

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036945**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.01.19

(51) Int. Cl. **G01N 11/06** (2006.01)
E21B 21/01 (2006.01)

(21) Номер заявки
201790263

(22) Дата подачи заявки
2010.10.07

(54) **ИЗМЕРЕНИЕ РЕОЛОГИИ ЖИДКОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ С
ВОРОНКОЙ**

(31) **61/250,210**

(56) **US-A-3074266**

(32) **2009.10.09**

EP-A1-0108404

(33) **US**

WO-A1-2009055672

(43) **2017.10.31**

US-A1-20070227234

(62) **201270507; 2010.10.07**

US-A-3064468

US-A1-20080173075

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭМ-АЙ ЭЛ.ЭЛ.СИ. (US)

(72) Изобретатель:
**Го Цюаньсинь, Ван Цун, Джихан
Томас, Цзи Луцзюнь (US)**

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Способы определения реологии жидкости, причем данные способы включают в себя определение первого прошедшего объема или веса жидкости в первый момент времени, определение по меньшей мере второго прошедшего объема или веса жидкости во второй момент времени и вычисление реологии жидкости на основании определенных первого и по меньшей мере второго объемов или весов прошедшей жидкости в первый и второй моменты времени.

036945

B1

036945
B1

Область техники, к которой относится изобретение

Варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся, главным образом, к приспособлениям и способам определения реологии жидкости. Конкретнее, варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся к приспособлениям и способам автоматического определения реологии жидкости в местоположении бурения или закачивания отходов. Кроме того, варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся к приспособлениям и способам определения реологии жидкости с применением воронок Марша и алгоритмов симплексного метода.

Уровень техники

При бурении или заканчивании скважины в земных формациях по разным причинам в скважине обычно применяют различные жидкости. Обычные применения для жидкостей в скважине включают: смазку и охлаждение режущих поверхностей бурового долота при обычном бурении или вскрытии пласта (т.е. вскрытии целевой нефтеносной формации), транспортировку "шлама" (обломков формации, отбитых режущим действием зубцов на буровом долоте) на поверхность, регулирование давления жидкости в формации для предупреждения фонтанирования, поддержание стабильности скважины, суспендирование твердой фазы в скважине, минимизацию ухода жидкости в формацию, через которую бурят скважину, и ее стабилизацию, разрыв формации поблизости от скважины, вытеснение жидкости в скважине другой жидкостью, очистку скважины, испытание скважины, передачу гидравлической мощности на буровое долото, жидкость, применяемую для установки пакера, ликвидацию скважины или подготовку скважины для ликвидации и иные действия со скважиной или формацией.

Буровая жидкость имеет форму "раствора", т.е. жидкости, имеющей суспендированную в ней твердую фазу. Твердая фаза выполняет функцию придания требуемых реологических свойств буровой жидкости, а также увеличения ее плотности, для того чтобы обеспечить подходящее гидростатическое давление у забоя скважины.

Буровые жидкости обычно характеризуют как тиксотропные жидкостные системы. То есть они проявляют низкую вязкость при деформации сдвига, как, например, при циркуляции (что происходит во время перекачивания или контакта с движущимся буровым долотом). Однако, когда сдвигающее действие прекращается, жидкость должна быть способна к суспендированию твердой фазы, содержащейся в ней, для того чтобы воспрепятствовать расслоению под действием силы тяжести. Кроме того, когда буровая жидкость находится в условиях деформации сдвига и в свободнотекущем почти жидком состоянии, она должна сохранять достаточно высокую вязкость для того, чтобы выносить все ненужные твердые частицы от забоя ствола скважины на поверхность. Композиция буровой жидкости должна также предоставлять возможность удалять или как-либо иначе выделять из жидкой фракции шлам и другой ненужный состоящий из частиц материал. Это верно также для операции закачивания раствора твердых отходов (т.е. бурового шлама). Таким образом, раствор должен обладать достаточными реологическими свойствами, для того чтобы суспендировать и нести шлам и/или другие твердые частицы, для того чтобы избежать седиментации и, следовательно, потери приемистости нагнетательной скважины.

Существует возрастающая потребность в буровых жидкостях, обладающих реологическими профилями, которые позволяют легче бурить скважины. Буровые жидкости, обладающие измененными реологическими свойствами, обеспечивают удаление шлама из ствола скважины настолько результативно и эффективно, насколько возможно, для того чтобы избежать образования скоплений шлама в скважине, которые могут стать причиной заклинивания бурильной колонны, наряду с другими проблемами. Существует также потребность со стороны гидравлики буровой жидкости (эквивалентная плотность циркуляции) уменьшить давления, необходимые для циркуляции жидкости, уменьшая воздействие на формацию лишних сил, которые могут разорвать формацию, в результате чего будет потеряна жидкость и, возможно, скважина.

Кроме того, повышенный реологический профиль необходим, для того чтобы воспрепятствовать выпадению в осадок или оседанию утяжелителя в жидкости. Если это происходит, то может привести к неправильному профилю плотности в системе циркулирующей жидкости, что может вылиться в проблемы с управлением скважиной (приток газа/жидкости) и стабильностью ствола скважины (осыпи/разрывы).

При выполнении закачивания отходов (например, бурового шлама), если раствор шлама не обладает достаточной способностью суспендировать твердые вещества, твердая фаза (т.е. буровой шлам) может оседать из раствора и накапливаться у забоя скважины, и нагнетательная скважина может стать непригодной из-за потери приемистости. Это может произойти за считанные часы, и, следовательно, возможность измерения раствора или жидкости в реальном времени во время операции закачивания раствора бурового шлама или твердых отходов следует рассмотреть при выполнении таких операций.

Для того чтобы получить параметры жидкости, необходимые для того, чтобы удовлетворить данным требованиям, жидкость должна легко подвергаться перекачке так, чтобы требовалось минимальное значение давления для того, чтобы прогонять ее через сужения в системе циркуляции жидкости, такие как насадки долота или скважинные инструменты. Другими словами, жидкость должна обладать наименьшей возможной вязкостью в условиях деформации сдвига. Напротив, в зонах скважины, где велико пространство для потока жидкости, а скорость жидкости мала или где имеют место условия незначи-

тельной деформации сдвига, вязкость жидкости должна быть настолько большой, насколько возможно для того, чтобы суспендировать и переносить буровой шлам. Это применимо также к промежуткам времени, когда жидкость остается неподвижной в стволе, где как шлам, так и утяжелители должны быть суспендированы для того, чтобы не допустить их осаждения. При этом следует также заметить, что вязкость жидкости не должна продолжать возрастать в условиях покоя до неприемлемых значений. Иначе, когда снова возникнет необходимость начать циркуляцию жидкости, это может привести к избыточным давлениям, что может разорвать формацию или привести к потере времени, если сила, необходимая, для того чтобы полностью восстановить систему циркуляции жидкости, окажется за пределами возможностей насосов.

