

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201992313 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.04.14

(51) Int. Cl. E21B 43/00 (2006.01)
E21B 44/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.05.03

(54) РЕГИСТРАЦИЯ ДАННЫХ ИЗ ПРОВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

(31) 1707116.8

(32) 2017.05.04

(33) GB

(86) PCT/EP2018/061388

(87) WO 2018/202796 2018.11.08

(71) Заявитель:
СОЛЮШН СИКЕР АС (NO)

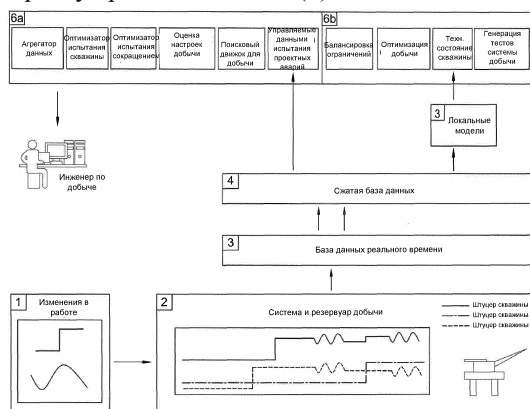
(72) Изобретатель:

Гуннеруд Видар, Сенднес Андерс,
Углейн Видар Тьюн, Урсин-Холм
Стайн (NO)

(74) Представитель:

Нилова М.И. (RU)

(57) Способ регистрации данных, относящихся к производительности нефтегазопроводной сети, использующий статистические данные для представления первоначальных данных в сжатой форме. Интервалам времени в данных присваиваются категории. Способ включает: (1) сбор данных, охватывающих период времени, причем данные относятся к состоянию одной или более контрольных точек в пределах проводящей сети и к одному или более интересующим параметрам потока в одном или более путях проводящей сети; (2) идентификацию множества интервалов времени в данных, в течение которых контрольная точка или контрольные точки и параметр потока или параметры потока определены как входящие в категорию, выбранную из указанного множества категорий; (3) присвоение выбранной категории из указанного множества категорий каждому из множества массивов данных, которые ограничены множеством интервалов времени; и (4) извлечение статистических данных, показательных в отношении всех массивов данных, идентифицированных на этапе (2), или некоторых из них, с обеспечением представления первоначальных данных с этапа (1) в сжатой форме, содержащей сведения о категории, присвоенной каждому интервалу времени на этапе (3).



A1

201992313

201992313

A1

РЕГИСТРАЦИЯ ДАННЫХ ИЗ ПРОВОДЯЩИХ СЕТЕЙ

Настоящее изобретение относится к устройству и способу для регистрации данных, относящихся к производительности нефтегазопроводной сети, например, для сбора данных для их анализа с целью улучшения производительности нефтегазопроводной сети или получения большего объема данных для определения особенностей функционирования нефтегазопроводной сети. Настоящее изобретение может быть использовано в нефтегазодобывающих сетях, в которых, например, однофазные или многофазные текучие среды из скважин подают в сеть, которая комбинирует указанные потоки посредством магистралей или т.п.

Проводящие сети используют в большом количестве отраслей промышленности, например при обработке и производстве текучей среды и жидких продуктов на фабриках и заводах. Нефтегазовая промышленность является примером, представляющим особый интерес, поскольку в состав проводящей сети входят нефтегазовые скважины, в результате чего потоки на входе в проводящую сеть сложно смоделировать, причем в большинстве случаев они меняются очень непредсказуемым образом. Кроме того, возможность получения критических составляющих процесса меняется с течением времени, что приводит к соразмерному изменению пропускной способности. Таким образом, для таких сетей затруднена оптимизация производственных настроек. В качестве одного из вариантов предсказания реакции проводящих сетей на изменения параметров процесса, таких как расход, давление, смешивание различных составляющих и т.п., могут быть использованы симуляции и модели. Однако эти модели и сопутствующие им проблемы оптимизации могут оказаться очень трудоемкими и потребовать существенных вычислительных ресурсов, при этом они по-прежнему будут предоставлять всего лишь получаемую с помощью компьютера приблизительную оценку оптимальных настроек проводящей сети.

В международной публикации WO2014/170425 раскрыт способ управления нефтегазопроводной сетью для улучшения производительности, включающий применение возбуждающих сил в контрольных точках проводящей сети в качестве «испытаний» в режиме онлайн для обеспечения возможности идентификации изменений, вызываемых указанными возбуждающими силами, что позволяет итерационно регулировать управление проводящей сетью для улучшения её производительности. Данный подход обеспечил существенный прогресс в области техники, в частности в отношении оптимизации производительности. Однако и этот подход имеет различные

ограничения, в том числе имеется потребность в возбуждающих силах, а также не обладает особо широким спектром применения в части выходных данных процесса.

В первом аспекте настоящего изобретения предложен способ регистрации данных, относящихся к производительности нефтегазопроводной сети, включающий в себя: (1) сбор данных, охватывающих период времени, причем данные относятся к состоянию одной или более контрольных точек в пределах проводящей сети и к одному или более интересующим параметрам потока в одном или более путях проводящей сети; (2) идентификацию множества интервалов времени в указанных данных, в течение которых контрольная точка или контрольные точки и параметр или параметры потока определены как входящие в категорию, выбранную из множества категорий, относящихся к различным типам постоянной добычи, и множества категорий, относящихся к различным типам переходных событий, причем результирующие данные содержат множество массивов данных, каждый из которых ограничен одним из указанного множества интервалов времени; (3) присвоение выбранной категории из указанного множества категорий каждому из указанного множества массивов данных, которые ограничены указанным множеством интервалов времени; и (4) извлечение статистических данных, показательных в отношении всех массивов данных, идентифицированных на этапе (2), или некоторых из них с обеспечением представления первоначальных данных с этапа (1) в сжатой форме, содержащей сведения о категории, присвоенной каждому интервалу времени на этапе (3).

Таким образом, большие объемы данных, зарегистрированных для нефтегазопроводной сети, могут быть категоризированы и представлены в сжатой форме на основе категоризации массивов данных в течение интервалов времени, а также за счет использования статистики. Может быть обеспечено множество контрольных точек, которые могут находиться в разных ответвлениях проводящей сети. Полученные в результате статистические данные могут представлять некоторые аспекты первоначальных данных в более сжатой форме, а также по ним может быть проведен более достоверный поиск для идентификации необходимых событий или паттернов событий. Статистические данные могут храниться в сжатой базе данных. Статистические данные могут предоставлять информацию в отношении работы проводящей сети, что обеспечивает возможность оценки проводящей сети прямым образом или с помощью последующего анализа, например, путем использования локальных моделей, как описано ниже. Данные, относящиеся к производительности проводящей сети, могут быть собраны для проверки того, является ли производительность сети оптимальной, и/или для обеспечения качественной информации и/или количественной информации в отношении

производительности проводящей сети, например, уровней добычи нефти и/или газа. В данном контексте производительность проводящей сети может включать как темп добычи, так и сохранение целостности. Таким образом, зарегистрированные данные могут быть использованы как для поиска путей повышения производительности во время добычи, так и для снижения непроизводительного времени путем прогнозирования сбоя оборудования или скважины, или улучшения целостности системы, т.е. путем обеспечения улучшенного прогнозирующего обслуживания, снижая сбои и т.д. Данные могут быть использованы при оценке проводящей сети для определения регулировок контрольных точек, что может улучшить производительность проводящей сети.

Для обеспечения возможности установки множества интервалов времени данные должны быть собраны за заданный период времени. Предложенный способ предпочтительно обеспечивает возможность оценки проводящей сети на основе данных, которые уже были зарегистрированы для других целей, например для периодического мониторинга оператором, и на основе данных, которые были сохранены в ходе использования проводящей сети в прошлом. Иными словами, способ может быть применен с использованием архивных данных, т.е. данных, которые были собраны перед реализацией способа, и идентификации интервалов устойчивого состояния, которые имели место в ходе нормальной работы проводящей сети. В нем также могут использоваться данные, непрерывно собранные в ходе продолжительной работы проводящей сети. В отличие от некоторых ранее предложенных способов, например от способа, описанного в международной публикации WO2014/170425, отсутствует необходимость в применении специальных возбуждающих сил: вместо них могут быть использованы данные, собранные в ходе нормального использования проводящей сети.

Интервалы времени ограничивают массивы данных, которые могут быть категоризованы в одну из различных категорий, в том числе множество категорий постоянной добычи и множество категорий переходных событий. В случае переходных событий категории могут быть разбиты на два набора, определяющие (i) категории, возникающие в связи с активными событиями, т.е. событиями, которые происходят вследствие умышленного вмешательства в проводящую сеть, и (ii) категории, возникающие в связи с пассивными событиями, т.е. событиями, которые происходят непреднамеренно без какого-либо умышленного вмешательства.

Множество категорий, относящихся к постоянной добыче, могут включать: постоянную добычу в устойчивом состоянии; постоянную добычу с фонтанной добычей из одной или более скважин; постоянную добычу при наличии динамики закупоривания, такой как высадка обшивки, сильное закупоривание или другая динамика закупоривания;

постоянная добыча, включающая вынос песка, и постоянная добыча с помощью бурового раствора или химических веществ (например, прокачки твердого осадка под давлением или кислотной обработки для стимулирования потока), которые должны быть очищены.

Множество категорий, относящихся к переходным событиям, могут включать одну или более категорий активных событий и одну или более категорий пассивных событий. Категории активных событий могут включать: одно или более событий испытания скважины, активные события процесса, активные события скважины и/или активные события резервуара. Категории испытания скважины могут включать одно или более из испытания расхода потока тестового сепаратора, испытание снижения, испытания «SmartX», как описано в WO 2013/072490, испытания методом многоустановившихся отборов с использованием изменений подъема штуцера или газа, испытания целостности скважины, испытания цикла забойного предохранительного клапана (ЗПК), испытания повышения давления (ПД), испытания газлифтного клапана (ГК) и испытания клапана притока (КП). Категории активных событий процесса могут включать обслуживание оборудования и/или обратный поток газа в скважины. Категории активных событий скважины могут включать одно или более из прокачки твердого осадка под давлением (впрыскивания химических веществ в скважину для предотвращения образования твердого осадка), повторной стимуляции скважины (впрыскивание химических веществ в резервуар около скважины для улучшения производительности), очистного потока скважины (обход добычи скважины от сепаратора продукции для очистки потока скважины) и/или увеличение пропускной способности после приостановки. Категории активных событий резервуара могут включать динамику разницы между пластовым давлением и давлением на забое вследствие открытия скважины и/или динамику повышения давления вследствие закрытия скважины.

Категории пассивных событий могут включать одно или более из пассивных событий процесса, пассивных событий резервуара/скважины или событий ошибки датчика. Категории пассивных событий процесса могут включать образование твердого осадка в системе добычи и/или сбой оборудования, такой как пониженная емкость в газовом компрессоре, пониженное давление газлифта или аварийная блокировка системы. Категории пассивных событий резервуара/скважины могут включать одно или более сообщений между скважины добычи и скважиной, которую бурят, прорыв воды в резервуаре, прорыв газа в резервуаре и/или внезапные изменения в выносе песка. Категории событий ошибки датчика могут включать дрейф датчика, сбой датчика и/или дрейф коэффициента усиления датчика.

Таким образом, для категоризации массива данных на этапе (3) способ может включать использование всех вышеуказанных типов событий и категорий событий или только некоторых из них.

Для определения категории, которая должна быть присвоена массиву данных, определенному интересующим интервалом времени, способ может включать определение динамик месторождения, присутствующих в массиве данных, причем динамика месторождения представляет собой явление или событие, которое происходит в интервале времени для массивов данных в одной или более из категорий. Способ может включать проверку того, какие из множества динамик месторождения присутствуют для массива данных, с последующим выбором категории на основе комбинации динамик месторождения. Динамики месторождения могут включать все следующие динамики месторождения или только некоторые из них: истощение, фонтанная добыча, повышение, снижение, импульсы трубопровода вследствие изменений управления, динамики закупоривания, колебания системы добычи и/или динамики состава резервуара. Каждая динамика месторождения присутствует или нет, и в одно и то же время может присутствовать множество динамик месторождения.

