидкости в камере с течением времени, например, для определения того, был ли в течение этого временного интервала приток жидкости в камеру.

Объем газа в камере и/или жидкости в камере может быть известен. Если один из объемов неизвестен, то в некоторых случаях для достаточно точного анализа может быть достаточно приблизительного объема, основанного на предположениях. Если аппроксимации, основанной на предположениях, недостаточно, например, если неизвестные факторы делают предполагаемую аппроксимацию неточной, объем газа, жидкости и/или камеры может быть определен с использованием способа и устройства акустического определения указанного объема или объемов и/или с использованием альтернативного подходящего способа и устройства.

В соответствии со вторым аспектом изобретения предложено устройство для проверки целостности конструкции, отделяющей камеру от смежной среды, причем устройство содержит:

по меньшей мере одну секцию проточной линии для потока, содержащего газ из камеры;

по меньшей мере один датчик для получения по меньшей мере одного параметра, связанного с потоком или состоянием газа в потоке; и

по меньшей мере один определитель, выполненный с возможностью использования полученного параметра для определения того, поступила ли текущая среда в камеру и/или определения скорости потока текущей среды в камеру, причем текущая среда поступает в камеру после выпуска газа из камеры с потоком, причем определение основано на количестве газа, выпущенного из камеры.

Устройство может быть устройством для выполнения способа в соответствии с первым аспектом изобретения. Устройство имеет преимущества по сравнению с известными устройствами, поскольку оно может быть использовано для проверки целостности конструкции, содержащей камеру, например, камеру ствола скважины, во время снижения давления в камере и, таким образом, позволяет получать результаты за значительно меньшее время по сравнению с известными устройствами для проверки целостности конструкции, содержащей камеру, например, устройствами для проведения известных испытаний на давление притока. Устройство позволяет проводить проверку целостности в режиме реального времени.

Устройство может содержать датчик давления и/или расходомер. Определитель может содержать компьютерное устройство для выполнения вычислений с целью определения того, поступила ли текущая среда в камеру, и/или определения скорости поступления текущей среды в камеру.

Устройство может содержать конструкцию. Датчик давления и расходомер могут сообщаться по текущей среде с камерой.

Устройство может дополнительно содержать датчик температуры для определения температуры и акустическое измерительное устройство для определения газожидкостного контакта.

Устройство может дополнительно содержать компьютерное устройство.

Конструкция может содержать часть трубы ствола скважины.

В соответствии с третьим аспектом изобретения предложена компьютерная программа для использования при выполнении способа в соответствии с первым аспектом изобретения. Компьютерная программа может быть выполнена с возможностью определения того, поступила ли текущая среда в камеру и/или определения скорости потока текущей среды, поступающей в камеру, причем текущая среда поступает в камеру после выпуска газа из камеры с потоком. Определение может быть основано на количестве выпущенного из камеры газа.

Компьютерная программа может содержать машиночитаемые инструкции для выполнения такого определения.

Компьютерная программа может быть дополнительно выполнена с возможностью использования по меньшей мере одного полученного параметра, связанного с потоком или состоянием газа в потоке.

В соответствии с четвертым аспектом изобретения предложено компьютерное устройство для использования при выполнении способа в соответствии с первым аспектом изобретения. Компьютерное устройство может содержать по меньшей мере один процессор. Процессор может быть выполнен с возможностью выполнения компьютерной программы в соответствии с третьим аспектом изобретения.

В соответствии с пятым аспектом изобретения предложен носитель данных, содержащий компьютерную программу в соответствии с третьим аспектом изобретения.