Для того чтобы определять реологию конкретной жидкости, применяют различные полевые методики. Например, применяют вискозиметры для того, чтобы определять вязкость жидкости в полевых условиях; однако такие способы определения вязкости часто медленны и требуют обслуживания вручную. В других случаях инженеры по буровой жидкости или инженеры по закачиванию отправляют к местоположению бурения или закачивания отходов для проведения ручных измерений в жидкостях, применяемых при выполнении бурения или закачивания раствора твердых отходов для того, чтобы определять свойства конкретных буровых жидкостей или растворов твердых отходов; однако, такие способы часто дороги и не удобны для измерения в реальном времени, в зависимости от местоположения бурения или закачивания.

Соответственно, существует постоянная необходимость в приспособлениях и способах определения реологии жидкости в реальном времени.

Сущность изобретения

В одном аспекте варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся к способам определения реологии жидкости, причем данные способы включают в себя определение первого прошедшего объема или веса жидкости в первый момент времени, определение по меньшей мере второго прошедшего объема или веса жидкости во второй момент времени и вычисление реологии жидкости на основании определенных первого и по меньшей мере второго объемов или весов прошедшей жидкости в первый и второй моменты времени.

В другом аспекте варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся к системе для определения реологии жидкости, включающей в себя воронку Марша, имеющую вход жидкости и выход жидкости, расположенную в корпусе, мерную чашу, расположенную в жидкостной связи с выходом жидкости воронки Марша, устройство для измерения веса, расположенное поблизости от мерной чаши и настроенное для того, чтобы определять вес мерной чаши, и логический контроллер в оперативной связи с воронкой Марша, мерной чашей и устройством для измерения веса, причем логический контроллер настроен для того, чтобы определять вес жидкости в измерении жидкости в момент времени.

В другом аспекте варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся к способу автоматизированного вычисления реологии жидкости в местоположении бурения или закачивания, причем данный способ включает в себя вливание жидкости в воронку Марша автоматизированной системы для определения реологии жидкости, причем автоматизированная система для определения реологии жидкости включает в себя воронку Марша, имеющую вход и выход, мерную чашу в жидкостной связи с выходом и логический контроллер; открывание выхода воронки Марша; определение первого объема или веса жидкости, который прошел из воронки Марша в мерную чашу, в первый момент времени; определение второго объема или веса жидкости, который прошел из воронки Марша в мерную чашу, во второй момент времени; передачу первого и второго объемов или весов в соответствующие первый и второй моменты времени на логический контроллер; и вычисление реологии жидкости для данной жидкости на основании переданных первого и второго объемов или весов в соответствующие первый и второй моменты времени.

В другом аспекте варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся к способу моделирования потока жидкости, причем данный способ включает в себя введение плотности и параметров реологии; моделирование потока жидкости через воронку Марша, причем моделирование включает в себя вычисление высоты жидкости по мере прохождения объема или веса жидкости; вычисление скорости жидкости, соответствующей вычисленной высоте жидкости; вычисление значения времени для данной скорости; определение времен прохождения через воронку, соответствующих моделированным объемам или весам; и выведение времен прохождения через воронку Марша.

Другие аспекты и преимущества настоящего изобретения будут понятны из следующего описания и прилагаемой формулы изобретения.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 представляет собой схематическое представление воронки Марша в соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия.

Фиг. 2 представляет собой схематическое представление системы для измерения реологии жидкости в соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия.

Фиг. 3 представляет собой блок-схему способа вычисления времени прохождения через воронку Марша в соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия.

Фиг. 4 представляет собой схематическое представление компьютерной системы в соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия.

Подробное описание

В одном аспекте варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся главным образом к приспособлениям и способам определения реологии жидкости. В других аспектах варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся к приспособлениям и способам автоматического определения реологии жидкости в местоположении бурения или закачивания отходов. В некоторых других аспектах варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, относятся к приспособлениям и способам определения реологии жидкости с применением воронок Марша и алгоритмов симплексного метода.

В одном аспекте варианты осуществления, раскрытые в настоящем описании, предоставляют возможность точного и количественного определения параметров реологии жидкости с применением измерения с помощью воронки. Измерение реологии жидкости с помощью воронок, таких как воронка Марша, ранее обеспечивало только качественную проверку реологии жидкости. Количественные измерения реологии жидкости часто производились с применением ротационных реологических приспособлений. Тем не менее, варианты осуществления настоящего раскрытия могут сделать возможными количественное получение реологических параметров из измерений с помощью воронки.

Возможность характеризовать реологию жидкости буровых жидкостей может позволить оптимизацию жидкостей, применяемых при операциях бурения, для определенных условий бурения. Помимо буровых жидкостей, различные другие жидкости применяются во время операций заканчивания, добычи, ремонта и закачивания отходов. Таким образом, возможность характеризовать реологию жидкости различных типов жидкостей, связанных со скважинами, может повысить продуктивность и ценность скважин в течение срока эксплуатации скважин. В контексте настоящего описания "жидкости" относится главным образом к любому типу жидкости или раствора, который может применяться в скважине, включая, без ограничения, буровые жидкости, жидкость для заканчивания, жидкости для ремонта скважин и растворы для закачивания твердых отходов. Средним специалистам в данной области техники понятно, что другие жидкости, которые могут извлечь пользу из оптимизации реологии, могут также извлечь пользу из приспособлений и способов, раскрытых в настоящем описании.

Что касается фиг. 1, на ней показано схематическое представление стандартной воронки Марша API (Американского нефтяного института) в соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия. В общих чертах воронка Марша 100 представляет собой перевернутый конус 101 с присоединением дроссельной трубки (выхода) 102, расположенной в дне конуса 101. Воронки Марша, как правило, имеют верхний диаметр 103, равный приблизительно 152,4 мм, с выходом 104, имеющим диаметр, равный приблизительно 4,76 мм. Воронка Марша 100 может также иметь экран 105 рядом с верхом конуса 101, так что, когда жидкости вливаются в воронку Марша 100, твердая фаза, которая может блокировать поток жидкостей через выход 104, удаляется. Когда жидкости первоначально вливают в воронку Марша 100, жидкостями можно наполнить конус 101 до определенной высоты, такой как первоначальная высота жидкости 106. При этом настоящее изобретение не ограничено вышеуказанными определенными API размерами воронки.