Например, если массив данных связан с интервалом времени, который должен быть категоризирован как увеличение пропускной способности скважины, то данные получают в ситуации, когда скважина была закрыта и теперь открывается постепенно от 0% вплоть до, например, 70% отверстия штуцера. Это может происходить в течение периода 2-12 часов или более. Этот период определяет, что интервал времени должен быть категоризирован как «увеличение пропускной способности скважины», и будет давать массив данных или точку статистических данных в сжатой базе данных. Динамики месторождения для этой категории включают фонтанную добычу, динамики снижения и импульсов трубопровода вследствие частых изменений управления, когда скважина открыта на шаг в момент времени. В некоторых случаях могут присутствовать динамики закупоривания и колебания системы добычи, но это может происходить не всегда. Кроме того, резервуар может быть сильно истощен и, вероятно, будет присутствовать динамика состава резервуара, поскольку она присутствует всегда, когда идет добыча нефти (в последний год так происходила добыча иначе в отличие от настоящего времени). Однако динамика истощения, как правило, является медленной и может быть оставлена без внимания (предполагая, что она постоянная) в течение интервала времени 2-12 часов, в котором имеет место событие увеличения пропускной способности. Следует понимать, что на основе определенной динамики месторождения может быть присвоена категория, когда присутствуют некоторые комбинации динамики месторождения. Таким образом,

определение присутствующей динамики месторождения может обеспечить непосредственно подходящую категоризацию для любого заданного интервала времени. В качестве дополнения некоторые комбинации динамики месторождения могут указывать на то, что интервал времени включает множество категорий, так что способ может включать использование этапа определения присутствующей динамики месторождения для проверки того, следует ли разбить интервал времени на два интервала времени таким образом, чтобы каждому из этих меньших интервалов времени могла быть присвоена другая категория.

Как и потенциал для множества динамик месторождения, также может присутствовать множество категорий, присвоенных одним и тем же точкам данных в данных. То есть для любого заданного времени может иметь место перекрывание интервалов времени, которые определяют перекрывающиеся массивы данных, где каждый массив данных имеет отличную категорию. В данном контексте перекрывание включает интервалы времени, которые полностью находятся в пределах большего интервала времени, а также интервалы времени, которые начинаются перед окончанием другого интервала времени. Некоторые категории связаны с событиями, происходящими в течение длительного периода времени и определяющими большой интервал времени с массивом данных, имеющим такую категорию, который не препятствует определению других интервалов времени, которые перекрываются или находятся в пределах большего интервала времени. Например, если скважина остановлена, будет сгенерирован массив данных о повышении давления, которому может быть присвоена подходящая категория, относящаяся к поведению давления на стороне резервуара закрытого штуцерного клапана. Однако в то же время может быть сгенерирован дополнительный массив данных, такой как массив данных об устойчивом состоянии, в пределах того же или перекрывающегося интервала времени, поскольку из других скважин по-прежнему может вестись добыча. Таким образом, в данном примере разные категории могут быть присвоены данным со ссылкой на состояние разных скважин. Эти два массива данных могут перекрываться, однако они не обязательно начинаются и заканчиваются в одно и то же время. Например, массив данных о повышении начинается немедленно, когда рассматриваемая скважина остановлена, и может сделать это по прошествии нескольких дней (в некоторых случаях, потенциально до 30 дней), тогда как массив данных о постоянной добыче может начинаться через 2 часа после остановки, когда динамика трубопровода была снижена, и он может заканчиваться по прошествии нескольких часов (или дней), когда другая точка скважины/контрольная точка изменилась. В данном случае два массива данных частично перекрываются в части времени, однако закрытый клапан разделяет систему добычи на

одну часть для закрытой скважины и одну часть для оставшейся части системы добычи. Наличие множества массивов данных, которые перекрываются в части времени и имеют разные категории, может иметь место также по другим причинам. Другим примером является увеличение пропускной способности скважины, происходящее в течение

5 длительного периода, в течение которого могут быть другие массивы данных других категорий, таких как событие ошибки датчика. Эти другие массивы данных могут перекрываться с одним концом массива данных об увеличении пропускной способности скважины или они могут оба начинаться и заканчиваться в пределах длительности массива данных об увеличении пропускной способности скважины.

10 Способы, описанные в настоящем документе, будут обеспечивать преимущества даже для небольшого количества контрольных точек (например, только двух или трех) и простой проводящей сети. В действительности, способ по первому аспекту может быть использован в ситуации, при которой имеется лишь один путь потока, поскольку

15 преимущества, возникающие вследствие сжатой формы данных, получаемых на этапе (3), применяются в этой ситуации таким же образом, как и для ситуации, при которой имеется более сложная сеть путей потока, несмотря на то, что может присутствовать меньшая степени сжатия данных. В некоторых примерах проводящую сеть содержит объединенные ветви, а способ, следовательно, может включать сбор данных по одному или более

20 параметрам потока в одном или более путях потока в проводящей сети, потоки которой в более чем одной разных ветвях были объединены. Такая ситуация может обеспечить дополнительное преимущество, заключающееся в том, что сжатые данные позднее могут быть проанализированы для определения информации, относящейся к отдельным путям потока перед объединением ветвей.

Способы, описанные в настоящем документе, также могут обеспечивать

25 преимущества для данных, охватывающих относительно небольшой период времени, и/или данных, которые могут быть категоризированы с относительно небольшим количеством массивов данных различных категорий. Однако следует понимать, что более длительный период времени может обеспечивать большее количество массивов данных для сжатой базы данных. Таким образом, способ может включать использование данных,

30 охватывающих период времени, составляющий месяц или более, или, при необходимости, период времени, составляющий год или более. Способ может включать, на этапе (2), идентификацию по меньшей мере 100 интервалов времени в данных или, при необходимости, по меньшей мере 1000 интервалов времени. В некоторых случаях может иметь место значительно большее количество интервалов времени, например, 2000

35 интервалов времени или более.

Интервал времени с массивом данных, который может быть категоризирован как одна из множества категорий постоянной добычи, может быть определен как период времени, который превышает по длительности заданный минимум, в течение которого не было каких-либо изменений контрольной точки или параметра потока за пределами конкретного порогового значения. Данное пороговое значение может быть нулевым, т.е. представлять собой требование, заключающееся в отсутствии какого-либо намеренного изменения состояния контрольной точки.

Таким образом, идентификация массива данных, подлежащего категоризации, как одной из множества категорий постоянной добычи, может требовать того, чтобы некоторые или все контрольные точки поддерживались устойчивыми, например, без изменений настроек для контрольных точек. Этим может быть некоторый или все массивы интересующих контрольных точек (тогда как другие контрольные точки в проводящей сети не принимаются во внимание в некоторых ситуациях), или в некоторых случаях этим могут быть все контрольные точки, которые могут оказывать влияние на интересующие параметры потока. Идентификация массива данных, подлежащего категоризации одной из множества категорий постоянной добычи, может требовать, чтобы ожидаемое среднее значение релевантного(ых) параметра(ов) потока не претерпевали значительных изменений с течением времени в пределах этого интервала времени. Например, может иметь место требование в отношении того, чтобы среднее значение для первой части будущего интервала времени, по сравнению со средним значением для второй части, не изменялось более чем на 10%, предпочтительно, чтобы не было изменений больше чем на 5%, и более предпочтительно, чтобы не было изменений больше чем на 2%. Первая и вторая части могут быть двумя половинами будущего интервала времени, или они могут быть двумя частями из более чем двух более меньших частей будущего интервала времени. Таким образом, ожидаемое среднее значение может представлять собой среднее значение, определенное в течение периода времени, который меньше чем общая длительность будущего интервала времени. В качестве альтернативы или дополнения, идентификация массива данных, подлежащего категоризации одной из множества категорий постоянной добычи, может требовать, чтобы релевантный(е) параметр(ы) потока исходил(и) из одного или более слабо стационарного(ых) процесса(ов), так что моменты вплоть до второго порядка зависят только от временных отличий. Помимо прочего, последнее требование означает, что ожидаемое значение параметра(ов) потока не должно меняться в значительной степени с течением времени в пределах этого интервала времени.

В примере способа определения того, не изменился ли параметр потока в значительной степени с течением времени в пределах заданного интервала времени, может включать линейное или квадратичное сглаживание всех точек данных для параметра потока в пределах интервала. Линия линейного сглаживания будет иметь постоянный член и линейный член. Линия квадратичного сглаживания будет иметь постоянный член, линейный член и квадратичный член. Линейные и квадратичные члены и/или линии могут быть использованы для определения того, должен ли быть категоризирован массив данных одной из множества категорий постоянной добычи, или же он должен быть категоризирован некоторым другим образом. Например, большой линейный и/или квадратичный член может указывать на переходное событие.

Если у параметра потока имеются значения, которые колеблются вблизи ожидаемого среднего значения в течение интервала времени, то если общий интервал был разбит на множество интервалов, например, два интервала, ожидаемые средние значения для каждого из меньших интервалов будут приблизительно равны ожидаемому среднему значению общего интервала времени. Если он изменяется в значительной степени, то это является указанием на наличие непостоянной добычи. Учет ожидаемого среднего значения, например, среднего значения для колеблющегося измерения, также обеспечивает способ идентификации того, исходит ли параметр из слабо стационарного процесса. В предпочтительном способе, если какой-либо релевантный параметр потока имеет значения измерения с погрешностью, которые колеблются вблизи ожидаемого среднего значения, которое изменяется в значительной степени в ходе возможного массива данных, подлежащего категоризации одной из множества категорий постоянной добычи, то интервал не определяется как постоянная добыча, тогда как если все релевантные параметры потока имеют значения измерения с погрешностью, которые колеблются вблизи ожидаемых значений без значительных вариаций ожидаемых значений для параметров потока в пределах интервала, то это идентифицируется как массив данных, подлежащий категоризации одной из множества категорий постоянной добычи. Таким образом, как описано выше, может иметь место требование в отношении того, чтобы среднее значение для первой части будущего массива данных, по сравнению со средним значением для второй части, не изменялось более чем на 10%, предпочтительно, чтобы не было изменений больше чем на 5%, и более предпочтительно, чтобы не было изменений больше чем на 2%. Первая и вторая части могут быть двумя половинами будущего интервала времени, или они могут быть двумя частями из более чем двух более меньших частей будущего интервала времени. Это может быть применено к множеству параметров потока, а массив данных, подлежащий категоризации одной из

множества категорий постоянной добычи, для набора контрольных точек и параметров потока может быть определен как представляющий данные из интервала времени, когда отсутствуют какие-либо изменения каких-либо из контрольных точек, и все параметры потока, на которых оказали воздействие контрольные точки, имеют ожидаемые средние значения, которые не меняются в значительной степени с течением времени.

Идентификация интервала времени, в течение которого имеет место постоянная добыча, может включать необходимость в минимальном периоде времени, составляющем 1 час, таком как минимальное время, выбранное из диапазона от 1 до 24 часов. В некоторых примерах идентификация постоянной добычи требует отсутствия каких-либо изменений за пределами установленных пороговых значений на протяжении по меньшей мере 2 часов перед тем, как может начаться интервал времени постоянной добычи, или на протяжении периода до 12 часов. Предпочтительным является обеспечение того, чтобы массив данных, подлежащий категоризации одной из множества категорий постоянной добычи, был идентифицирован на этапе (2) только когда интересующий(е) параметр(ы) потока является(ются) устойчивым(и). Таким образом, интервал времени, определяющий массив данных, подлежащий категоризации как постоянная добыча, может считаться начавшимся только когда параметр(ы) потока был(и) стабилизирован(ы) после перехода вследствие изменений контрольных точек. Это обеспечивает возможность устранения каких-либо эффектов динамического перехода. Интервал времени, определяющий массив данных, подлежащий категоризации как постоянная добыча, может не продолжиться после точки, в которой были произведены новые изменения какой-либо (каких-либо) контрольной(ых) точки(ек). Когда производятся изменения управляющих сигналов, будет иметь место переходной период и сдвиг ожидаемого значения параметра потока. Данные в этом периоде могут увеличить один или более интервалов времени, где категория является одной из множества категорий, относящихся к различным типам переходных событий. Затем, добыча может стабилизироваться и, следовательно, может быть найден новый интервал времени, определяющий массив данных, подлежащий категоризации как постоянная добыча.

Этап (4) может включать сбор статистических данных в табличной форме и, при необходимости, сохранение данных, например, с помощью компьютера. Таким образом, результатом выполнения этапа (3) может быть таблица сжатых данных, причем эта таблица сжатых данных может принимать форму базы данных или т.п., постоянно или временно хранящейся в памяти компьютера. Получение таблицы сжатых данных может включать, на этапе (2), идентификацию множества интервалов времени, в которых контрольные точки и интересующие параметры потока могут быть определены как

входящие в одну из категорий; на этапе (3), присвоение категории каждому из массивов данных множества интервалов времени; а затем, на этапе (4), извлечение статистических данных, показательных в отношении каждого из массивов данных.

Таким образом, в простом примере несколько минут точек данных для отверстий
5 штуцерного клапана, которые не меняются, могут быть заменены статистическим представлением одного массива данных постоянной добычи, в котором параметр потока или массив параметров потока с некоторым(и) значением(ями) уравнивается с заданным набором отверстий штуцерного клапана. В более сложном примере дополнительные статистические данные получены из множества интервалов времени и представлены в
10 таблице для обеспечения таблицы сжатых данных, представляющих большие количества первоначальных данных без потери каких-либо сведений о, которые могут быть релевантными для оценки проводящей сети.