#### **Перечень фигур**

Далее исключительно в качестве примера описаны варианты осуществления изобретения со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

на фиг. 1 показано схематическое изображение устройства для проверки целостности конструкции в соответствии с вариантом осуществления изобретения;

на фиг. 2 показано схематическое изображение устройства для проверки целостности конструкции в соответствии с другим вариантом осуществления;

на фиг. 3 показан график, иллюстрирующий результаты использования устройства на фиг. 1 или 2, содержащий рассчитанную теоретическую реакцию давления при нулевой утечке, определенную реакцию давления в результате испытаний на герметичность, массовую скорость утечки и объемную скорость утечки;

на фиг. 4 представлен график, показывающий, как выполняется первый тип испытания на давление притока в известном уровне техники, иллюстрируя упрощенный пример того, как давление в камере обычно может изменяться во времени при таких испытаниях и на какой стадии выполняют измерения;

на фиг. 5 представлен график, показывающий, как выполняется второй тип испытаний на давление притока в известном уровне техники, иллюстрируя, как давление в камере обычно может изменяться во времени при таких испытаниях и на какой стадии выполняют измерения; и

на фиг. 6 представлен график, показывающий, как может изменяться давление в камере во время и после испытаний в соответствии с первым аспектом изобретения, и когда в ходе испытания получают параметры, используемые при упомянутых определениях.

#### **Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения**

На фиг. 1 показано устройство 1 для проверки целостности конструкции 2. В частности, устройство 1 используется для определения наличия утечки через часть конструкции 2, а также для определения количества текучей среды, протекающей через часть конструкции 2 за единицу времени.

Конструкция 2 образует камеру 22, которая в данном варианте осуществления является первой частью 22 ствола 21 нефтяной скважины. Конструкция 2 содержит барьер 23 для отделения камеры 22 от смежной среды, в данном варианте осуществления второй части 24 ствола 21 скважины. Камера 22 содержит текучую среду, содержащую газ. Устройство 1 используется для определения наличия утечки, связанной с барьером 23.

Труба 25 образует путь потока газа из камеры 22 к приемной стороне (не показана) для приема газа. Между камерой 22 и приемной стороной имеется перепад давления. Давление в камере 22 выше, чем давление в приемной стороне, так что поток газа через трубу 25 может быть направлен из камеры 22 к приемной стороне.

Приемная сторона содержит, например, закрытую дренажную систему, резервуар, систему сжигания, технологическую установку или другой приемник низкого давления.

Устройство 1 содержит размещенный в трубе 25 клапан 13 для перекрытия или открытия пути потока. Кроме того, устройство содержит расположенные в трубе 25 датчик 11 давления для определения давления текучей среды в камере 22 и расходомер 12 для определения скорости потока газа из камеры 22.

Назначение устройства 1 в этом варианте осуществления состоит главным образом в том, чтобы определять наличие утечки текучей среды из второй части 24 в камеру 22, и определять скорость потока текучей среды из второй части 24 в камеру 22, если есть утечка.

Способ проверки целостности конструкции 2 посредством устройства 1 выполняется следующим образом.

Конструкция 2 образует камеру 22, и первоначально клапан 13 закрыт. Таким образом, камера 22 представляет собой замкнутый объем, содержащий газ. Датчик 11 давления определяет начальное давление газа в камере 22.

Затем клапан 13 открывают. Газ выпускается из камеры 22 и переносится потоком по трубе 25 к приемной стороне. Во время выпуска газа из камеры 22 и его протекания по трубе 25 от датчика давления 11 на непрерывной основе получают скорость потока газа в потоке и давление.

Затем, используя измеренные скорость потока и давление, определяют, произошла ли утечка. Если утечка обнаружена, определяют скорость утечки. Такие определения "утечки" основаны на количестве газа, который покинул камеру 22 в некоторый "более поздний" момент времени после открытия клапана

13 и выпуска газа из камеры 22.

Определения утечек производятся в этом примере посредством определения массы просочившегося в камеру 22 газа (т.е. количества газа,  $m_l$ ), с применением следующей формулы:

$$m_l = m_c - m_i + m_p$$

где

$m_l$  = масса газа, просочившегося в камеру 22;

$m_c$  = текущая масса газа в камере 22 в более поздний момент времени;

$m_i$  = начальная масса газа в камере 22; и

$m_p$  = масса добытого газа.

Все переменные в правой части приведенного выше уравнения определяют и вместе используют для получения требуемой величины ( $m_l$ ), как это объяснено далее.

Начальная масса.