Как правило, при использовании воронки Марша 100 инженер наполняет конус 101 до первоначальной высоты жидкости 106, в то же время блокируя выход жидкости из конуса 101 через выход 104 с помощью пальца. Затем, запустив ручной секундомер, инженер прекращает блокировать пальцем выход 104 и засекает время выхода потока жидкости из воронки Марша 100, до тех пор одна кварта жидкости не пройдет через выход 104. Затем инженер вручную останавливает секундомер и записывает время, которое потребовалось одной кварте жидкости, для того чтобы выйти из воронки Марша 100, в качестве вязкости по воронке Марша.

Что касается фиг. 2, на ней показано схематическое представление системы для определения реологии жидкости в соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия. В данном варианте осуществления система 200 включает в себя воронку Марша 201 и мерную чашу 202, расположенные в корпусе 203. Воронка Марша 201 может представлять собой обычную воронку Марша 100, описанную подробно на фиг. 1, или в альтернативных вариантах осуществления может включать в себя дополнительные экраны (не показаны), иметь такую конфигурацию, чтобы вмещать больше жидкости, или иметь другой размер. Как показано, воронка Марша 201 имеет вход 204 и выход 205, причем вход 204 сконфигурирован для того, чтобы получать поток жидкостей, а выход 205 находится в жидкостной связи с мерной чашей 202.

В определенных вариантах осуществления вход 204 может быть сконфигурирован для того, чтобы получать поток жидкостей из линии подачи жидкости 206, которая перемещает жидкости из местоположения смешивания жидкости (не показано) или перемещает жидкости, которые возвращены из ствола скважины (не показан). Таким образом, жидкости, получаемые из линии подачи жидкости 206, могут представлять собой новые или использованные буровые жидкости, жидкости для заканчивания, жидкости для ремонта скважин или растворы твердых отходов для закачивания. В определенных вариантах осуществления жидкости могут перемещаться из линии подачи жидкости 206 в воронку Марша 201 периодически, тогда как в других вариантах осуществления поток жидкостей может быть по существу непрерывным. Поэтому свойства жидкостей можно измерять по существу непрерывно или как необходимо, как, например, периодически.

Когда жидкости поступают в воронку Марша 201, жидкостям позволяют наполнять воронку Марша 201 до определенной высоты, такой как первоначальная высота жидкости, или до тех пор, пока не будет достигнут заранее определенный уровень жидкости. Когда соответствующий уровень жидкости достигнут, поток жидкостей в воронку Марша 201 может быть остановлен посредством, например, закрывания вентиля на линии подачи жидкости 206. Средним специалистам в данной области техники понятно, что вентиль можно закрывать вручную или автоматически в ответ на сигнал, посланный системой 200 на вентиль (не показан), такой как электромеханический вентиль.

После заполнения воронки Марша 201 до первоначальной высоты открывают выход 205 и позволяют жидкости в воронке Марша 201 вытекать из воронки Марша 201 в мерную чашу 202. Когда выход 205 открыт, может быть запущен таймер так, что можно определить время, которое будет затрачено на то, чтобы определенный объем жидкости вытек из воронки Марша 201 в мерную чашу 202. Поскольку жидкость продолжает вытекать из воронки Марша 201 в мерную чашу 202, дополнительные приращения времени могут быть записаны и связаны с определенным весом жидкости, вытекшим из воронки Марша 201.

Также можно определить вес жидкости в мерной чаше 202 в определенное время посредством устройства для измерения веса 207. Как показано, устройство для измерения веса 207 может представлять собой весы, датчик нагрузки или другое устройство, расположенное под мерной чашей 202. При этом в других вариантах осуществления устройство для измерения веса может представлять собой устройства для измерения любого другого типа, способное к определению веса жидкости в мерной чаше 202.

Как только вес жидкости в мерной чаше 202 в определенный момент времени записан, и измерение веса (который можно преобразовать в объем, используя плотность анализируемой жидкости), и время могут быть переданы на логический контроллер 208. Логический контроллер 208 может представлять собой программируемый логический контроллер, устройство записи данных, персональный компьютер или логический контроллер любого другого типа, способный получать данные от других компонентов системы 200. Как показано, логический контроллер 208 может быть оперативно соединен с мерной чашей 202 или устройством для измерения веса 207 посредством линий передачи данных 209. Кроме того, логический контроллер 208 может быть удаленно соединен с удаленной сетью связи посредством проводных линий (не показаны) или через беспроводную сеть связи 210.

Средним специалистам в данной области техники понятно, что удаленный доступ к логическому контроллеру 208 может быть осуществлен посредством, например, модемов, маршрутизаторов или других компонентов, способных передавать и принимать сигналы по проводной или беспроводной сети. Кроме того, в определенных вариантах осуществления логический контроллер 208 может быть оперативно соединен с системой управления бурением или закачиванием отходов так, что данные из нее можно передавать и принимать. Логический контроллер 208 может также включать оперативную возможность обрабатывать данные, получаемые от мерной чаши 202, устройства для измерения веса 207 или других компонентов системы 200. Такая обработка может включать в себя вычисление реологии жидкости данной жидкости на основании измеренного объема или веса жидкости и вычислений времени, в соответствии со способами, описанными ниже подробно. В некоторых других вариантах осуществления данные, собираемые логическим контроллером 208, могут быть переданы в местоположение удаленной обработки для определения реологии жидкости. Если реология жидкости определена в удаленном местоположении, вычисленную реологию можно передать назад на логический контроллер 208 и затем отобразить. Вычислена ли реология локально или удаленно, система 200 может содержать дисплей (не показан), способный отображать сырые данные, вычисленную реологию или другие аспекты измерения. Например, в определенных вариантах осуществления система 200 может включать в себя дисплей, который показывает инженеру по бурению или закачиванию ряд измерений, произведенных во время исследования, или ряд вычислений. Кроме того, дисплей может включать в себя сенсорный экран или быть настроенным так, чтобы получать ввод пользователя, так что данные или измерение могут управляться пользователем. Примеры управления пользователем могут включать введение определенных переменных, изменение измерения, выдачу команды системе 200 на выполнение калибровки или различные другие операции, которые могут применяться при определении реологии жидкости. В некоторых других вариантах осуществления дополнительные датчики, такие как датчики давления, температуры, пикнометр (удельный вес) или скорости потока, могут также оперативно соединяться с логическим контролле-

ром 208, посредством этого позволяя определить дополнительные переменные, которые могут повлиять на реологию жидкости.