Таким образом, может быть получена таблица данных как по постоянной добыче, так и переходным событиям. Она может содержать информацию об интервалах времени
15 постоянной добычи, такую как категория, время начала и/или статистическую информацию, такую как одно или более из среднего арифметического, медианы, дисперсии, постоянного члена, линейного члена, г-квадрата и/или количества точек выборки. Она также может содержать информацию об интервалах времени переходных событий, такую как категория, время начала, длительность и/или статистическая
20 информация, относящаяся к переходному событию. Данный статистический подход обеспечивает возможность высоко эффективного сжатия первоначальных данных, а также выдает набор координат, которые выполняют маппинг состояния контрольных точек со значениями параметров потока в части абсолютных значений.

Получение таблицы сжатых данных может включать идентификацию областей
25 данных, в которых были выполнены измерения некоторых контрольных точек, тогда как состояние других контрольных точек осталось без изменений. Регулировки могут представлять собой шаговые изменения, или же они могут представлять собой возбуждающие силы, такие как колебания, как описано в WO2014/170425.

Способ может включать использование интервалов времени, идентифицированных
30 на этапе (2), при оценке факторов, относящихся к производительности проводящей сети. Это может быть выполнено путем определения взаимосвязей между состоянием контрольной(ых) точки(ек) и параметра(ов) потока путем генерирования одной или более локальных моделей для системы на основе состояния контрольной(ых) точки(ек) и параметра(ов) потока на основе интервалов времени. В некоторых случаях такие модели
35 могут быть основаны на интервалах времени с массивами данных, которые

категоризированы как постоянная добыча, без обращения к массивам данных, категоризированным как переходные события. Предпочтительно, определение взаимосвязей может быть выполнено на основе статистических данных, извлеченных на этапе (4). Это обеспечивает возможность эффективной обработки данных, поскольку модели основаны на сжатых данных, предоставленных посредством извлечения статистических данных. Таким образом, таблица данных может быть использована на этапе (4) для идентификации взаимосвязей между абсолютными значениями для состояния контрольных точек и для параметров потока, а также для обеспечения возможности построения локальной модели, которая представляет указанные взаимосвязи. Например, локальная модель может быть способна спрогнозировать эффект регулировок одной или более контрольных точек на параметры потока.

В некоторых обстоятельствах сжатие данных на этапе (4) не является существенным, а определение взаимосвязей и создание локальных моделей по факту также может быть выполнено непосредственно на основе интервалов устойчивого состояния при необязательном использовании этапа (4) в предпочтительном варианте реализации. Таким образом, еще в одном аспекте изобретения представлен: способ оценки нефтегазопроводной сети, включающий: этап (1), этап (2) и этап (3), указанные выше, при необходимости, этап (4); определение взаимосвязей между состоянием контрольной(ых) точки(ек) и параметром(ами) потока путем генерирования одной или более локальных моделей для системы на основе состояния контрольной(ых) точки(ек) и параметра(ов) потока, а также категоризированных массивов данных; и, предпочтительно, использование указанных взаимосвязей при оценке факторов, относящихся к производительности проводящей сети. В данном способе могут использоваться только массивы данных, которые категоризированы как постоянная добыча.

В одном примере способ включает идентификацию регулировок, которые были сделаны в одной или более контрольных точках, которые приводят к изменениям одного или более параметров потока, и определение взаимосвязей между состоянием контрольной(ых) точки(ек) и параметром(ами) потока путем генерирования одной или более локальных моделей для системы на основе состояния контрольной(ых) точки(ек) и параметра(ов) потока перед и после регулировок. Эти локальные модели могут быть основаны на массивах данных постоянной добычи, описанных выше, то есть может иметь место локальная модель, основанная как на данных из таблиц сжатых данных, так и на данных, относящихся к регулировкам. Предпочтительно, указанные взаимосвязи могут быть использованы при оценке факторов, относящихся к производительности проводящей сети.

Способ может включать определение одной или более предложенных регулировок контрольных точек, которые будут улучшать производительность проводящей сети, например, путем увеличения или уменьшения одного или более параметров потока. Например, этот этап может быть основан на локальных моделях, как описано ниже, и/или взаимосвязях, определенных так, как разъяснено выше. Способ может включать реализацию предложенной(ых) регулировки(ок) и, предпочтительно, эти регулировки затем могут обозначать начало нового интервала времени и/или могут образовывать регулировку, используемую при сборе данных, относящихся к взаимосвязям между контрольными точками и параметрами потока. Эти новые данные затем могут быть использованы в способе при последующем анализе. Таким образом, способ может быть использован для непрерывной оптимизации проводящей сети, например, посредством итеративного процесса улучшения, подобного описанному в WO2014/170425.

Способ может включать получение данных, полезных для процедур испытания скважины, и/или определение параметров или расходов потока, относящихся к проводящей сети, например, идентификацию вкладов в поток со стороны различных ветвей проводящей сети, и оценку факторов, относящихся к этим ветвям. Это может быть выполнено на основе локальных моделей, как описано ниже, и/или взаимосвязей, определенных так, как разъяснено выше. Практическим примером этого является идентификация расходов потока, относящихся к различным скважинам добычи в нефтегазопроводной сети, где множество скважин сопряжены магистралями и подают поток на общий сепаратор. Желательно обеспечить возможность идентификации расходов потока каждой скважины вместе с факторами, такими как соотношение газ/нефть (СГН) и содержание воды (СВ).

Способ может включать определение одной или более предложенных регулировок одной или более контрольных точек с целью получения дополнительных данных о проводящей сети. Предложенные регулировки затем могут обозначать начало нового интервала времени и/или могут образовывать регулировку, используемую при сборе данных, относящихся к взаимосвязям между контрольными точками и параметрами потока. Эти новые данные затем могут быть использованы в способе при последующем анализе. Например, может быть так, что в данных, собранных на этапе (1), имеется недостаточно данных для обеспечения возможности получения информации о конкретной контрольной точке и/или конкретном параметре потока. Таким образом, способ может включать предложение «онлайн-эксперимента», при котором выполняется незначительная регулировка, обеспечивающая возможность получения дополнительных релевантных данных и их использование при последующей оценке проводящей сети.

Этап идентификации регулировок, при использовании, предпочтительно, включает определение регулировок со связью с изменениями одного или более параметров потока, которые могут быть легко отделены от эффекта других регулировок контрольных точек. Например, способ может включать идентификацию регулировок с характеристиками, обеспечивающими возможность влияния этих регулировок на изменений параметра(ов) потока, подлежащего(их) идентификации, например, идентификацию периодических регулировок, причем эффекты таких регулировок на нижних объединенных потоках могут быть определены посредством частотного анализа, как описано в WO2013/072490. Способ может включать игнорирование регулировок, которые считаются такими, которые не имеют легко идентифицируемую связь с изменениями интересующего(их) параметра(ов) потока.

Этап (1) может включать сбор данных, измеренных непосредственно в связи с состоянием контрольной(ых) точки(ек) и параметра(ов) потока. Сбор этого типа «сырых» данных в базу данных в режиме реального времени зачастую осуществляется оператором проводящей сети, и они сохраняются в виде рабочей записи проводящей сети. Настоящие предложенные способы обеспечивают возможность эффективного анализа и использования таких данных, которые зачастую остаются неиспользованными или используются лишь неэффективным образом вследствие большого размера базы данных. Этап (1) может дополнительно включать сбор данных, полученных путем использования блоков наблюдения в отношении указанных выше измеренных данных, например, посредством простых вычислений, примененных перед выполнением более сложного анализа на более поздних этапах способа и как описано ниже. Могут быть использованы различные типы блоков наблюдения, например, уравнения массового баланса, штуцерные модели и/или фильтры Калмана.

Интервалы времени, идентифицированные на этапе (2), могут быть использованы для определения взаимосвязей между контрольной(ыми) точкой(ами) и параметром(ами) потока посредством локальных моделей. Когда статистические данные были определены, например, на этапе (4) из первого аспекта, то они также могут быть использованы. Более того, если имела место идентификация производной информации, например, посредством таблицы производных данных об устойчивом состоянии, как описано выше, то она может быть использована вместе с информацией об устойчивом состоянии. Например, производная информация может быть использована для обеспечения градиента линейной модели, которая также содержит абсолютные значения, полученные посредством информации об устойчивом состоянии. Это может быть выгодным, когда доступно только одно абсолютное значение. Однако предполагается, что в большинстве случаев будет

необходимо использование лишь интервалов устойчивого состояния при построении локальных моделей.

Локальные модели могут быть линейными моделями или простыми нелинейными моделями. Модели могут быть основаны на статистических данных в таблице сжатых данных. Регрессионный анализ может быть использован для сглаживания локальной модели по данным путем маппинга одного или более измерений параметра потока (или связанного выходного параметра) с состоянием контрольных точек. Для создания локальных моделей могут быть использованы нейронные сети.

Линейная модель может быть использована, при этом регрессионный анализ выполняется для сглаживания линии или плоскости с точками данных, связанными с регулировкой, в одной или более контрольных точках и эффектом на параметр потока. Комбинация абсолютных значений из таблицы данных об устойчивом состоянии и значений градиента из таблицы производных данных об устойчивом состоянии также может быть использована для сглаживания линии или плоскости с данными, или поверхности, которая определена в нескольких размерностях.

Нелинейные модели могут быть использованы, если предполагается, что данные неприемлемы, например, являются квадратичной моделью. Может быть возможным прямое сглаживание квадратичной модели до некоторых взаимосвязей, где существует достаточное количество точек данных. Однако предпочтительно сначала сгенерировать линейную модель, а затем рассмотреть возможность добавления кривизны посредством нелинейного элемента, такого как квадратичная модель, если данные не сглажены достаточным образом близко к линейной модели. Могут быть использованы модели минимальной нормы Фробениуса.

При генерировании линейных моделей предпочтительно, чтобы уравнения, которые формируют модели, были сверхопределенными для обеспечения возможности измерения неустойчивости на низком уровне. Если в одной или более размерностях имеют место недостоверные или недостаточные данные, то способ может включать устранение точек данных для обеспечения более простой модели с низким уровнем неустойчивости. В одном примере из входных данных, использованных для генерирования модели, могут быть устранены точки данных для регулировок, которые являются слишком малыми, или для контрольных точек, которые не были отрегулированы достаточное количество раз.

Для любого из способов, описанных выше, контрольные точки могут быть любыми средствами, способными применить управляемую регулировку к проводящей сети, в частности, регулировку потока текучей среды в сети. Регулировка может выполняться в

отношении любого подходящего параметра текучей среды, такого как поток и/или давление текучей среды. Например, подходящие контрольные точки могут включать клапаны управления потоком, насосы, компрессоры, газлифтные инжекторы, расширительные устройства и так далее. Базовый принцип указанных выше способов может быть применен вместе с любым устройством, которое может применять регулировку в пределах каналов проводящей сети. Регулировки не должны выполняться только в отношении расхода потока или давления, а могут включать другие параметры, такие как уровень в подводном сепараторе и настройку ЭЦН-насоса, когда способ применяют в нефтегазопроводной сети. Безусловно, контрольная(ые) точка(и) и параметр(ы) потока должны быть выбраны в отношении регулировки, которая применяется для обеспечения того, чтобы применяемая регулировка оказала воздействие на измеряемый параметр. В нефтегазопроводной сети регулировка давления окажет воздействие на расход потока и давление, однако также может создать вариации температуры, содержания воды и так далее на выходе.

Поскольку способ применяют к нефтегазопроводной сети, контрольные точки могут включать одно или более из следующего: штуцерный управляющий клапан, настройки газлифтного клапана или расходы в скважинах или стояках трубопровода, настройки, эффективность, скорость, подъем давления и т.д. у ЭЦН (электрического центробежного насоса), настройки отводного клапана нисходящей скважины, управляющие настройки на поверхности или под водой одного или более из: сепараторов, отгонных колонок, смесителей, разделителей, охладителей и т.д. (любого оборудования, которое влияет на добычу), и регулировки могут быть применены соответствующим образом.