Это масса общего количества газа, содержащегося в камере 22 до открытия клапана 13. Начальная масса газа  $m_i$  может быть определена по следующей формуле:

$$m_i = \frac{P_i * V_i * MW}{Z_i * R * T_i}$$

где

$m_i$  = начальная масса газа в камере 22;

$P_i$  = начальное давление в камере 22;

$V_i$  = начальный объем газа в камере 22;

MW = молекулярная масса газа в камере 22;

$Z_i$  = начальная сжимаемость газа в камере 22;

R = постоянная Ренкина; и

$T_i$  = начальная температура в камере 22.

Оператор, как правило, знает объем камеры 22, поскольку это продиктовано физическим исполнением исследуемой конструкции 2. Начальное давление от датчика 11 давления используется для определения начальной массы газа в камере 22. Начальное давление  $P_i$  получают от датчика 11 давления. Начальный объем газа в камере 22, молекулярная масса газа в камере 22, и начальная сжимаемость газа в камере 22 также известны оператору, как и начальная температура  $T_i$  в камере 22.

Если рассмотренные выше переменные не известны, они могут быть определены. Начальная температура  $T_i$  может быть определена посредством датчика температуры. Начальный объем газа  $V_i$  может быть определен на основе определения или знания общего объема камеры 22 и определения газо-жидкостного контакта в камере 22 посредством акустического измерительного устройства. Молекулярная масса MW и начальная сжимаемость газа  $Z_i$  могут быть определены посредством хроматографического газоанализатора. Специалисту в области техники понятно, что для получения переменных, кроме упомянутых, могут быть использованы и другие способы.

Как видно, любые измерения, зависящие от условий эксплуатации, такие как, например, измерение температуры, начального давления и количества газа, подаваемого в камеру 22 для подготовки ее к испытанию, производятся на предварительном этапе, перед открытием клапана 13 для выпуска газа из камеры 22 через трубу 25.

Масса добытого газа.

Когда определены начальная масса газа и начальное давление, клапан 13 открывают и газ вытекает из камеры 22. В результате вытекания газа из камеры 22 давление со временем падает. Газ, который выходит из камеры 22 и протекает через участок трубы 25, называется "добытым газом". Массу (т.е. количество) добытого газа можно определить по следующей формуле:

$$m_p = \bar{Q}_p * \bar{\rho}_p * \Delta t$$

где

$m_p$  = масса добытого газа;

$\bar{Q}_p$  = средняя скорость потока газа за определенный период времени;

$\bar{\rho}_p$  = средняя плотность добытого газа за период времени; и

$\Delta t$  = период времени.

В течение определенного периода времени скорость потока газа определяют и регистрируют посредством расходомера 12. В других вариантах осуществления вместо расходомера 12 используются другие средства для определения расхода.

Давление определяют и регистрируют посредством датчика 11 давления, и определяемое давление используется для определения плотности добытого газа. Вместе с определенной плотностью определенная скорость потока газа используется для определения массы добытого газа, т.е. газа, который переместился из камеры 22 через расходомер 12 за некоторый промежуток времени в определенный момент времени после открытия клапана 13.

Текущая масса.

Текущая масса газа в камере 22 в более поздний момент времени может быть определена аналогично тому, как определяют начальную массу, с текущими, а не начальными значениями переменных в формуле:

$$m_c = \frac{P_c * V_c * MW}{Z_c * R * T_c}$$

Текущие значения переменных могут быть определены посредством ранее упомянутых способов, или в некоторых случаях они могут быть предположены. Например, можно предположить, что температура в камере 22, молекулярный вес, сжимаемость и объем газа остаются практически постоянными в ходе испытания.

Текущая масса газа в камере 22 относится к массе газа в более поздний момент времени после того, как способ инициирован и газ течет или вытек из камеры 22 по трубе 25.

Давление, непрерывно измеряемое датчиком 11 давления, дает значение давления  $P_c$ .

Определение утечки.

Исходя из вышеизложенного, посредством нахождения начальной массы газа в камере 22, массы добытого газа и текущей массы газа в камере 22, легко получить массу  $m_i$ , и следовательно можно определить, была ли утечка газа в камеру 22, и количественно оценить такую утечку, например, получить скорость потока утечки.

Наличие утечки может быть определено следующим образом. Если полученное для массы  $m_i$  значение - положительное, то есть утечка. Если значение утечки превышает заданное пороговое значение, то можно сделать вывод, что конструкция 2 не обладает достаточной целостностью, то есть она не проходит испытание.