После первого определения реологии система 200 может подвергаться очистке так, чтобы могли быть получены дополнительные измерения реологии. Для того чтобы очистить систему 200, всю жидкость в воронке Марша 201 можно перенести в мерную чашу 202, при помощи чего жидкость может быть перенесена за пределы системы 200. Примеры удаления жидкости из системы 200 могут включать открывание выхода (не показан) в мерной чаше 202, чем предоставляется возможность остаточной жидкости покинуть систему 200. После того как жидкость удалена из системы 200, или в определенных вариантах осуществления одновременно с удалением жидкости из системы 200 жидкость для очистки может быть влита в воронку Марша 201 через отверстие для жидкости для очистки 211. Как только жидкость для очистки попадает в воронку Марша 201, жидкость можно подвергнуть циркуляции в воронке Марша 201, перенести в мерную чашу 202 и затем предоставить возможность вытечь или принудительно удалить из мерной чаши 202. В определенных вариантах осуществления жидкость для очистки можно откачать из мерной чаши 202 или в воронку Марша 201 или мерной чаше 202 можно обеспечить принудительный поток воздуха, для того чтобы облегчить удаление остаточной жидкости и/или жидкости для очистки. Примеры жидкостей, которые можно применять для очистки системы 200, включают воду, поверхностно-активные вещества, масла или жидкости для очистки других типов, в зависимости от анализируемого типа жидкостей.

В определенных вариантах осуществления, после того как система 200 очищена, система 200 может нуждаться в калибровке. Калибровка системы 200 может происходить посредством вливания определенного объема жидкости с известной вязкостью или реологией в воронку Марша 201 и затем осуществления исследования, как описано выше. В зависимости от варианта осуществления жидкость для калибровки может представлять собой воду, масло или другую жидкость с известными реологическими и плотностными свойствами, и может вливаться через отверстие для жидкости для очистки 211, линию подачи жидкости 206 или через отверстие для жидкости для калибровки (не показано). После очистки и/или калибровки, если необходимо, можно измерять вторую жидкость посредством повторения стадий измерения, подробно описанных выше.

Вычисление реологических свойств жидкости из измеренных с помощью воронки Марша данных.

При эксплуатации реологию конкретной жидкости можно вычислить посредством определения первого прошедшего объема или веса жидкости в первый момент времени и определения второго прошедшего веса для той же жидкости во второй момент времени. Средним специалистам в данной области техники понятно, что первый и второй моменты времени могут быть разнесены в соответствии с типом анализируемой жидкости, и поэтому в определенных аспектах данные моменты времени могут отстоять на секунды, в то время как в других аспектах данные моменты времени могут отстоять на несколько десятков секунд. После того как первый и второй объемы или веса жидкости в первый и второй соответствующие моменты времени определены, может быть вычислена реология жидкости. Средним специалистам в данной области техники ясно, что варианты осуществления настоящего изобретения могут определять два или более объема или веса в соответствующие моменты времени, и чем больше точек данных получено, тем более точной может стать результирующая модель. Таким образом, в вычислении могут быть получены и применяться серии точек данных. В определенных вариантах осуществления можно производить по существу непрерывные измерения, посредством этого максимизируя количество точек данных, получаемых для конкретного вычисления. В определенных вариантах осуществления измерения могут происходить с интервалом, равным приблизительно 1 с, однако в других вариантах осуществления измерения могут происходить через доли секунды или каждые несколько секунд.

В определенных аспектах перед вычислением реологии жидкости первый и второй объемы или веса прошедшей жидкости в соответствующие моменты времени могут быть преобразованы в соответствующие первую и вторую высоты в воронке. Посредством преобразования объемов и весов в высоты можно осуществлять вычисление реологии жидкости с применением алгоритмов оптимизации, например симплексного метода. Симплексный метод можно использовать, для того чтобы найти точку минимума целевой функции, посредством этого делая возможным более точное вычисление реологии жидкости. В соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия в определенных вариантах осуществления целевая функция, используемая при вычислении реологии жидкости, может быть определена как среднее отклонение для всех вычисленных времен и соответствующих измеренных времен:

$$F(b, n) = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \{t_i - \bar{t}_i\}^2} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \{f(b, n, v_0) - f(b, n, v_i) - \bar{t}_i\}^2}$$

(Формула 1)

где b представляет собой промежуточную переменную, которая является функцией реологических параметров и параметров размера приспособления, как определено подробно далее;

n представляет собой степенной показатель жидкости;

N представляет собой количество измеренных точек данных высоты от времени;

\bar{t}_i представляет собой измеренное время, соответствующее h_i ; и

t_i представляет собой вычисленное время, соответствующее той же самой h_i .
Промежуточная переменная b , функция густоты k и степенной показатель n определяются формулой

$$b = 2k \left(\frac{3n+1}{n} \right)^n \frac{L}{r^{n+1}} \quad (\text{Формула 2})$$

где n представляет собой степенной показатель;
 k представляет собой густоту степенной жидкости;
 r представляет собой радиус выхода воронки Марша;
 L представляет собой длину выхода воронки Марша, как показано на фиг. 1.

Время прохождения жидкости через воронку Марша (называемое также вязкостью по воронке Марша) определяется как время, затраченное объемом жидкости (традиционно одной квартой по спецификации API) на прохождение через воронку. Объем жидкости в конусе при любой высоте жидкости может быть вычислен как:

$$V = \frac{\pi}{3} t g^2(\alpha) \cdot [(h+x)^3 - x^3] \quad (\text{Формула 3})$$

где V представляет собой объем жидкости в конусе;
 h представляет собой высоту жидкости в воронке;
 $t g(\alpha)$ представляет собой угол, определенный на фиг. 1; и
 x представляет собой высоту виртуального конуса, показанную на фиг. 1 и вычисляемую из

$$x = \frac{d}{2 t g(\alpha)} \quad (\text{Формула 4})$$

где d представляет собой диаметр выхода воронки Марша.