Измеряемый(е) параметр(ы) потока может(могут) представлять собой любой параметр, на который воздействует(ют) регулировка(и), применяемая(ые) в контрольной(ых) точке(ах). Таким образом, параметр(ы) потока может(могут) включать одно или более из давления, расхода потока (по объему или скорости потока), уровня или температуры, все из которых являются параметрами, которые могут варьироваться во всем объеме комбинированного потока в ответ на вариации отдельных ответвлений проводящей сети. В качестве альтернативы или дополнения параметр потока или параметры потока могут включать один или более параметров, относящихся к характеристикам текучей среды в проводящей сети, такие как соотношение газа к жидкости, пропорции некоторых компонентов текучей среды, плотность, уровень pH и т.п. В нефтегазопроводной сети параметр(ы) потока может(могут, например, включать, помимо прочего, содержание воды (СВ), индекс производительности (ИП), соотношение

газ/нефть (СГН), значения забойного давления и давления на устье скважины, расходы после сепарации на верхней поверхности, другие измерения расхода, например, вода после подводной сепарации, значения другого давления, например, давление в магистральной линии, давление в сепараторе, давление в других линиях, температуры (во многих местах системы добычи), скорости потока или выноса песка. Следует понимать, что интересующий(е) параметр(ы) потока необязательно должен(ны) включать все возможные параметры потока для проводящей сети. Вместо этого, параметр(ы) потока может(могут) включать выбранный набор параметров потока, которые считаются важными для производительности проводящей сети.

Параметры потока могут быть измерены прямым образом, например, посредством датчика давления или температуры, или, в качестве альтернативы, они могут быть измерены непрямым образом, например, путем вычислений на основе параметров, измеренных прямым образом.

Контрольные точки могут включать газлифтные скорости. Предпочтительной является идентификация обеих регулировок газлифтных скоростей, а также регулировок, примененных к штуцерным клапанам.

Регулировки для использования при определении взаимосвязей и построении локальных моделей могут быть идентифицированы в отношении более чем одного типа контрольной точки, а в некоторых предпочтительных примерах их идентифицируют для большинства или всех контрольных точек, по которым в проводящей сети доступны данные (или в части интересующей проводящей сети). Этим обеспечивается возможность выполнения оценки реакции проводящей сети на отклонения в любом из доступных механизмов управления и, следовательно, обеспечивается возможность осуществления наилучшей возможной оценки факторов, относящихся к производительности проводящей сети, например, для определения того, какая регулировка контрольной точки даст наиболее желаемое изменение производительности, или того, какая последующая регулировка даст наиболее полезные дополнительные данные для оценки производительности сети.

По подобным причинам, предпочтительным является измерение множества параметров потока на этапе (1) и, в частности, измерение ответа по большинству или всем параметрам потока, которые являются релевантными для оценки проводящей сети. Например, ими могут быть все параметры потока, являющиеся релевантными для добычи в нефтегазопроводной сети.

Когда способ применяют для нахождения регулировки с целью улучшения производительности, улучшение производительности проводящей сети может быть

реализовано любым выгодным изменением в любой части производительности проводящей сети. В одном примере улучшение включает повышение или понижение одного или более интересующих выходных параметров, и этот(эти) выходной(ые) параметр(ы) может(могут), таким образом, сфокусировать взаимосвязи между контрольной(ыми) точкой(ами) и параметром(ами) потока. В некоторых случаях, выходной(ые) параметр(ы) может(могут) идентичен(ны) одному или более параметрам потока, в отношении которых выполняется сбор данных на этапе (1), или же они могут представлять собой другие параметры, относящиеся к этому(этим) параметру(ам) потока прямым или косвенным образом. Выходные параметры могут касаться, например, объема или качества добычи. В качестве альтернативы, улучшение может включать изменение другого аспекта проводящей сети.

Таким образом, улучшение может включать одно или более из: повышения или понижения одного или более интересующих выходных параметров, повышения точности этапа определения взаимосвязей между контрольной(ыми) точкой(ами) и параметром(ами) потока, регулировки рабочих параметров компонентов проводящей сети для увеличения срока службы этих компонентов или других компонентов проводящей сети, или улучшения другого аспекта проводящей сети, который не был перечислен выше.

Интересующий(е) выходной(ые) параметр(ы), на изменение которого(ых), в некоторых примерах, направлен способ для улучшения производительности, может(могут) представлять собой любой(ые) параметр(ы) проводящей сети. Таким параметром может быть параметр потока того типа, что включен на этапе (1), например, общий объединенный расход потока или требуемое давление для заданной добычи и так далее. В нефтегазопроводной сети интересующий(е) выходной(ые) параметр(ы), например, может(могут) представлять собой перепад давления в фонтанном штуцере или общей добыче. Может иметь место только один интересующий выходной параметр или, вместо этого, улучшение системы может относиться к комбинации выходных параметров. Если интересующий выходной параметр не измерен, например, скорость потока, может(могут) быть использован(ы) другой(ие) выходной(ые) параметр(ы), например, давление и температура, для вычисления интересующего параметра, если аналитическое выражение известно, через физику первого порядка или через эмпирическую корреляцию.

В альтернативе, которая также может быть реализована в дополнение к указанным выше улучшениям (или параллельно с ними), улучшение проводящей сети может включать регулировку рабочих параметров компонентов проводящей сети для увеличения срока службы этих компонентов или других компонентов проводящей сети, предпочтительно, не оказывая отрицательного воздействия на другие аспекты

производительности проводящей сети. Таким образом, например, одно применяемое ограничение может заключаться в том, что общая добыча должна оставаться на заданном уровне или выше него, тогда как другое ограничение может заключаться в обеспечении максимального расхода потока для заданных частей проводящей сети для предотвращения переработки некоторых компонентов и, следовательно, продления их срока службы.

В некоторых примерах реализации способ включает:

(a) применение заранее заданных возбуждающих сил в качестве регулировок ко множеству контрольных точек в проводящей сети и/или идентификацию регулировки(ок), выполненной(ых) в отношении контрольных точек в ходе нормальной работы проводящей сети, причем множество контрольных точек находятся в разных ответвлениях проводящей сети;

(b) получение измерений изменений в одном или более параметрах потока в одном или более путях потока, в которых были объединены потоки из более чем одного из разных ответвлений;

(c) выполнение анализа измерений параметра потока для идентификации вариаций, вызванных регулировками, и использование результатов этого анализа для определения указанной взаимосвязи между регулировками контрольной(ых) точки(ек) и изменений параметра(ов) потока;

(d) определение регулировки, подлежащей выполнению в отношении одной или более контрольных точек для улучшения производительности проводящей сети и/или для обеспечения дополнительных данных о работе проводящей сети;

(e) выполнение определенной регулировки в отношении контрольной(ых) точки(ек) проводящей сети; и

(f) при необходимости, повтор этапов (a)-(e) один или более раз для итеративного улучшения производительности проводящей сети и/или итеративного построения знаний о работе проводящей сети.

На этапе (e) способ также может обеспечивать возможность выполнения альтернативной регулировки, решение по которой принимает оператор проводящей сети, например, оператор может отменить предложенную регулировку, если обстоятельства того требуют. Благодаря использованию регулировок, по которым решение принимает оператор, могут быть достигнуты улучшения производительности проводящей сети или данных о работе проводящей сети, и это может быть встроено в систему для непрерывной оценки проводящей сети, особенно когда процесс повторяется итеративно. Способ может обеспечивать получение дополнительной информации из любой регулировки, была ли предложена она на предыдущей анализе или введена лишь на основе решения оператора.

Способ может итеративно повторяться в направлении нахождения оптимального решения по работе проводящей сети при совместном использовании регулировок, решение по которым принимает оператор, и регулировок, предложенных на основе анализа.

5 Анализ на этапе (с) включает создание локальной модели, которая может быть простой моделью, такой как локализованная линейная модель, и может быть такой, как описано выше. Затем данная модель может быть оптимизирована на этапе (d) определения для идентификации наилучшей регулировки, подлежащей применению к контрольной(ым) точке(ам).

10 Этап (с) может включать создание локальной задачи математической оптимизации для вычисления регулировки одной или более контрольных точек, и в этом случае этап (d) может включать решение этой задачи оптимизации для определения требуемой регулировки.

Когда способ включает регулировки, применяемые в качестве возбуждающих сил, то возбуждающие силы могут принимать любую подходящую форму. Для возбуждающих
15 сил могут быть использованы различные экспериментальные паттерны, такие как пошаговые изменения, линейные паттерны и синусоидальные вариации. Модели затем могут быть извлечены из результатов этих экспериментов и/или из подходящих возбуждающих сил, идентифицированных в архивных данных, используя измерения и анализ на этапах (b) и (с), и эти модели могут быть использованы для выполнению этапа
20 (d). Различные экспериментальные паттерны имеют различные преимущества и недостатки. Пошаговые изменения, например, являются более простыми в реализации, чем синусоидальные паттерны, тогда как синусоидальные паттерны могут быть более просто и точно поддаваться анализу, чем пошаговые изменения.

В предпочтительном варианте реализации возбуждающие силы представляют
25 собой колебания, применяемые с известными частотами. Предпочтительно, колебания, применяемые к различным контрольным точкам из множества контрольных точек, применяют с различными тестовыми частотами, а на этапе (с) выполняют частотный анализ измеренных параметров потока. Таким образом, колебания могут применяться параллельно с частотным анализом, обеспечивая возможность идентификации ответов,
30 являющихся результатом возбуждения различных контрольных точек. Это обеспечивает возможность получения модели проводящей сети для использования при определении регулировки, которую необходимо выполнить, на этапе (d). Особенно предпочтительно, чтобы применяемые методики были подобны тем, что описаны в WO 2013/072490 от компании «Синвент АС» и Норвежского университета науки и техники (НУНТ), в
35 котором предложено применение колебаний для мониторинга нефтегазовых скважин.

Изобретение направлено на данные, полученные любым из описанных выше способов, которые могут содержать, например, таблицу сжатых данных. Эти данные обладают новизной и изобретательским уровнем за счет своей структуры и содержимого, а также за счет процесса, которым эти данные были получены. Кроме того, изобретение
5 расширено локальной моделью или локальными моделями, полученными в соответствии с описанными выше способами. Данные и/или локальная(ые) модель(и) могут храниться, например, в памяти компьютера или другой среде хранения.

Другим аспектом изобретения является применение данных, полученных любым из описанных выше способов, например, применение сжатых данных и/или локальной(ых)
10 модели(ей) в управлении или оценке проводящей сети.

Рассматривая еще один аспект, в настоящем изобретении представлено устройство для обработки данных, предназначенное для оценки одной или более контрольных точек в нефтегазопроводной сети, которое содержит: устройство для анализа данных, выполненное с возможностью реализации способа из первого аспекта. Таким образом,
15 устройство для анализа данных может быть выполнено с возможностью: (1) сбора данных за период времени, причем данные относятся к состоянию множества контрольных точек в различных ответвлениях в пределах проводящей сети и к одному или более интересующим параметрам потока в одном или более путях проводящей сети; (2) идентификации множества интервалов времени в данных, в течение которых контрольная(ые) точка(и) и параметр(ы) потока могут рассматриваться как входящие в
20 категорию, выбранную из множества категорий, относящихся к различным типам постоянной добычи, и множества категорий, относящихся к различным типам переходных событий, причем результирующие данные содержат множество массивов данных, каждый из которых ограничен одним из множества интервалов времени; (3) присвоения
25 выбранной категории из множества категорий каждому из множества массивов данных, которые ограничены множеством интервалов времени; и (4) извлечения статистических данных, показательных в отношении некоторых или всех массивов данных, идентифицированных на этапе (2), что позволяет представлять первоначальные данные с этапа (1) в сжатой форме, содержащей сведения о категории, присвоенной каждому
30 интервалу времени на этапе (3).

Категории могут относиться к событиям, как описано выше в отношении первого аспекта. Контрольная(ые) точка(и) и параметр(ы) потока могут быть такими, как описано выше в отношении первого аспекта. Может быть обеспечено множество контрольных точек, и они могут находиться в разных ответвлениях проводящей сети. Устройство
35 может быть выполнено с возможностью реализации любого или всех этапов способа,

указанных выше в отношении первого аспекта и его необязательных признаков. Например, устройство может быть выполнено с возможностью определения того, какие из массива динамики месторождения присутствуют для каждого интервала времени, для того чтобы таким образом выбрать подходящую категорию для массива данных, ограниченных интервалом времени.

Таким образом, устройство для анализа данных может быть выполнено с возможностью генерирования таблицы сжатых данных, при необходимости, в форме сжатой базы данных, как описано выше. Устройство для обработки данных может включать подходящие устройства для хранения данных, предназначенные для хранения таблицы сжатых данных. Устройство для обработки данных также может хранить некоторые или все собранные данные по меньшей мере временно.

В изобретении также может быть предусмотрено устройство для обработки данных, предназначенное для реализации способа, в соответствии с любым из других аспектов способа, описанных выше.

Таким образом, в одном альтернативном аспекте представлено устройство для обработки данных, предназначенное для оценки нефтегазопроводной сети, содержащей множество ответвлений и множество контрольных точек, причем множество контрольных точек находятся в различных ответвлениях проводящей сети; при этом устройство содержит: устройство для анализа данных, выполненное с возможностью реализации этапа (1), этапа (2) и этапа (3), указанных выше, и лишь при необходимости, этапа (4); определения взаимосвязей между состоянием контрольной(ых) точки(ек) и параметром(ами) потока путем генерирования одной или более локальных моделей для системы на основе состояния контрольной(ых) точки(ек) и параметра(ов) потока, а также категоризированных массивов данных; и, предпочтительно, использования указанных взаимосвязей при оценке факторов, относящихся к производительности проводящей сети.