Исходя из определенной массы  $m_i$ , скорость утечки может быть найдена посредством следующей формулы:

$$\bar{Q}_i = \frac{m_i}{\bar{\rho}_i * \Delta t}$$

где

$\bar{Q}_i$  = средняя скорость утечки газа в камеру 22 за определенный период времени;

$m_i$  = масса газа, просочившегося в камеру 22;

$\bar{\rho}_i$  = средняя плотность газа, просочившегося в камеру 22 за период времени;

$\Delta t$  = период времени.

В некоторых вариантах эти расчеты автоматизированы. Записанные данные и/или параметры с расходомера 12 и датчика 11 давления подают в качестве входных данных в компьютерное устройство 17, и компьютерное устройство использует эти данные для выполнения необходимых определений и/или анализа для определения наличия утечки в камеру 22 и/или количественной оценки скорости утечки, в случае ее наличия.

В некоторых вариантах способа может быть достигнуто динамическое измерение утечек. В зависимости от рассматриваемого случая скорость утечки может изменяться при изменении перепада давления между камерой 22 и второй частью 24 по мере вытекания газа из камеры 22 и падения давления в камере 22. Путем многократного и/или непрерывного измерения скорости потока и давления можно определять изменение скорости утечки с течением времени.

Определенное изменение давления можно сравнивать с моделируемым изменением давления для определения характеристики притока в камеру 22 из второй части 24. Смоделированное изменение давления может быть рассчитанным изменением давления при определенной скорости утечки в условиях отсутствия притока. Сравнение определенного изменения давления с моделируемым, в условиях отсутствия притока, может дать четкое представление о том, был ли приток текучей среды в камеру 22 и, кроме того, возможно, скорость утечки в камеру 22.

Следует отметить, что для получения данных могут использоваться другие устройства, отличные от тех, что упомянуты в составе устройства, описанного выше со ссылкой на фиг. 1. Определять скорость потока газа из камеры 22 можно и другими способами, кроме использования расходомера 12. Плотность газа может быть определена, например, посредством датчика плотности. Температура может быть определена, например, посредством датчика температуры. Сжимаемость и/или молекулярная масса газа могут быть определены, например, посредством хроматографического газоанализатора. Объем газа и/или жидкости в камере 22, температура, сжимаемость и/или молекулярная масса во многих случаях могут быть легко доступны и известны оператору, например, получены ранее или посредством ранних операций, выполняемых на объекте.

На фиг. 2 показан другой вариант устройства 1, содержащий акустическое измерительное устройство 16 для определения газожидкостного контакта в камере 22 в случае, когда предполагается, что камера 22 содержит не только газ, но и жидкость, и/или что текучая среда притока может содержать жидкость. Тем не менее, описанный выше со ссылкой на фиг. 1 способ может быть использован и в варианте фиг. 2.

Посредством акустического измерительного устройства 16 устройство 1 может быть использовано для определения притока текучей среды, когда текучая среда по меньшей мере частично находится в жидкой форме. Акустическое измерительное устройство 16 используется для определения того, где в камере 22 находится газожидкостный контакт, для определения объема жидкости, и соответственно определения объема газа. В таком случае объем газа в камере 22 равен общему объему камеры 22 минус объем жидкости.

Акустическое измерительное устройство 16 может использоваться множество раз в течение временного интервала для определения того, изменяется ли газожидкостный контакт в камере 22 с течением времени и, возможно, как именно он изменяется. Информация, собранная посредством множества измерений акустическим измерительным устройством 16, может быть использована для определения скорости утечки жидкости в камеру 22 и/или для более точного расчета скорости утечки газа в камеру 22.

Кроме того, устройство 1 на фиг. 2 содержит компьютерное устройство 17 для проведения расчетов с использованием данных, полученных посредством датчика 11 давления, расходомера 12 и акустического измерительного устройства 16. Компьютерное устройство 17 соединено с датчиком 11 давления, расходомером 12 и акустическим измерительным устройством 16 для приема от них данных.