Определение b и n с помощью приведенных выше формул требует алгоритма оптимизации для того, чтобы зафиксировать b и n , при которых вычисленные времена наилучшим образом совпадают с измеренными временами, соответствующими тем же самым относительным высотам жидкости, или говоря другими словами, для того, чтобы определить b и n , которые приводят к минимуму целевой функции $F(b, n)$. Таким образом, для того чтобы вычислить реологические свойства жидкости b и n из измеренных с помощью воронки данных, следует определить минимум целевой функции $F(b, n)$ и соответствующие координаты (b, n) точки минимума. Координаты (b, n) точки минимума можно вычислить в соответствии с измеренными данными высоты от времени, и после такого вычисления можно вычислить густоту k степенных жидкостей в соответствии с формулой.

В определенных вариантах осуществления для того, чтобы определять минимум целевой функции $F(b, n)$ и соответствующие координаты (b, n) можно использовать алгоритм симплексного метода. Для того чтобы определять точку минимума в определенных вариантах осуществления, создают с применением случайной функции начальные векторы (вершины начального симплекса) для жидкости для того, чтобы построить начальный симплекс и вычислить значения для функции:

$$f_{(i)} = F(X_{(i)}) \quad (\text{Формула 5})$$

где i составляет 1, 2, 3.

Функция представляет собой

$$F(X_{(i)}) = F(x_{1i}, x_{2i}) \quad (\text{Формула 6})$$

где x_{1i} представляет собой b (т.е. промежуточную переменную);
 x_{2i} представляет собой n , значение степенного показателя, как определено выше.

После того как определено $X_{(i)}$ и построен симплекс, вычисляют $f_{(i)}$.

В качестве второй стадии после вычисления $f_{(i)}$ ранжируют $X_{(i)}$ в соответствии с вычисленными значениями $f_{(i)}$. С целью данного вычисления $f_{(R)}$ определяют как

$$f_{(R)} = F(X_{(R)}) = \max_{1 \leq i \leq 3} \{f_{(i)}\} \quad (\text{Формула 7})$$

$f_{(G)}$ определяют как

$$f_{(G)} = F(X_{(G)}) = \max_{\substack{1 \leq i \leq 3 \\ i \neq R}} \{f_{(i)}\} \quad (\text{Формула 8})$$

и $f_{(L)}$ определяют как

$$f_{(L)} = F(X_{(L)}) = \min_{1 \leq i \leq 3} \{f_{(i)}\} \quad (\text{Формула 9})$$

где $X_{(L)}$ и $X_{(R)}$ определяют как наилучшую и наихудшую вершины, соответствующие $f_{(L)}$ и $f_{(R)}$ соответственно.

После определения $X_{(R)}$, $X_{(G)}$ и $X_{(L)}$ третья стадия представляет собой отображение $X_{(R)}$ в X_T и вычисление $F(X_T)$

$$X_T = 2X_G - X_{(R)}, \quad \text{где} \quad X_G = \frac{1}{2} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq R}}^3 X_{(i)} \quad (\text{Формула 10})$$

К этому моменту известны значения наилучшей и наихудшей точек (вершин), так что на четвертой стадии могут быть определены новые вершины, заменяющие начальные вершины, и новый симплекс может быть определен следующим образом:

Если $F(X_T) < f_{(L)}$, тогда разлагаем X_T до X_E и вычисляем $F(X_E)$, где $X_E = (1+\mu)X_T - \mu X_F$ и $1,2 < \mu < 2,0$. В данном случае полагаем $X_{(R)} = X_E$ и $f_{(R)} = F(X_E)$, если $F(X_E) < f_{(L)}$, в противном случае полагаем $X_{(R)} = X_T$ и $f_{(R)} = F(X_T)$.

В противном случае, если $F(X_T) \leq f_{(G)}$, то полагаем $X_{(R)} = X_T$ и $f_{(R)} = F(X_T)$.

В противном случае, если $F(X_T) > f_{(G)}$, то полагаем $X_{(R)} = X_T$ и $f_{(R)} = F(X_T)$, кроме тех случаев, когда $F(X_T) > f_{(R)}$.

Сокращаем X_T до X_C и вычисляем $F(X_C)$, где $X_C = \lambda X_{(R)} + (1-\lambda)X_F$ и $0,0 < \lambda < 1,0$. В данном случае, если $F(X_C) > f_{(R)}$, то строим новый симплекс с новыми вершинами $X_{(i)} = [X_{(i)} + X_{(L)}]/2$, $i=1, 2, 3$ и вычисляем новые значения функции $f_{(i)} = F(X_{(i)})$, в противном случае полагаем $X_{(R)} = X_C$ и $f_{(R)} = F(X_C)$.

С новым симплексом, приближающим друг к другу наилучшее и наихудшее значения, вторую, третью и четвертую стадии можно повторять, до тех пор пока расстояние о между всеми вершинами на симплексе не станет меньше, чем определенное допустимое отклонение, где

$$\sigma = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{i=1}^3 [f_{(i)}]^2 - \frac{1}{3} \left[\sum_{i=1}^3 f_{(i)} \right]^2 \right\} \quad (\text{Формула 11})$$

Таким образом, можно определить b и n , которые приводят к минимуму целевой функции $F(b, n)$, и можно вычислить k из определенных выше b и n с применением формулы 2, так что можно определить реологические свойства жидкостей в соответствии с измеренными с помощью воронки данными. При том, что вышеописанная методика определена для степенных жидкостей, средним специалистам в данной области техники понятно, что аналогичная методика может быть применена, например, к ньютоновским жидкостям, пластическим жидкостям Бингама или жидкостям Гершеля-Бакли.

Вычисление времен прохождения через воронку при различных объемах или весах прошедшей жидкости

Дополнительно, варианты осуществления настоящего раскрытия могут предлагать модели потока жидкости через воронку Марша, данные модели можно применять для моделирования вытекания жидкости из воронки Марша, так что можно предсказывать времена прохождения через воронку, соответствующие различным прошедшим объемам или весам жидкостей (или соответствующие различным высотам жидкости в конусе воронки) для жидкостей с известными параметрами реологии и плотностью.

Что касается фиг. 3, на ней показана блок-схема для моделирования потока жидкости и вычисления времен прохождения через воронку Марша. В данном варианте осуществления в начале пользователь вводит 301 параметры жидкости, такие как плотность, реологические параметры и т.д., для моделируемой жидкости. С помощью параметров жидкости модель может вычислять 302 все высоты жидкости, пока различные моделируемые объемы или веса жидкостей выливаются из воронки Марша. Для того чтобы вычислить 302 высоты жидкости, моделирование определяет все высоты на основании формулы

$$h = \left[(h_0 + x)^3 - \frac{3 \cdot \Delta V}{\pi \cdot \text{tg}^2(\alpha)} \right]^{1/3} - x \quad (\text{Формула 12})$$

где x может быть вычислен с применением формулы 4;

$\text{tg}(\alpha)$ представляет собой параметр приспособления воронки Марша;

ΔV представляет собой объем жидкости, который должен пройти через воронку.