Устройство для обработки данных может содержать контроллер для управления состоянием контрольных точек. Контроллер может быть выполнен с возможностью управления состоянием контрольных точек для применения регулировок путем отправки управляющих сигналов на контрольные точки. В некоторых предпочтительных вариантах реализации устройство содержит контрольные точки, которые могут представлять собой точки, распределенные по проводящей сети. В качестве альтернативы контрольные точки могут составлять часть другого устройства, будучи, при этом, управляемыми контроллером прямым или косвенным образом.

Контроллер и устройство для анализа данных могут быть отдельными или они могут быть скомбинированы в одном устройстве, например, компьютерном устройстве, для управления проводящей сетью и анализа данных проводящей сети.

Рассматривая еще один другой аспект, в настоящем изобретении представлен компьютерный программный продукт, содержащий инструкции, предназначенные для 5 исполнения на устройстве для обработки данных, выполненном с возможностью приема данных, относящихся к контрольным точкам и параметрам потока в проводящей сети; причем инструкции, при исполнении, будут конфигурировать устройство для обработки данных для реализации способа, описанного в первом аспекте выше или в любом из 10 альтернативных аспектов способа, описанных выше.

Компьютерный программный продукт может конфигурировать устройство для реализации этапов способа, как указано в любом или всех предпочтительных признаках, представленных выше. Устройство для обработки данных может обладать признаками, описанными выше для устройства из второго аспекта или любого из альтернативных 15 аспектов устройства, описанных выше.

Ниже описаны некоторые предпочтительные варианты реализации, приведенные лишь в качестве примера, со ссылкой на сопроводительные фигуры, на которых:

на фиг. 1 показана схема, на которой изображена предложенная система для оценки проводящих сетей, в том числе с примерами прикладной программы для системы; 20 на фиг. 2 показан пример проводящей сети, которая принимает форму системы добычи нефти и газа;

на фиг. 3 показан график, на котором изображен один месяц измерений данных о расходе отгружаемого газа и настройки штуцерного клапана для двух скважин в системе добычи, показанной на фиг. 2;

на фиг. 4 показана идентификация интервалов данных постоянной добычи в данных, показанных на фиг. 3, в соответствии с примером оптимизации в системе; 25

на фиг. 5 показана линейная модель для прогнозирования будущих изменений в добыче газа из будущих изменений настроек штуцерного клапана, показанных на фиг. 3;

на фиг. 6 показано измерение неустойчивости линейной модели, показанной на 30 фиг. 5;

на фиг. 7 показано сравнение прогноза на основе линейной модели, показанной на фиг. 5, с реальными данными, являющимися результатом изменений того же штуцерного клапана;

на фиг. 8 показан крупный план части, показанной на фиг. 7;

на фиг. 9 показан пример категоризации данных о давлении на массивы данных для категорий переходных событий и массивы данных для категорий постоянной добычи; и

на фиг. 10 показана классификация интервалов времени на переходные или постоянные, а также идентификация динамики месторождения.

5 Ключевая проблема в операциях в области добычи нефти заключается в принятии решения касательно ежедневной стратегии добычи. Это же применимо к управлению других подобных проводящих сетей. Высококачественное принятие решений в ежедневных операциях является ключом к обеспечению безопасности и эффективности операций в сложных системах добычи. Технология развивалась быстро, а количество
10 данных, доступных с датчиков и систем управления в месторождениях нефти, увеличивается с каждым годом. Этим было обеспечено окно возможностей для автоматических процессов, которые в настоящее время требуют существенного участия человека. Предполагается, что предложенная в настоящем документе система будет надежным механизмом для сбора и эффективной регистрации данных, которые в
15 последствии могут быть использованы различными способами, например, для оценки или улучшения производительности проводящей сети. Таким образом, зарегистрированные данные могут быть использованы более эффективно в ходе помощи при принятии решений в такой сложной среде добычи. Комбинирование опыта оператора и инженера по добыче с данной технологией может обеспечить доступ к потенциалу добычи, который в
20 настоящее время остается недоступным. Система описана со ссылкой на операции в области добычи нефти, однако следует понимать, что эти же принципы применимы и к другим отраслям промышленности.

Одной прикладной программой для предложенных способов является оптимизация
25 темпа добычи. Решения по оптимизации, доступные в настоящее время, основаны на усовершенствованных симуляторах вследствие масштабной сложности многофазной системы потока. Таким образом, программное обеспечение для оптимизации, известное из уровня техники, подвержено неточностям в симуляторах, а следовательно, основано на глубоком исследовании опытными инженерами по добыче для точной симуляции системы
30 добычи. Поскольку время важно при ежедневном планировании добычи, данные, вводимые в симуляторы, зачастую являются неактуальными и неточными. Таким образом, нефтедобывающие компании убеждаются в том, что текущее программное обеспечение, известное из уровня техники, является время затратным, неточным и в большинстве случаев некорректным. Типичный процесс потока данных и принятия решений, который в

большей или меньшей степени является общим для всех нефтедобывающих компаний, является следующим:

1. Данные в режиме реального времени поступают от системы управления и датчиков в добывающей установке, например, в открытом море.

5 2. Реальные данные сохраняются в базе данных реального времени.

3. Модель реальной задачи создают посредством анализа данных при настройке со стороны экспертного инженера для обеспечения того, что она корректно отражает ситуацию.

10 4. Программное обеспечение использует алгоритм математической оптимизации, комбинированный с моделью, для получения рекомендации, которую инженер по добыче может применить к системе добычи.

Подход к оптимизации, известный из уровня техники, предполагает масштабный ручной ввод со стороны инженера по добыче между этапом 2 и 3 для улучшения низкокачественных баз данных, а также он требует, чтобы на этапах 3 и 4 были запущены
15 сложные алгоритмы оптимизации.

Ввиду сложности, нехватки людей с необходимыми навыками и риска допущения ошибок людьми, некоторые нефтедобывающие компании не могут использовать свое программное обеспечение. Они вынуждены перейти к компромиссному подходу, при котором инженер выполняет квалифицированные предположения исходя из потока
20 реальных данных без использования симуляции или модели оптимизации. Крупные потери при добыче могут остаться незамеченными без эффективной системы поддержки принятия решений. Таким образом, нефтедобывающие компании нуждаются в более простом и более автоматизированном программном обеспечении для оптимизации, которое обеспечивало бы эффективную поддержку принятия решений без существенного,
25 времязатратного и подверженного ошибкам участия человека.

Пример системы, описанный в настоящем документе, может выполнять анализ и обработку ошибочных данных для автоматической динамической выдачи «наилучших практических» рекомендаций для лиц, принимающих решения, и вычислять ключевые параметры скважины для отдельных скважин, не прерывая добычу. Предпочтительные
30 признаки включают: онлайн эксперименты для улучшенной информативности данных, улучшенное использование архивных и реальных данных о добыче, простые автоматически обновляемые модели и интеллектуальное упрощение задачи оптимизации добычи. Добавляемые предложения и встраиваемые улучшения были описаны в WO2013/072490 и WO2014/170425 в отношении регистрации данных, а также, при
35 необходимости, для использования этих данных в контексте испытания скважины и

оптимизации добычи. Данная технология может быть реализована в виде онлайн-решения, которое обеспечивает возможность непрерывной работы во время испытания скважины и выдачи рекомендаций в режиме реального времени для ежедневной оптимизации.

5 Система принимает архивные и реальные данные от добывающей установки и сохраняет данные в базе данных. В примере оптимизации добычи эти данные анализируются для автоматической выдачи рекомендаций по регулировкам переменных добычи и/или предложений по онлайн экспериментам, которые могут идти параллельно с предложенными в WO2013/072490 и WO2014/170425, но также могут включать
10 альтернативные испытания, например, с использованием других типов возбуждающих сил. Эти рекомендации отображаются пользователю, которым может быть инженер по добыче и/или оператор, и они могут использовать свой опыт в том, каким образом следует реализовать рекомендации. Необходимые изменения добычи и/или эксперименты реализуются посредством имеющихся систем управления для добывающей установки, а
15 реакция параметров добычи на изменения/эксперименты регистрируется для использования на следующих циклах процесса. Таким образом, система может быть использована для итеративных улучшений и непрерывной оптимизации.

Другим примером применения системы является идентификация и снижение потенциальных рисков в отношении целостности проводящей сети, снижение времени и,
20 следовательно, повышение выхода за счет максимизации рабочего времени.

Предложенный процесс потока данных и принятия решений изображен на фиг. 1, используя добычу нефти и газа в качестве примера. Нефтедобывающие компании ежедневно сохраняют крупные массивы данных о своих системах добычи в свои базы данных реального времени. Эти данные обеспечивают нефтедобывающим компаниям
25 значимую обратную связь и возможность оптимального управления системой добычи. Однако они имеют тенденцию управлять своими системами добычи равномерно с некоторыми и несущественными вариациями. Таким образом, крупные массивы данных необязательно означают повышенную информативность. Путем регулировки управляющих переменных системы добычи более часто и с большими вариациями,
30 инженеры по добыче могут улучшить информативность данных. Технология, описанная в настоящем документе, может выдавать предложения по таким регулировкам. Она будет предлагать изменения, которые могут быть включены в специфические относительно скважины переменные управления, такие как штуцеры, газлифтные скорости и/или электрические центробежные насосы, для улучшения специфической относительно

скважины информации в потоке данных. Предлагаемые изменения могут варьироваться от одношаговых изменений до испытания с полным колебанием.

Когда множество скважин испытывают с использованием технологии колебаний, для каждой скважины может быть задан свой собственный распознаваемый отпечаток в системе добычи. Данный отпечаток получают путем создания синусоидальной волны, которая перемещается по системе добычи, путем введения точных изменений, например, настройки штуцера конкретной скважины. Частота синусоидальной волны каждой скважины отличается, так что они могут быть отделены друг от друга, поскольку поток из всех скважин объединяется внизу. Предложенная технология может извлекать данную информацию путем применения традиционного частотного анализа.

Предложенная система обрабатывает как архивные данные, сохраненные в базе данных реального времени, так и реальные данные, вводимые в базу данных. Задача заключается в сборе и сохранении релевантной информации о системе добычи в более сжатой форме в так называемой сжатой базе данных. Статистический анализ используется для вычисления статистической информации для интервалов постоянной добычи в устойчивом состоянии, т.е. интервалов, в которых данные представляют собой состояние проводящей сети при абсолютном устойчивом состоянии, когда отсутствует изменение управляющих настроек системы (например, отсутствует изменение штуцерных клапанов в нефтегазовой сети). Способ идентификации интервалов постоянной добычи в устойчивом состоянии более подробно описан ниже. Такая информация обеспечивает связь между абсолютными значениями переменных управления и абсолютными средними значениями добычи для значений интервала устойчивого состояния. Если происходят изменения, то может быть получена информация в отношении производных состояний системы. Например, если в управляющие настройки системы были внесены колебания или повторяющиеся поэтапные изменения, для получения производной информации об устойчивом состоянии может быть применен частотный анализ, например, преобразование Фурье. В этих ситуациях информация об абсолютном значении не доступна для специфических в отношении скважины измерений, однако в качестве преимущества может быть получена производная информация для обеспечения представления влияния на выходы системы, являющаяся результатом изменения переменных управления в системе. В данной ситуации производная информация о состоянии сохраняется.

Вся интересующая сгенерированная информация сохраняется в сжатой базе данных, как описано ниже более подробно. Сохраненная информация включает статистическую информацию, извлеченную из массивов данных, ограниченных

интересующими интервалами времени, а также категорией для каждого массива данных. Категории могут быть такими, как представлено выше, и, таким образом, могут включать категории, относящиеся к постоянной добыче, такие как: постоянная добыча в устойчивом состоянии; постоянная добыча при фонтанной добыче из одной или более скважин; постоянная добыча при наличии динамики закупоривания, такую как высадка обшивки, сильное закупоривание или другая динамика закупоривания; и постоянную добычу, включающую вынос песка. Категории также включают категории, относящиеся к переходным событиям, в том числе одну или более категорий активных событий, таких как: события испытания скважины, активные события процесса, активные события скважины и/или активные события резервуара; и/или одну или более категорий пассивных событий, таких как: пассивные события процесса, пассивные события резервуара/скважины или события ошибки датчика.