Компьютерное устройство 17 содержит носитель данных (не показан) для хранения компьютерной программы для выполнения расчетов с использованием этих данных. Программа выполняется процессором компьютера и определяет, поступила ли текучая среда в камеру 22 в результате утечки, и определяет скорость поступления любой такой текучей среды, поступившей в камеру 22.

Варианты осуществления изобретения могут иметь преимущества, так как они могут позволять избежать необходимости снижения давления в камере 22 до той же степени, что и при испытаниях на давление притока в соответствии с известным уровнем техники. В частности, параметры могут быть получены от датчиков 11, 12 во время выпуска газа из камеры 22, так что результаты могут быть получены быстрее. Например, утечка может выявляться и количественно определяться непрерывно с момента выпуска газа из камеры 22 в потоке.

В различных вариантах осуществления изобретения может быть выгодно определять температуру газа, так как она является параметром приведенных выше формул для определения массы. Определение температуры может осуществляться, если она не известна оператору изначально и/или если она может измениться во время выполнения способа. Аналогично, может оказаться полезным определить по крайней мере один из следующих параметров: молекулярную массу газа и сжимаемость газа. Молекулярная масса газа и сжимаемость могут быть определены посредством газового хроматографа. Молекулярная масса газа и сжимаемость газа являются переменными в формулах, упомянутых выше. Переменные могут быть известны оператору, но если они неизвестны, то могут быть определены. Во время выполнения способа может изменяться газовый состав газа в объеме, что может привести к изменению молекулярной массы и сжимаемости.

Поэтому, если существует риск изменения состава газа во время выполнения способа, молекулярная масса и сжимаемость газа могут быть предпочтительно определены как часть этапа получения параметров газа в потоке.

Описанный выше способ может иметь преимущества по сравнению с предшествующим уровнем техники, поскольку он может быть осуществлен и даже завершен во время снижения давления в камере 22 без какого-либо предварительного снижения давления до получения соответствующих параметров для определения состояния конструкции. Падение давления в камере 22 во время испытания обычно может быть ниже, чем при испытаниях предшествующего уровня техники, и повышение давления, необходимое после завершения испытания, обычно может быть ниже. Таким образом, проверка целостности может быть завершена за значительно меньшее время, чем в предшествующем уровне техники.

На фиг. 3 показан график, иллюстрирующий рассчитанную теоретическую реакцию 200 давления при нулевой утечке, а также реакцию 100 давления в результате испытания на герметичность, массовую скорость 400 утечки и объемную скорость утечки 300, определенные при испытаниях, в которых способ, описанный со ссылкой на фиг. 1 или 2, применялся и использовался для обнаружения наличия утечки и определения массы утекшего материала. Такое графическое представление данных может быть использовано как часть способа для представления полученных данных, чтобы наглядно проиллюстрировать наличие утечки, скорость утечки и то, как скорость утечки изменяется с течением времени по мере изменения давления текучей среды в камере 22. Кроме того, фиг. 3 иллюстрирует, что может быть возможно заранее определить во время снижения давления в камере 22 наличие утечки, а также является ли ее скорость недопустимой в соответствии с промышленными стандартами. Наличие утечки может стать очевидным уже при сравнении определенной реакции давления 100 с рассчитанной теоретической реакцией 200 давления при нулевой утечке. Как показано на фиг. 3, может существовать значительная, четкая разница между теоретической реакцией 200 давления и определенной реакцией 100 давления.

Несмотря на то, что устройство 1, описанное выше и показанное на фиг. 1 и 2, содержит как датчик давления 11, так и расходомер 12 для получения параметров, связанных с потоком или состоянием газа в потоке, способ может быть выполнен с использованием только одного датчика 11 или 12 для получения таких параметров.

Учитывая, что поток из камеры 22 через трубу 25 ограничен известной скоростью потока, например, посредством ограничителя потока (не показан) какого-либо типа, в некоторых вариантах достаточно получить информацию о давлении текучей среды в камере и/или газа в потоке с помощью датчика давления 11, чтобы иметь возможность определить, поступила ли текучая среда в камеру 22.