Например, h составляет 193,6 мм, если ΔV составляет 946 см³, h_0 составляет 279,4 мм, как, например, при применении воронки Марша API. Таким образом, время прохождения через воронку Марша для объема, равного 1 кварте жидкости, соответствует времени, когда уровень жидкости в воронке понизится с 279,4 мм до 193,6 мм по высоте.

Если измеряют веса (вместо объемов) жидкости, вытекающей из воронки Марша, соответствующие объемы жидкости можно вычислить из измеренных весов жидкости и измеренной плотности с применением формулы

$$\Delta V = \frac{\Delta W}{\rho} \quad (\text{Формула 13})$$

где ΔW представляет собой вес жидкости, выливающейся из воронки за соответствующее время;

ρ представляет собой плотность анализируемой жидкости.

После того как все высоты для жидкости вычислены 302, скорости жидкости, выливающейся из воронки, соответствующие вычисленным высотам, итерационно вычисляют 303. Для того чтобы определить скорости, можно использовать следующую ньютоновскую итеративную функцию:

$$v^{(m+1)} = v^{(m)} - \frac{f(v^{(m)})}{f'(v^{(m)})} \quad (\text{Формула 14})$$

где m представляет собой шаг итерации.

Для того чтобы итерационно вычислить 303 соответствующие скорости при различных высотах, можно использовать следующие формулы:

$$f(v^{(m)}) = a(v^{(m)})^2 + b(v^{(m)})^n - c(h + L) \quad (\text{Формула 15a})$$

$$f'(v^{(m)}) = 2av^{(m)} + nb(v^{(m)})^{n-1} \quad (\text{Формула 15b})$$

где a и c представляют собой функции плотности анализируемой жидкости, определяемые как:

$$a = \frac{1}{2}\rho \quad (\text{Формула 16})$$

$$c = \rho g \quad (\text{Формула 17})$$

где ρ представляет собой плотность анализируемой жидкости и g представляет собой ускорение свободного падения.

После итерационного вычисления 303 скоростей при различных высотах можно вычислить соответствующие временные функции. Конкретное время прохождения через воронку, соответствующее определенной высоте h , можно выразить как

$$t = g(b, n, v_0) - g(b, n, v) \quad (\text{Формула 18})$$

где t представляет собой время прохождения через воронку Марша;

v_0 представляет собой скорость жидкости, соответствующую первоначальной высоте жидкости h_0 ;

v представляет собой скорость жидкости, соответствующую любой заданной высоте жидкости h .

Для того чтобы вычислить 304 значения временных функций при различных скоростях, определяют временную функцию. В одном варианте осуществления временная функция для степенной жидкости может быть определена как

$$g(b, n, v) = \frac{4tg^2(\alpha)}{d^2} \left\{ \frac{1}{c^3} \left[\frac{2}{5}a^3v^5 + a^2b \frac{n+4}{n+3}v^{n+3} + 2ab^2 \frac{n+1}{2n+1}v^{2n+1} + b^3 \frac{n}{3n-1}v^{3n-1} \right] - \frac{2(L-x)}{c^2} \left[\frac{2}{3}a^2v^3 + ab \frac{n+2}{n+1}v^{n+1} + b^2 \frac{n}{2n-1}v^{2n-1} \right] + \frac{(L-x)^2}{c} \left(2av + b \frac{n}{n-1}v^{n-1} \right) \right\} \quad (\text{Формула 19})$$

Когда $n=1$, вышеуказанная временная функция превращается в

$$g(b, n, v) = \frac{4tg^2(\alpha)}{d^2} \left\{ \frac{1}{c^3} \left[\frac{2}{5}a^3v^5 + a^2b \frac{n+4}{n+3}v^{n+3} + 2ab^2 \frac{n+1}{2n+1}v^{2n+1} + b^3 \frac{n}{3n-1}v^{3n-1} \right] - \frac{2(L-x)}{c^2} \left[\frac{2}{3}a^2v^3 + ab \frac{n+2}{n+1}v^{n+1} + b^2 \frac{n}{2n-1}v^{2n-1} \right] + \frac{(L-x)^2}{c} [2av + bn \ln(v)] \right\} \quad (\text{Формула 20})$$

Когда $n=1/2$, временная функция выражается как

$$g(b, n, v) = \frac{4tg^2(\alpha)}{d^2} \left\{ \frac{1}{c^3} \left[\frac{2}{5}a^3v^5 + a^2b \frac{n+4}{n+3}v^{n+3} + 2ab^2 \frac{n+1}{2n+1}v^{2n+1} + b^3 \frac{n}{3n-1}v^{3n-1} \right] - \frac{2(L-x)}{c^2} \left[\frac{2}{3}a^2v^3 + ab \frac{n+2}{n+1}v^{n+1} + b^2 n \ln(v) \right] + \frac{(L-x)^2}{c} \left(2av + b \frac{n}{n-1}v^{n-1} \right) \right\} \quad (\text{Формула 21})$$

Когда $n=1/3$, временная функция представляет собой

где v_0 представляет собой скорость жидкости, соответствующую первоначальной высоте жидкости h_0 ; и

v представляет собой скорость жидкости при другой заданной высоте жидкости h .

Средним специалистам в данной области техники понятно, что в других вариантах осуществления можно применять другие способы для того, чтобы определять скорости в воронке для заданных высот.

С помощью вычисленных 304 значений временной функции при различных скоростях, соответствующих различным высотам жидкости, можно вычислить 305 времена прохождения через воронку Марша, соответствующие различным объемам или весам прошедших жидкостей. Таким образом, времена прохождения через воронку Марша, соответствующие различным высотам, (а также прошедшие объемы или веса) могут быть определены по формуле 18 выше.

Когда вычислено 305 время прохождения через воронку Марша, данное время может быть выведено 306. Способы выведения 306 времени прохождения через воронку Марша могут включать графическое представление, числовую модель, графическую модель или другие способы отображения данных,

известные специалисту в данной области техники. Модель может применяться для того, чтобы моделировать поток жидкости различных типов жидкостей, и может быть модифицирована для того, чтобы моделировать ньютоновские жидкости или любые другие неньютоновские жидкости, такие как пластические жидкости Бингама или жидкости Гершеля-Бакли и т.д.