Выбор категории включает определение категории, которая должна быть применена к заданному массиву данных, путем определения комбинации динамик месторождения, присутствующих в массиве данных, причем динамика месторождения представляет собой явление или событие, которое происходит в интервале времени для массивов данных в одной или более из категорий. Динамики месторождения, используемые в примерах реализации, могут включать некоторые или все из следующего: истощение, фонтанная добыча, повышение, снижение, импульсы трубопровода вследствие изменений управления, динамики закупоривания, колебания системы добычи и/или динамики состава резервуара.

Динамика месторождения или подобные замыслы используются в уровне техники, однако они определяются вручную инженерами, которые проверяют данные измерений для поиска интересующих диапазонов времени. Пример: для определения подходящего времени начала испытания скважины, инженер должен проверить сигналы давления для того чтобы увидеть момент их стабилизации и взять его в качестве начальной точки.

Категоризация, используемая в предложенном способе, включает выявление всей или поднабора всей возможной активной динамики месторождения. Она состоит из двух основных этапов. На первом этапе отдельные поведения сигнала классифицируются на широкие группы, включающие устойчивые, колеблющиеся или переходные. Эти типы поведения сигнала вместе могут называться профилями поведения сигнала. На втором этапе эти профили поведения сигнала комбинируются и применяются логические правила для принятия решения в отношении того, какая динамика месторождения является активной в заданный момент времени. Как и устойчивые, колеблющиеся и переходные профили поведения сигнала, другие поведения могут включать различные степени сбоя,

такие как отсутствие данных или недостоверные значения. Сигналы могут представлять собой измерения первоначальных данных, выведенные сигналы (такие как сумма расходов потока) или оцененные сигналы (такие как выходные сигналы фильтра Калмана). Сигналы группируются в управляющие сигналы (которые являются сигналами, которые могут быть изменены оператором для изменения поведения сети, такие как управляющие штуцерные клапаны или газлифтные скорости) и сигналы состояния (то есть давления, температуры и скоростей).

Классификаторы созданы специально для соответствия характеристикам профиля поведения сигнала в месторождениях нефти и газа. Примерами таких характеристик являются:

- Кусочно-постоянные сигналы с резко отклоняющимися значениями, но в любом случае без погрешности, такие как штуцеры. Эти сигналы могут иметь низкую частоту выборки (несколько минут между выборками).

- Динамические, высокоточные сигналы с низким содержанием погрешности, такие как давление и температура. Эти сигналы зачастую имеют высокую частоту выборки (несколько секунд между выборками).

- Динамические сигналы с сильными помехами, такие как расходы потока. Эти сигналы зачастую имеют среднюю частоту выборки (от секунд до минут между выборками).

Сверточные нейронные сети и/или LSTM-сети, комбинированные со специфической для сигнала предварительной обработкой, используются для построения устойчивого алгоритма классификации. Для классификации каждой выборки (например, на устойчивую, колеблющуюся или переходящую), классификаторы должны просмотреть окружающие выборки для определения их контекста. Поскольку удобно просмотреть одновременно все данные, используется подход с организацией окон. Размер данного контекстного окна должен быть соразмерен с поведением сигнала и динамикой месторождения, например, для отделения переходов и колебаний, контекст должен быть достаточно большим для захвата периода колебания. Все выборки внутри окна классифицируются, однако срединные выборки будут более конкретными, чем те, что вблизи краев. Для каждой выборки также возвращается мера устойчивости или неустойчивости для классифицированного поведения сигнала.

Если лицо желает определить, какое поведение сигнала или динамика месторождения активна в некоторый момент времени, будет естественным, если этот момент времени будет находиться посередине контекстного окна. Однако может быть использована не только срединная точка.

Если классификатор используется в подходе со скользящим окном, будет естественным сохранять только срединную выборку на каждой итерации. В прикладной программе, работающей в режиме реального времени, представляется возможным использовать классификацию для наиболее недавних выборок, однако пользователь
5 должен быть осведомлен о том, что классификация может быть изменена, когда поступили новые данные.

Общий фреймворк/алгоритм для классификации поведения сигнала представлен ниже:

1. Получение выборок внутри контекстного окна
- 10 2. Применение предварительной обработки (например, повторной выборки для обеспечения равномерной частоты выборки)
3. Запуск алгоритма классификации на отдельных данных сигнала в окне, а также классификация/присвоение меток всем точкам данных
4. Возврат/сохранение информации о метках, т.е. устойчивая, колеблющаяся,
15 переходящая, а также, при необходимости, статистической неточности этой метки (для срединной выборки или всех выборок).
5. При необходимости: расширение окна и повтор в режиме реального времени.

Когда профиль поведения сигнала известен, то применяются логические правила
20 для принятия решения в отношении того, какая динамика месторождения является активной в заданный момент времени. Логические правила могут варьироваться для разных профилей поведения сигнала. Как только комбинация активной динамики месторождения известна для заданной точки данных или массива данных, то может быть присвоена подходящая категория. Может быть предусмотрена категория, связанная с
25 каждой возможной комбинацией активной динамики месторождения. Указание категории сохраняется в сжатой базе данных вместе со статистическими данными, относящимися к массиву данных.

Сжатая база данных по существу представляет собой сжатую форму данных, отображающих интересующую информацию в первоначальных данных, но требует
30 значительно меньшего общего количества данных, поскольку интервалы времени в первоначальных данных представлены статистической информацией. Таким образом, большее количество архивных/зарегистрированных данных может храниться и обрабатываться при намного меньшей зависимости от требований к емкости хранилища данных и возможностям по обработке данных.

Информация в сжатой базе данных обеспечивает возможность выполнения различных дополнительных этапов, например, идентификации и регулировки простых управляемых данными линейных или квадратичных моделей «затраты-выпуск» в пределах нескольких сферах прикладной программы, основанных на модели. Такие модели могут обеспечивать представления аспектов проводящей сети и обеспечивать возможность прогнозирования того, каким образом предлагаемые изменения по управлению переменными повлияют на производительность проводящей сети. Основываясь на наиболее поздней информации, добавленной в сжатую базу данных, модели «затраты-выпуск» в прикладных программах обновляются непрерывным образом.

Улучшение добычи является высокоуровневым видом прикладной программы. В то время, как традиционные стратегии оптимизации используют усовершенствованные симуляторы и нацелены на немедленное глобальное оптимальное решение, информация в сжатой базе данных может быть использована для построения локальных моделей «затраты-выпуск» с особым акцентом на производную информацию. Эти модели могут управляться только данными или же они могут быть дополнены физическими моделями первого порядка, такими как законы сохранения (например, сохранения массы). Затем, данная модель может быть использована для оптимизации добычи в окрестностях вокруг текущего рабочего пункта для обеспечения нового и улучшенного рабочего пункта.

Использование непрерывной оценки параметра и калибровок модели также обеспечивает другие прикладные программы на основе модели, которые в противном случае были бы громоздкими или подверженными большому количеству ошибок. Например, могут стать возможными аппроксимации оценки расхода и/или соотношения газ/нефть (СГН) и содержания воды (СВ) за счет улучшенной точности в информации с достоверными связями (и действующих штуцерных моделях). Это обеспечивает возможность эффективной оценки/вычисления параметров, что до настоящего времени могло быть выполнено только путем построения параллельной и отдельной системы испытания добычи или путем закрытия одной скважины в определенный момент времени.

На фиг. 1 показаны основные признаки примера системы, использующей нефтегазодобывающую сеть. Инженер по добыче устанавливает переменные управления для сети. На этапе 1 изменения в работе и/или эксперименты приводят к возбуждению системы и изменениям динамики месторождения. В предложенной системе используется уже установленное в системе добычи оборудование и программное обеспечение для получения данных с датчиков и передачи этих данных в базу данных реального времени на этапах 2 и 3. Следует понимать, что несмотря на то, что на фигуре показаны значения штуцера с трех скважин, в действительности может быть предусмотрено гораздо большее

количество скважин, а также могут быть зарегистрированы другие данные и значения штуцера, например, расходы потока, значения давления, газлифта и так далее. На фиг. 2 показан один пример более сложной проводящей сети. На этапах 1-3 на фиг. 1 вовлечено оборудование, которое может быть уже установлено в качестве части нефтегазопроводной сети.

Алгоритмы, которые представлены ниже, используются для непрерывной оценки базы данных реального времени и сохранения статистических данных в сжатой базе данных на этапе 4. Непрерывно обновляемое содержимое сжатой базы данных обеспечивает возможность автоматической идентификации модели «затраты-выпуск» и настройки между этапами 4 и 5, например, для получения локальных моделей оптимизации, локальных моделей параметра и локальных моделей темпа добычи. Некоторые из возможных прикладных программ таких моделей «затраты-выпуск» показаны на этапах 6a и 6b, и могут включать оптимизацию добычи, результаты оценки параметра (СГН, СВ), результаты оценки расхода и генерацию тестов. Генерация тестов относится к предложениям по испытаниям колебаний и/или шаговым изменениям с целью улучшения информативности в потоке данных. Другие изменения могут быть предложены с целью улучшения производительности системы. Данные в сжатой базе данных также могут быть использованы для других целей, например, для обеспечения возможности поиска архивных данных по конкретным событиям или комбинациям событий.

Прикладные программы для способа, показанные на фиг. 1, могут быть разделены на варианты применения на основе сжатой базы данных, как на этапе 6a, и прикладные программы, построенные поверх локальных моделей, как на этапе 6b.

На этапе 6a показаны следующие возможности:

Агрегатор данных

Он обеспечивает возможность экспортирования всей базы данных агрегированной информации или ее частей, например, в Excel или другой программный продукт. Это может быть выполнено для всех предыдущих конфигураций добычи, средние значения и другая статистическая информация по всем релевантным измерениям может быть экспортирована в Excel для дальнейшего анализа. Сжатые данные также могут быть экспортированы, например, для настройки параметров модели, например, в программном обеспечении для симуляции, таком как GAP, K-Spice ++.

Оптимизатор испытания скважины

Как правило, скважины испытывают путем использования специальной линии испытания потока с соответствующим испытательным сепаратором. В ходе таких испытаний скважины инженер по добыче может осуществлять мониторинг статистической информации для текущего интервала устойчивого состояния, и обновленная информация о неустойчивости и устойчивости может быть использована для динамического принятия решений в отношении оптимальной продолжительности испытания скважины. Представляется возможным использование анализа устойчивого состояния для выявления момента, когда устойчивость и неустойчивость кейсов достигла приемлемых уровней, и, следовательно, автоматического завершения испытания.

Оптимизатор испытания сокращением

Подводные скважины без специальной линии испытания потока, как правило, испытывают посредством испытания скважины сокращением. Это означает, что испытываемая скважина активирована, а результирующее изменение в общей линии потока используется для вычисления доли из испытываемой скважины. Инженер по добыче может осуществлять мониторинг статистической информации для интервалов устойчивого состояния до и после приостановки для того, чтобы убедиться в том, что качество информации является достаточно высоким, и я для оптимизации времени, в течение которого скважина приостановлена. Как во время предварительной приостановки, так и во пределах интервала приостановки, лицо может в режиме реального времени обновить статистические данные об интервале устойчивого состояния по мере течения времени, и новые данные становятся доступны. Эти статистические данные в режиме реального времени для обоих интервалов устойчивого состояния могут быть использованы для принятия решения в отношении того, когда следует выполнить ее приостановку, а также когда следует ее включить, таким образом, чтобы испытание было настолько коротким, насколько это возможно, однако с допустимой неустойчивостью параметров.

Оценка настроек добычи

Данные из сжатой информационной базы данных могут быть использованы для визуализации резюме в отношении изменений/отличий между разными интервалами устойчивого состояния или настройками добычи. Такая визуализация может дать релевантную информацию, а также снизить потребность в ручной проверке архивной базы данных. Кроме того, данная прикладная программа может быть использована для оценки эффекта последнего изменения, выполненного в

отношении контрольных точек, в режиме реального времени (в некоторой степени таким же образом, как и для варианта применения с оптимизатором испытания сокращением). Вследствие колебаний в данных о добыче, определение эффекта изменения контрольных точек с допустимой степенью неточности занимает время.

5 Статистические данные, извлеченные из последнего интервала времени, т.е. интервала с последнего изменения контрольных точек до текущего момента/времени, могут быть обновлены и повторно вычислены непрерывным образом в режиме реального времени с новыми данными по мере течения времени. За счет выполнения этого, как правило, получают улучшенные результаты оценки параметров потока с меньшей неустойчивостью по мере течения времени. Путем сравнения непрерывно обновляемых статистических данных текущего интервала времени в данных, во пределах которого контрольные точки и параметр(ы) потока находятся в устойчивом состоянии, с предыдущих интервалом времени или любым более ранним интервалом времени, представляется возможной оценка эффекта изменения в управляющих настройках в режиме реального времени. Учитывая то, что изменение контрольных точек имело плохой/неблагоприятный эффект на нефтегазопроводную сеть, данная прикладная программа должна обеспечить возможность получения заключения раньше, чем в текущих решениях, а следовательно и снизить время, в течение которого производительность системы добычи неблагоприятна.