Можно также определить, попала ли текучая среда в камеру 22, используя только расходомер 12, без использования датчика давления 11. Это может быть сделано, например, если давление ниже по потоку от расходомера 12 известно и по существу постоянно. Затем может быть возможно вывести ожидаемое изменение потока через расходомер 12 для теоретического варианта отсутствия притока в камеру 22. Затем можно использовать сравнение ожидаемого изменения потока с потоком, измеренным с помощью расходомера 12, для определения того, поступила ли текучая среда в камеру 22.

Следует отметить, что вышеупомянутые варианты осуществления иллюстрируют, а не ограничивают изобретение, и что специалисты в данной области техники могут разработать множество альтернативных вариантов осуществления, не выходя за рамки прилагаемой формулы изобретения.

В рамках способа согласно изобретению могут быть выполнены способы определения параметров текучей среды, таких как давление, объем газа, молекулярная масса газа, сжимаемость газа, температура газа, масса газа и многое другое, которые могут иметь отношение к способу согласно изобретению, которые не упомянуты в настоящем тексте, но которые известны специалисту или которые в будущем будут известны специалисту. Изобретение не ограничивается конкретными способами получения указанных параметров, указанными в настоящем тексте.

В формуле изобретения любые ссылочные обозначения, помещенные между скобками, не должны толковаться как ограничивающие формулу изобретения. Использование глагола "содержит" и его спряжений не исключает наличия элементов или этапов, отличных от указанных в формуле изобретения. Указание элемента в единственном числе не исключает возможность наличия множества таких элементов.

Факт того, что определенные меры приводятся во взаимно различных зависимых пунктах формулы изобретения, сам по себе не означает, что для получения преимуществ не может быть использовано сочетание этих мер.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ проверки целостности конструкции (2) ствола скважины, отделяющей камеру (22) в стволе скважины от смежной окружающей среды, отличающийся тем, что включает следующие этапы:

а) управление по меньшей мере одним клапаном и выпуск газа из камеры (22) через клапан в потоке, увеличивая тем самым перепад давления между камерой (22) и смежной средой;

б) использование по меньшей мере одного датчика (11, 12) для получения по меньшей мере одного параметра, связанного с указанным потоком или состоянием газа в указанном потоке;

с) определение того, поступил ли газ в камеру (22), с использованием полученного параметра, причем газ поступает в камеру (22) после выпуска по меньшей мере части газа и увеличения перепада давления на этапе а), при этом указанное определение основано на количестве выпущенного из камеры газа;

д) определение скорости притока газа в камеру (22) на этапе а) с использованием полученного параметра, причем данное определение основано на измерении прибором по меньшей мере одного из следующих параметров: изменение плотности текучей среды во времени, изменение давления во времени, масса текущей среды, выходящей из камеры с течением времени, объем текущей среды, выходящей из камеры с течением времени.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что определение на одном или на обоих этапах с) и д) выполняются во время выполнения этапа а) или после него, посредством анализа полученных данных.

3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что этап а) дополнительно включает снижение давления текучей среды в камере (22).

4. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что определение на одном или на обоих этапах с) и д) дополнительно включает оценку количества газа, выпущенного из камеры (22).

5. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что определение на одном или на обоих этапах с) и д) дополнительно основано на количестве газа, остающегося в камере (22) после того, как указанное количество газа покинуло камеру (22) в потоке.

6. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что способ дополнительно включает определение количества газа, попавшего в камеру (22) при утечке в барьер (23) конструкции (2), с внешней стороны конструкции (2) в камеру (22).

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что определение количества текучей среды, попавшей в камеру (22) при утечке, включает вычисление, определение или оценку массы газа, просочившегося через барьер (23) конструкции (2), с использованием линейного сочетания текущей массы газа в камере (22), начальной массы газа в камере (22) и массы газа, добытого за счет выхода газа из камеры (22) с потоком.

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что этап получения параметра или параметров выполняют множество раз.

9. Способ по п.8, дополнительно включающий выполнение множества вычислений с использовани-

ем параметра или параметров, полученных на основании параметра или параметров, полученных множество раз, для определения того, как скорость утечки изменяется во времени.

10. Способ по любому из предыдущих пунктов, отличающийся тем, что дополнительно включает:

i) расчет реакции давления для теоретических условий нулевой утечки;

ii) использование датчика для определения по меньшей мере одного давления газа в потоке из камеры (22);

iii) сравнение расчетной реакции для теоретических условий нулевой утечки с определенной реакцией (100) давления, полученной с использованием датчика (11) давления;

iv) использование сравнения для определения состояния конструкции (2).