В определенных вариантах осуществления можно подвергать моделированию две жидкости, и результаты для жидкостей можно показывать инженеру по бурению или закачиванию. В таком варианте осуществления жидкостные свойства для данных жидкостей можно применять для того, чтобы выбирать конкретную жидкость для выполнения бурения или закачивания, или в других вариантах осуществления можно применять для того, чтобы модифицировать одну или более из моделируемых жидкостей. Модификация жидкостей может включать в себя добавление дополнительных компонентов к жидкости, приведение жидкости в требуемое состояние, разбавление жидкости или другую обработку жидкости такую, что могут быть достигнуты оптимальные реологические свойства жидкости. Для того чтобы получить оптимизированные реологические свойства жидкости для конкретного применения, жидкость можно подвергать моделированию, вывести результаты моделирования, затем жидкость можно модифицировать, модифицированную жидкость можно повторно моделировать, и вывести результаты. В таком варианте осуществления результаты моделирования могут быть рассмотрены инженером по жидкостям при выборе оптимизированной жидкости, или оптимизированная жидкость может выбираться автоматически на основании результатов моделирования. В любом варианте осуществления оптимизированную жидкость затем можно применять при выполнении бурения, заканчивания, ремонта или закачивания.

Варианты осуществления настоящего изобретения могут быть реализованы практически на любом типе компьютера, независимо от используемой платформы. Например, как показано на фиг. 4, компьютерная система 400 включает в себя один или более процессор(ы) 402, связанную с ним память 404 (например, память с произвольной выборкой (RAM), кэш-память, флэш-память и т.д.), устройство для хранения данных 406 (например, жесткий диск, оптический дисковод, такой как дисковод компакт-дисков или дисковод цифровых видеодисков (DVD), накопитель флэш-памяти и т.д.) и другие многочисленные элементы и функциональные возможности, типичные для современных компьютеров, (не показаны). Компьютер 400 может также включать в себя средства ввода, такие как клавиатура 408, мышь 410 или микрофон (не показаны). Кроме того, компьютер 400 может включать в себя средства вывода, такие как монитор 412 (например, жидкокристаллический дисплей (LCD), плазменную панель или монитор с электронно-лучевой трубкой (CRT)). Компьютерная система 400 может быть соединена с сетью 414 (например, локальной сетью (LAN), распределенной сетью (WAN), такой как Интернет, или сетью любого другого аналогичного типа) посредством сетевого интерфейса (не показан). Специалистам в данной области техники понятно, что существует много различных типов компьютерных систем, и вышеупомянутые средства ввода и вывода могут принимать другие формы. Вообще говоря, компьютерная система 400 включает в себя по меньшей мере средства минимальной обработки, ввода и/или вывода, необходимые для того, чтобы применять на практике варианты осуществления настоящего изобретения.

Кроме того, специалистам в данной области техники понятно, что один или более элемент вышеупомянутой компьютерной системы 400 может быть расположен в удаленном местоположении и соединен с другими элементами посредством сети. Кроме того, варианты осуществления настоящего изобретения могут быть реализованы на распределенной системе, имеющей множество узлов, причем каждая часть настоящего изобретения (например, хранилище данных, сигнатурный генератор, сигнатурный анализатор и т.д.) может быть расположена в другом узле в распределенной системе. В одном варианте осуществления настоящего изобретения узел соответствует компьютерной системе. Альтернативно, узел может соответствовать процессору со связанной с ним физической памятью. Узел может, альтернативно, соответствовать процессору с совместными памятью и/или ресурсами. Кроме того, программные инструкции для выполнения вариантов осуществления настоящего изобретения могут храниться на машиночитаемом носителе, таком как компакт-диск (CD), дискета, лента, файл или любом другом машиночитаемом устройстве хранения.

Предпочтительно варианты осуществления настоящего раскрытия могут обеспечивать моделирование потока жидкости через воронку Марша, посредством этого делая возможным применение моделей потока жидкости для того, чтобы вычислять реологию жидкости для жидкостей, применяемых при бурении. Такие способы моделирования можно применять для того, чтобы вычислять времена прохождения через воронку Марша для жидкостей с заданными реологическими параметрами и плотностью, и можно, следовательно, применять для того, чтобы моделировать поток жидкости в воронках Марша для ньютоновской, степенной и пластической Бингама или Гершеля-Бакли жидкостей.

Также предпочтительно способы, раскрытые в настоящем описании, могут предоставлять инженеру по бурению или закачиванию возможность вычислять реологические свойства для жидкостей, исходя из измеренных времен прохождения через воронку. Такие способы могут, следовательно, сделать возможной оптимизацию жидкостей, применяемых при бурении или закачивании, для конкретной операции бурения, заканчивания, ремонта или закачивания раствора твердых отходов.

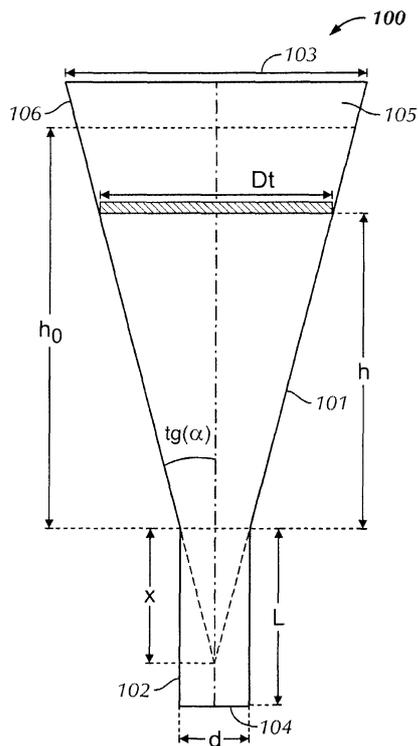
Кроме того, способы, раскрытые в настоящем описании, могут позволить инженерам определять реологические свойства без необходимости для инженеров определять первоначальные значения реоло-

гических параметров. Поэтому даже для жидкостей с неизвестными параметрами могут быть вычислены реологические свойства.