Поисковый движок для добычи

Сжатая база данных может быть доступна через подходящий поисковый движок для обеспечения инженеру по добыче возможности поиска некоторых настроек, поведений или событий в сжатой информационной базе данных.

Управляемые данными испытания проектных аварий

Пользователь легко может исследовать реакцию системы добычи на изменения в управляющих настройках путем поиска архивной информации, содержащейся в сжатой базе данных.

30 На этапе 6b прикладные программы, показанные на фигуре, являются следующими:

Балансировка ограничений

Локальные модели строятся сверху на сжатой базе данных с целью балансировки между различными ограничениями системы. Это означает, что за раз решается одно узкое место/ограничение для того, чтобы обеспечить упрощенный

подход к оптимизации. Например, добывающие скважины могут быть ранжированы на основе их коэффициента вклада в цель (например, что бы ни было максимизировано) по сравнению с вкладом в ограничение (например, какое бы узкое место не ограничивало добычу).

5 **Оптимизация добычи**

Локальные модели строятся сверху на сжатой базе данных с целью оптимизации добычи. Это означает, что множество узких мест/ограничений учитываются в одно и то же время.

Техническое состояние скважины

10 Локальные модели могут быть использованы для автоматического выявления аномальных выбросов на основе информации в сжатой базе данных. Например, алгоритм может выявлять, перемещаются ли, например, значения давления и температуры, за пределы «нормального» поведения, т.е. не соответствуют архивному поведению.

15 **Генерация тестов системы добычи**

Сжатая база данных может быть использована для вычисления оптимальных экспериментов, т.е. изменений управляющих настроек, таким образом, чтобы сжатая база данных могла быть дополнена новыми и вспомогательными данными. Целью может быть то, чтобы другие прикладные
20 программы имели улучшенные и более богатые основные данные, например, чтобы результаты оценки СГН были улучшены, или локальная модель «затраты-выпуск» имела меньше неустойчивости в своих параметрах.

Инженер по добыче принимает рекомендации с этапов 6а и 6б, и может сделать
25 выбор для реализации соответствующих регулировок переменных управления для системы добычи. Затем, такие изменения могут стать новыми возбуждающими силами на этапе 1 для повторного цикла.

В качестве примера, предложенный способ будет описан более подробно ниже со ссылкой на нефтегазодобывающую установку. Месторождение для добычи, как правило,
30 состоит из многочисленных скважин, из которых осуществляется добыча через несколько магистралей/коллекторов, находящихся как под водой, так и над ней, и каждая подводная магистраль дополнительно направляет поток вверх по одной или нескольким трубам стояка. Иногда верхние скважины могут быть направлены в один из нескольких верхних коллекторов. Кроме того, подводные скважины, из которых идет добыча в подводную
35 магистраль, иногда могут быть направлены к одному из нескольких стояков, соединенных

с этой магистралью. Для других конфигураций из скважины всегда идет добыча через один конкретный коллектор или стояк во время нормальной добычи.

Некоторые части описания ниже основаны на ссылке на конкретную систему, изображенную на фиг. 2. Данный пример системы добычи имеет шесть магистралей, распределенных по трем стоякам V, O и G. Стояк V имеет одну магистраль с четырьмя скважинными колодцами V1-V4. Стояк O имеет три магистрали с четырьмя скважинными колодцами O1-O4, O5-O8 и O9-O12. На стояке G имеется одна магистраль с четырьмя скважинными колодцами G1-G4 и одна магистраль с одним скважинным колодцем G5. В данном примере магистрали стояка G в основном имеют газовые скважины, тогда как оставшиеся магистрали имеют скважины, которые больше обогащены нефтью.

На конце каждого стояка имеется сепаратор. Во время нормальной добычи, поток из газовых скважин на магистрали G1-4 и G5 проходит через стояк G к сепаратору G, поток из нефтяных скважин магистрали O1-4, O5-8 и O9-12 проходит через стояк O к сепаратору O, а поток из скважин магистрали V1-4 проходит через стояк V к сепаратору V. Все точки измерения системы обозначены на фиг. 2. У сепаратора G имеются измерения газа и жидкости, у сепаратора O имеется измерение воды, а у сепаратора V имеются всех три измерения газа, нефти и воды. Кроме того, два измерения экспорта измеряют общую добычу нефти и газа во всей системе.

В системах добычи, таких как системы добычи нефти и газа, генерируются большие массивы первоначальных данных. Непрерывный поток данных от системы управления и датчиков передается в базу данных реального времени и сохраняется. Однако данные, как правило, содержат погрешности измерений, пики, переходные периоды, колебания системы и другие невыявленные эффекты, делая наглядное извлечение важных составляющих данных проблематичным. Таким образом, для большинства нефтедобывающих компаний большинство этих данных остается неиспользованным.

В предложенном способе происходит обработка доступных данных о системе добычи для сбора релевантной информации и генерирования сжатой высококачественной информационной базы данных. Данные о системе добычи сохраняются в базе данных реального времени. Данные могут быть обогащены «блоком наблюдения», т.е. путем простого вычисления или тому подобного, что может обеспечить виртуальные измерения для добавления реальных данных. Совместно, все эти данные, которые, следовательно, могут включать архивные (ранее полученные) данные, а также реальные (live) данные, образуют источник данных. Следует отметить, что устаревшие данные, собранные перед реализацией настоящего предложенного процесса, могут быть использованы в той же

степени, что и более новые «свежие» данные, например, данные, собранные в ходе реализации процесса и обеспечивающие ввод изменений в работу системы.

Алгоритм идентифицирует подходящие интервалы времени, категоризирует данные в этих интервалах времени, а затем анализирует и вычисляет высококачественную статистическую информацию на основе источника данных, а также сохраняет их в новой сжатой базе данных, которая представляет собой сжатое представление первоначальных данных. Процесс будет автоматизирован, следовательно, живые данные, проходящие в базу данных реального времени, будут непрерывно оцениваться, а новая информация будет добавляться в сжатую базу данных.

Количество источников информации (датчиков) варьируется между системами добычи. Источники информации могут быть категоризованы на два типа, управляющие сигналы и выходные измерения. Управляющие сигналы, как правило, могут включать положения штуцера, газлифтные скорости и направляющие настройки. Эти управляющие сигналы могут регулироваться непосредственно инженером и в зависимости от выполненных в отношении них изменений будут изменяться выходные измерения. Как правило, датчики давления и температуры присутствуют в забое и в устье скважины, а также на каждом конце трубы стояка. Система добычи зачастую имеет один из нескольких сепараторов, разделяющих поток на нефть, газ и воду при фиксированном давлении. Выработка, собранная в сепараторе, может сдерживаться из труб стояка, верхних частей скважины или из обоих мест. В нормальном темпе добычи информация может быть получена только после сепарации и, следовательно, как правило, только для нескольких скважин вместе. Однако после регулярного испытания скважины общим решением является поиск специфических для скважины темпов добычи. В ходе испытания скважины, скважину или закрывают и измеряют разницу общей добычи перед и после, или же скважину направляют в испытательный сепаратор, где измеряют специфический для скважины темп добычи.

База данных может быть дополнена виртуальными измерениями, найденными с помощью простых вычислений или «блоков наблюдения», перед выполнением сложных математических и статистических анализов данных. Может быть использовано несколько типов вычислений или блоков наблюдения; такие как уравнения массового баланса, штуцерные модели и фильтры Калмана.

Уравнения массового баланса: когда топология системы добычи известна, уравнения массового баланса могут быть использованы для создания виртуальных измерений для однофазных потоков добычи, которые не измерены. Для того, чтобы это было возможно, для системы уравнения должно быть представлено достаточное

количество других измерений потока для обеспечения наличия одного возможного решения. Такая ситуация имеет место для системы добычи, показанной на фиг. 2. Рассмотрим общее количество потоков нефти, которые собираются в единый экспортируемый поток. Более продвинутый блок наблюдения вычисляет поток нефти и воды из стояка G при заданных измерениях жидкости и газа из сепаратора G. Это дополнительно обеспечивает возможность вычисления потока нефти и газа из стояка O через уравнения массового баланса. Таким образом, для потока нефти и воды из стояка G и потока нефти, газа и воды из стояка O создаются виртуальные измерения. Если между измерениями имеется сдвиг по времени, это следует учесть в уравнениях массового баланса.

Использование уравнений массового баланса для создания виртуального измерения для многофазового потока также должно быть возможно, однако должны быть удовлетворены некоторые требования. Условия давления и температуры должны быть похожи для всех измерений, а углеводородные составы в объединенных потоках должны быть идентичными.

Штуцерные модели: такие модели могут быть использованы для оценки темпов добычи через штуцер скважины. Штуцерная модель, как правило, снимает измерения, такие как давление и температура вокруг штуцера в качестве входных данных, и возвращает результаты оценки по темпу добычи нефти, газа и воды через штуцеры. Однако штуцерные модели сложны. Кроме того, моделям, как правило, нужна информация в отношении некоторых характеристик текучей среды и так далее, которая не всегда доступна. Вариации моделей должны использоваться на основе того, является ли поток несжимаемым или сжимаемым и докритическим или критическим. Если штуцерная модель, а также необходимые измерения и информация, доступны, могут быть созданы виртуальные измерения для специфических к скважине темпов добычи.

Для системы добычи, показанной на фиг. 2, может быть приведен пример. Блок наблюдения используется для вычисления измерений в верхней части, которые отсутствуют, для получения полного резюме в отношении фаз, полученных из каждого стояка. Блок наблюдения вычисляет поток нефти и воды из стояка G при заданных измерениях жидкости и газа из сепаратора G. Это дополнительно обеспечивает возможность вычисления потока нефти и газа из стояка O через уравнения массового баланса. Иными словами, граничные условия для каждого из стояков с соединенными с ними скважинами являются фиксированными, т.е. в резервуаре и в сепараторе имеет место фиксированное давление, а также имеется информация о потоке нефти, газа и воды на выходе каждого стояка. Таким образом, три стояка с соединенными с ними

скважинами могут рассматриваться в качестве трех изолированных подсистем и, например, для каждого стояка могут быть построены автономные модели системы.

В данном контексте под источником данных подразумевается база данных, используемая для генерирования сжатой базы данных. Под ней подразумеваются все архивные и реальные данные, доступные по всем управляющим сигналам, все выходные измерения и все возможные виртуальные измерения, вычисленные блоком наблюдения, например, расходы потока из стояка, который не подвергался измерению. Данные из источника данных обрабатываются алгоритмами интеллектуального анализа данных для получения сжатой базы данных.

Алгоритмы интеллектуального анализа данных преобразуют большие количества данных по реальным и виртуальным измерениям в сжатые данные, содержащие только релевантную и важную информацию. В настоящем документе описано несколько алгоритмов интеллектуального анализа данных, в том числе алгоритм извлечения абсолютного устойчивого состояния и алгоритм извлечения производного устойчивого состояния. Эти алгоритмы могут идентифицировать и категоризировать массивы данных, где данные относятся к категории, касающейся постоянной добычи. Массивы данных в других категориях могут быть идентифицированы и категоризованы дополнительными особенностями этих алгоритмов или подпрограммами, встроенными в отдельные алгоритмы. Алгоритмы анализируют данные по релевантным управляющим сигналам систем добычи для маппинга интервалов с определенными спецификациями. Они могут использовать динамику месторождения, как описано в настоящем документе, для категоризации данных в интервалах времени. Для всех интервалов времени вычисляется статистическая или производная информация о релевантных выходных измерениях. Если система добычи состоит из двух или более подсистем, таких как две подсистемы, разделенные закрытым клапаном, то алгоритмы запускаются для каждой подсистемы.

Некоторые системы могут быть разделены на несколько подсистем с фиксированными граничными условиями. Фиксированные граничные условия означают фиксированные значения давления на всех границах и измерения расхода на всех крайних выходах. Первое условие обеспечивает то, чтобы изменения давления в подсистемах не взаимодействовали, что означает, что на темпы добычи из подсистемы оказывают влияние только изменения управляющих сигналов подсистемы. Второе условие обеспечивает то, чтобы общие темпы добычи из подсистемы были известны во все моменты времени. Граничные условия заданы измерением в реальном времени или виртуальными измерениями, полученными посредством блока наблюдения. Примером такой подсистемы является группа скважин, из которых ведется добыча в заданную трубу стояка,

направляющую поток в отдельный сепаратор. Граничное условие задается измерениями темпа из сепаратора, а также фиксированными значениями давления в резервуаре и на входе сепаратора. Если возможно разделить систему на несколько изолированных подсистем, это может быть выгодно для оптимизация добычи, оценок параметров и других вычислений.