11. Способ по любому из предыдущих пунктов, дополнительно включающий определение количества жидкости в камере (22).

12. Устройство (1) для использования при проверке целостности конструкции (2) ствола скважины, отделяющей камеру (22) в стволе скважины от смежной окружающей среды, содержащее:

по меньшей мере один участок поточной линии для потока из камеры (22), содержащего газ;

по меньшей мере один клапан, управляемый для выпуска газа из камеры (22) через клапан в потоке, чтобы увеличить перепад давления между камерой (22) и смежной средой;

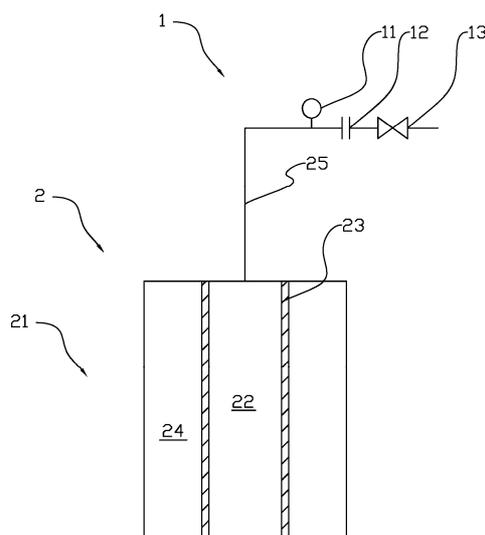
по меньшей мере один датчик для получения по меньшей мере одного параметра, связанного с указанным потоком или состоянием газа в указанном потоке;

и по меньшей мере один определитель, выполненный с возможностью использования полученного параметра для определения того, поступил ли газ в камеру (22), причем газ поступает в камеру (22) после выпуска по меньшей мере части газа из камеры и увеличения перепада давления, при этом это определение основано на количестве выпущенного из камеры газа; и определения скорости притока газа в камеру (22), причем это определение основано на измерении прибором по меньшей мере одного из следующих параметров: изменение плотности текучей среды во времени, изменение давления во времени, масса текучей среды, выходящей из камеры с течением времени, объем текучей среды, выходящей из камеры с течением времени.

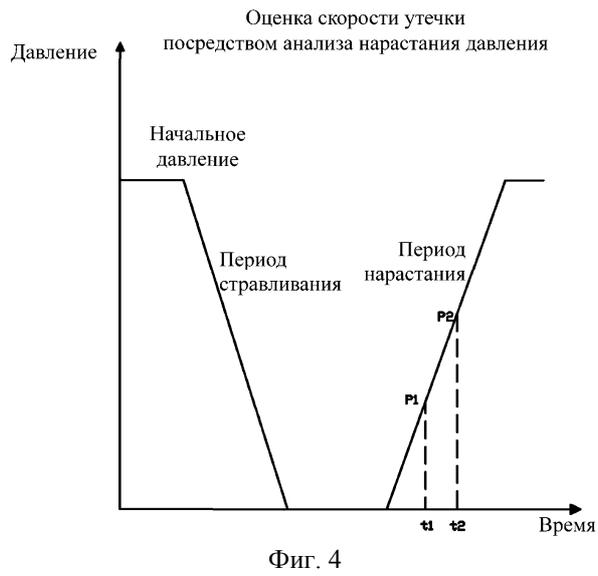
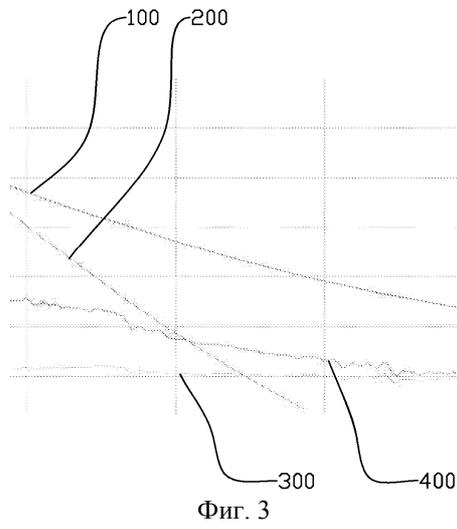
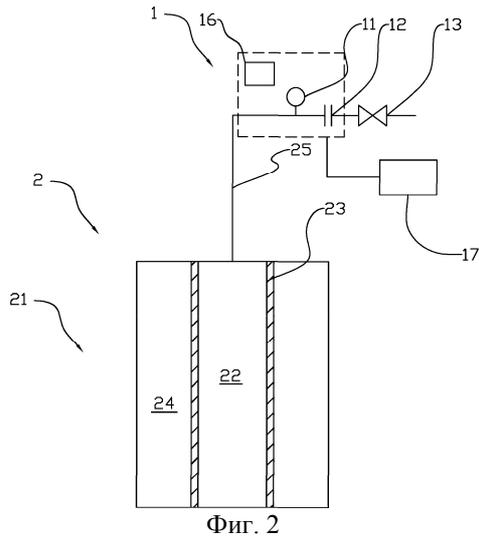
13. Машиночитаемый носитель данных, на котором хранится компьютерная программа, логика которой позволяет выполнять последовательность операций в соответствии со способом по любому из пп.1-11.