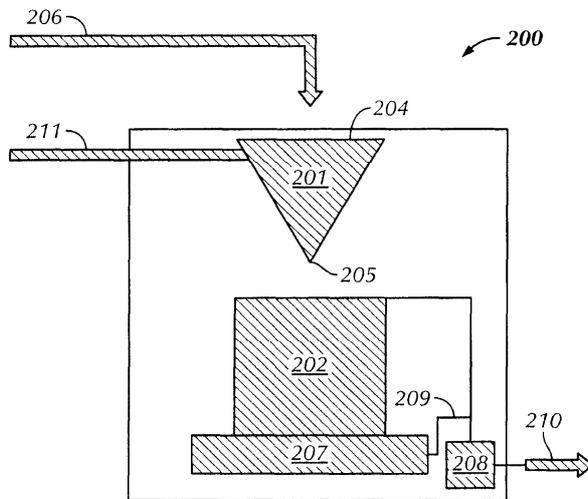
При том, что настоящее раскрытие было описано по отношению к ограниченному количеству вариантов осуществления, специалисту в данной области техники, имеющему преимущество данного раскрытия, ясно, что могут быть разработаны другие варианты осуществления, которые не выходят за пределы объема раскрытия, описанного в настоящем документе. Соответственно, объем данного раскрытия должен быть ограничен только прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

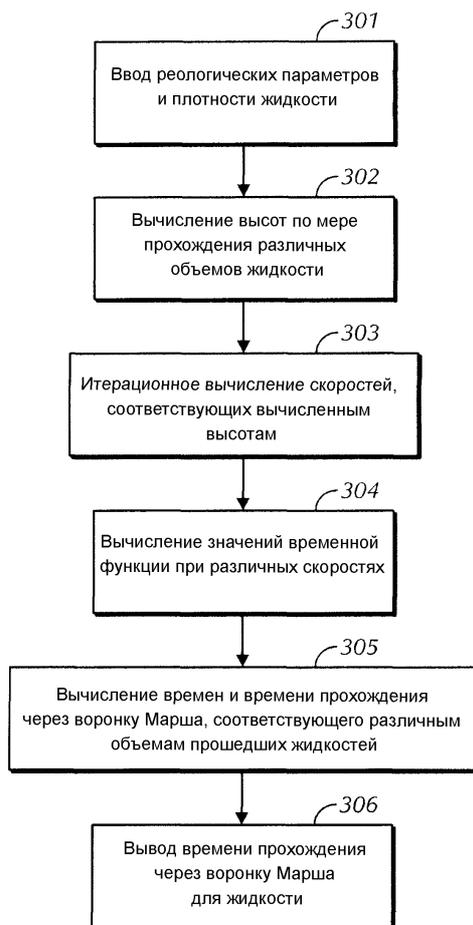
1. Система для определения реологии текучей среды, включающая в себя воронку Марша, имеющую вход текучей среды и выход текучей среды, расположенную в корпусе; мерную чашу, расположенную в жидкостной связи с выходом текучей среды воронки Марша; устройство для измерения веса, расположенное поблизости от мерной чаши и настроенное для того, чтобы определять вес текучей среды в мерной чаше; и логический контроллер в функциональной связи с воронкой Марша, мерной чашей и устройством для измерения веса, причем логический контроллер настроен для того, чтобы определять вес текучей среды в мерной чаше на интервале времени; высоту текучей среды в воронке Марша по меньшей мере на основе веса и реологию текучей среды на основании указанной высоты.
2. Система по п.1, дополнительно включающая в себя устройство для измерения плотности, расположенное поблизости по меньшей мере от чего-либо одного из воронки Марша и мерной чаши, причем устройство для измерения плотности настроено для того, чтобы определять плотность текучей среды.
3. Система по п.1, в которой логический контроллер дополнительно включает в себя программный код для вычисления реологии текучей среды данной текучей среды на основании определенных объемов текучей среды в определенный момент времени.
4. Система по п.1, в которой программный код вычисляет реологию текучей среды на основании по меньшей мере двух определенных объемов или весов текучей среды, определенных в два различных момента времени.
5. Система по п.1, в которой логический контроллер функционально соединен с удаленной сетью связи.
6. Система по п.5, управляемая удаленно через удаленную сеть связи.
7. Система по п.5, в которой температуру текучей среды и давление в корпусе отслеживают через удаленную сеть связи.
8. Система по п.1, в которой реология текучей среды автоматически вычисляется логическим контроллером.
9. Система по п.1, дополнительно включающая в себя линию закачивания текучей среды в соединении по текучей среде с воронкой Марша и мерной чашей.
10. Система по п.1, дополнительно включающая в себя устройство для измерения температуры для того, чтобы определять температуру анализируемой текучей среды; устройство для измерения давления для того, чтобы определять давление в корпусе.
11. Система по п.1, в которой логический контроллер дополнительно настроен для определения скорости текучей среды при протекании текучей среды через воронку Марша в мерную чашу, причем скорость определяется по меньшей мере частично на основе высоты; значения временной функции по меньшей мере частично на основе скорости; времени прохождения через воронку Марша по меньшей мере частично на основе значения временной функции, причем реология текучей среды определяется по меньшей мере частично на основе времени прохождения через воронку Марша.



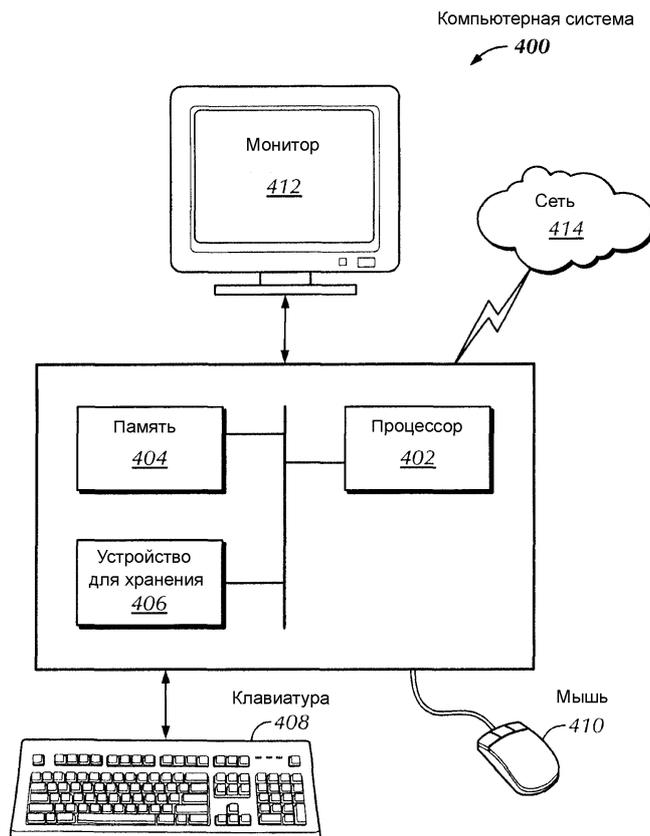
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