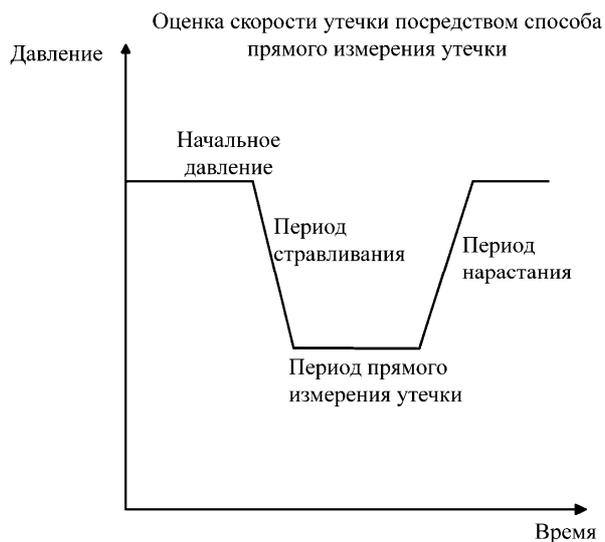
14. Машиночитаемый носитель данных по п.13, отличающийся тем, что компьютерная программа содержит машиночитаемые инструкции для определения того, поступила ли текучая среда в камеру (22), и/или определения скорости потока текучей среды, поступающей в камеру (22), причем текучая среда поступает в камеру (22) после выпуска газа из камеры (22) с потоком, причем определение основано на количестве газа, выпущенного из камеры (22).

15. Компьютерное устройство (17) для осуществления способа по любому из пп.1-11, содержащее по меньшей мере один процессор, причем процессор выполнен с возможностью выполнения компьютерной программы, логика которой позволяет выполнять последовательность операций в соответствии со способом по любому из пп.1-11.

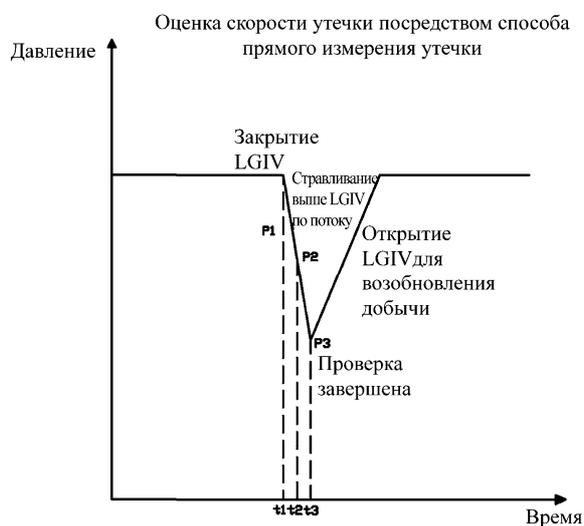


Фиг. 1





Фиг. 5



Фиг. 6