Алгоритм извлечения устойчивого состояния выполняет маппинг интервалов времени абсолютной добычи в устойчивом состоянии. Под добычей в абсолютном устойчивом состоянии подразумевается, что все переменные управления для интересующей подсистемы могут поддерживаться постоянными. Для каждого интервала посредством статистического анализа получают статистическую информацию о релевантных выходных измерениях подсистемы. Алгоритм извлечения производного устойчивого состояния выполняет маппинг интервалов времени возбужденных колебаний или других поэтапных изменений с переменными управления для подсистемы. Интервал представляет интерес только если производная информация об устойчивом состоянии доступна, а абсолютная полезная информация об устойчивом состоянии - нет. Это означает, что производная информация не может быть найдена посредством конечной разницы. Таким образом, для каждого такого интервала производная информация находится посредством частотного анализа.

Информация об одном интервале называется кейсом. Определено два типа кейсов, кейс (абсолютного) устойчивого состояния и кейс производного устойчивого состояния. Для каждой соответствующей подсистемы имеется одна таблица, в которой хранятся все кейсы устойчивого состояния, и одна таблица данных, в которой хранятся все кейсы производного устойчивого состояния. Для каждого запуска два алгоритма сохраняют таблицу данных соответствующей подсистемы и добавляют новые кейсы. При первом запуске алгоритмы оценивают все доступные архивные данные о добыче. Затем, алгоритмы будут запущены непрерывно для оценки новых реальных данных, доступных через источник данных, и уточнения новых кейсов «по ходу работы». Новые реальные данные могут быть дополнены путем добавления новых блоков наблюдения по сравнению с более старыми архивными данными. Оба алгоритма реализуются двумя этапами, где на первом этапе выполняется идентификация интервалов для данных, подлежащих сбору, а на втором этапе выполняется сбор релевантной информации из выбранных интервалов.

Имея источник данных о реальных и виртуальных измерениях из динамической подсистемы, кейс устойчивого состояния находят путем анализа интервала устойчивого состояния и извлечения релевантных статистических данных. Идентификация устойчивого состояния может требовать того, чтобы все контрольные точки

поддерживались устойчивыми, например, без изменений настроек контрольных точек. Несмотря на то, что контрольные точки поддерживались устойчивыми, параметры потока по-прежнему могут находиться в переходном состоянии. Кроме того, если имеются переменные, которые не охвачены состоянием контрольных точек, а одна из этих переменных изменяется и влияет на параметры потока, то будет считаться, что система не находится в устойчивом состоянии. Идентификация интервала устойчивого состояния может требовать, чтобы ожидаемое среднее значение релевантного(ых) параметра(ов) потока не претерпевало значительных изменений с течением времени в пределах этого интервала времени. В качестве альтернативы или дополнения, идентификация интервала устойчивого состояния может требовать, чтобы релевантный(е) параметр(ы) потока исходил(и) из слабо стационарного(ых) процесса(ов), так что моменты вплоть до второго порядка зависят только от временных отличий. Помимо прочего, последнее требование означает, что ожидаемое значение параметра(ов) потока не должно меняться в значительной степени с течением времени в пределах этого интервала.

Для заданного стохастического процесса $X = \{X_t\}$, его автоковариационная функция задана как $\gamma_X(s, t) = \text{cov}(X_s, X_t) = E[(X_s - \mu_s)(X_t - \mu_t)]$, где $\mu_t = E(X_t)$ является функцией среднего, для времени t и s . В случае белого шума, $\gamma(s, t) = 0$ для $s \neq t$.

Слабо устойчивым процесс называется, если:

а) ожидаемое значение μ_t является постоянным и не зависит от времени, и

б) автоковариационная функция $\gamma_X(s, t)$ зависит от s и t только через их разницу $|s - t|$.

В примере способа определения того, не изменился ли параметр потока в значительной степени с течением времени в пределах заданного интервала времени, может включать линейное или квадратичное сглаживание всех точек данных для параметра потока в пределах интервала. Линия линейного сглаживания будет иметь постоянный член и линейный член. Линия квадратичного сглаживания будет иметь постоянный член, линейный член и квадратичный член. Линейные и квадратичные члены и/или линии могут быть использованы для определения того, может ли параметр потока считаться устойчивым состоянием.

Это означает, что если у параметра потока имеются значения, которые колеблются вблизи некоторого ожидаемого значения в течение интервала, т.е. если общий интервал был разбит на, например, два интервала, то ожидаемые значения для каждого небольшого интервала будут приблизительно равны ожидаемому значению общего интервала. Если параметры потока имеют значения измерения с шумом, которые колеблются вблизи ожидаемого значения, которое изменяется в течение интервала, интервал не определяется

как устойчивое состояние. Если в выходных измерениях скважины и системы добычи не были обнаружены существенные/заметные вариации в течение интервала, он идентифицируется как интервал устойчивого состояния и сохраняется в таблицу данных кейса устойчивого интервала. Если специфические к скважине управляющие сигналы были устойчивыми в течение достаточно долгого времени, выходные сигналы, полученные в течение этого периода, подвергаются оценке. Затем, на точках выборки для всех релевантных сигналов запускаются методы статистического анализа. Типичная информация, сохраняемая в кейс устойчивого состояния, представляет собой общую информацию об интервалах, такую как время начала и длительность, а также статистическую информацию по каждому сигналу/измерению, такую как среднее арифметическое, медиана, дисперсия, постоянный член, линейный член, г-квадрат, количество точек выборки. Если в течение этого интервала было запущено испытание скважины в параллельной тестовой системе добычи, статистическая информация из относящихся к добыче выходных измерений для этой скважины также составляет часть информации, сохраняемой в кейс устойчивого состояния. Кейс добавляется в таблицу данных об устойчивом состоянии в подсистеме. Ниже описан пример со ссылкой на фиг. 3 и 4.

С учетом базы данных измерений из динамической подсистемы, кейс производного устойчивого состояния находят путем анализа интервалов, где были вызваны управляемые изменения управляющих настроек системы, и извлекают релевантную производную информацию. Кейс производного устойчивого состояния определяется для интервалов времени, где некоторые управляющие сигналы подсистемы колебались/менялись, а все остальные управляющие сигналы оставались устойчивыми. Информация сохраняется в кейс производного устойчивого состояния только если производная информация об устойчивом состоянии доступна, а абсолютная полезная информация об устойчивом состоянии - нет. Примером являются испытания колебаниями. В ходе таких испытаний, в один или более управляющих сигналов вводятся намеренные и временные изменения при регулярных частотах и фиксированных амплитудах, тогда как все другие управляющие сигналы поддерживаются устойчивыми. Информация об абсолютном устойчивом состоянии в отношении специфических к скважине темпов добычи не доступна в измерениях, однако частотный анализ может быть запущен на данных для сбора производной информации (т.е. градиентной информации) о специфических к скважине темпах добычи. Типичная информация, сохраняемая в кейс производного устойчивого состояния, представляет собой общую и производную информацию об интервале. Общая информация представляет собой время начала и

заданные значения всех управляющих сигналов. Производная информация подразумевает то, от каких управляющих сигналов к каким выходным измерениям имеются производные значения, и какие из них представлены со значениями неустойчивости. Кейс добавляется в таблицу данных о производном устойчивом состоянии в подсистеме.

5 Два алгоритма интеллектуального анализа данных представлены ниже. Оба алгоритма составлены для применения к архивным данным, однако они также могут быть запущены на реальных данных. Производное/градиентное извлечение задано только для экспериментов с колебаниями. Это обусловлено тем, что эксперименты с колебаниями являются единственной известной в этот момент ситуацией, которая обеспечивает
10 производную информацию о специфических к скважине измерениях, когда информация об абсолютном значении не доступна.

Алгоритм интеллектуального анализа данных: Извлечение устойчивого состояния:

15 Данный алгоритм включает два этапа. На первом этапе создаются интервалы, по которым должна быть собрана статистическая информация, на втором этапе выполняется сбор статистической информации.

Этап 1: Создание интервала

20 -----

Для поиска перечня интервалов, в которых должны быть собраны статистические данные, имеется два подхода. Первый заключается в разбиении промежутка времени на подинтервалы одинакового размера (Альт. 1). Длительность этих интервалов может составлять, например, от 1 до 24 часов, как правило, их длительность составляет от 2 до 6
25 часов. Второй (Альт. 2) заключается в том, чтобы сначала идентифицировать все поэтапные изменения, примененные к системе, и удалить области, в которых имеется высокая вероятность переходов.

Альт. 1: Разбивка на фиксированную длину

Определение времени начала, времени окончания и идеальной длины
30 подинтервала. На основе этой информации алгоритм вычисляет количество интервалов, а также длину каждого интервала.

Выход: Всем интервалам задано время начала, время окончания и длительность интервала.

Альт. 2: Разбивка при наличии перехода

Определение времени начала, времени окончания и идеальной длины подинтервала, минимальной длительности интервала, времени настройки, требуемого системе для стабилизации после этапа, времени на удаление в конце устойчивого интервала и настройки кусочно-постоянных сигналов. На основе этой информации алгоритм идентифицирует области, в которых имеется высокая вероятность переходов, и эти области удаляются из массива данных. Альт. 1 используется для разбивки оставшихся областей в массиве данных.

Выход: Всем интервалам, где все управляющие сигналы поддерживались устойчивыми во пределах всего интервала, задано время начала, время окончания и длительность интервала.

Этап 2: Сбор статистических данных

Для каждого интервала, найденного на этапе 1, находят желаемую информацию и статистические данные. Общей информацией об интервалах является время начала, время окончания и длительность. Кроме того, статистическая информация генерируется для каждого сигнала. Для одного такого сигнала получают статистическую информацию для заданного сигнала/измерений, такую как среднее арифметическое, медиана, дисперсия, постоянный член, линейный член, γ -квадрат, количество точек выборки. Если линейный член является достаточно малым (прибл. 0), т.е. линейное сглаживание приблизительно параллельно временной оси, то параметр потока не находится в переходе. В данном случае информация, найденная для интервала, добавляется в кейс, который сохраняется в таблице данных кейса устойчивого состояния в подходящей подсистеме.

Выход: Одна таблица с информацией об интервале и одна таблица для каждого сигнала со статистической информацией, связанной с каждым интервалом.

Алгоритм интеллектуального анализа данных: Производное/градиентное извлечение из экспериментов с колебаниями

Данный алгоритм включает два этапа. На первом этапе обнаруживаются/создаются интервалы, по которым должна быть собрана статистическая и производная информация, на втором этапе выполняется сбор производной и статистической информации.

Этап 1: Обнаружение интервала

На данном этапе выполняется оценка переменных управления (устьевых штуцеров и газлифтных штуцеров) для идентификации интервалов в данных, где были выполнены эксперименты с колебаниями.

5

Определение времени начала и окончания поиска. Определение минимального количества периодов и максимальной вариации амплитуды для переменной управления, подвергнутой возбуждению. Как правило, может быть необходимо минимум два периода. Максимальные амплитуды могут быть установлены, возможно, на 15% диапазона переменной управления (например, 15% отверстия штуцера), при этом типичные значения находятся в диапазоне 0,5-5%.

10

Кроме того, должны быть удовлетворены следующие эксперименты в отношении интервала для того, чтобы квалифицировать их в качестве эксперимента с возбуждением:

15

1. Каждая возбужденная переменная управления была
 - изменена по синусоидально-подобному паттерну посредством поэтапных изменений или колебаний,
 - возбуждена в течение минимального количества периодов,
 - возбуждена с амплитудой, которая варьируется не более чем на определенное максимальное значение,

20

2. Все возбужденные переменные управления возбуждены при разных частотах, однако с одинаковым временем начала и временем окончания.

3. Все другие переменные управления были сохранены устойчивыми во пределах интервала.

25

На основе информации и требований алгоритм идентифицирует интервалы, где были выполнены эксперименты с возбуждением.

Выход: Всем интервалам экспериментам с возбуждением задано время начала, время окончания и длительность.

30

Этап 2: Сбор производной информации

35

Для каждого интервала, найденного на этапе 1, выполняется сбор общей информации вместе с производной информацией. Частотный анализ, например, быстрое преобразование Фурье, запускается на данных каждого интервала для сбора производной

информации о специфических для скважины темпах добычи. Общая информация представляет собой время начала и заданные значения всех управляющих сигналов. Производная информация предоставляется в отношении управляющих сигналов и выходных измерений. Информация, предоставленная в отношении управляющих сигналов, указывает на то, в каком направлении предоставлены производные значения, т.е. в каком направлении управляющего сигнала. Учитывая данное производное направление, по каждому выходному измерению предоставляются результирующие производные значения. Производные для каждого выходного измерения предоставляются с неустойчивостью.

Выход: Одна таблица с информацией об интервале и одна таблица для каждого сигнала со статистической информацией, связанной с каждым интервалом.

Пример 1а: Генерирование таблицы данных кейса устойчивого состояния

Таблица данных кейса устойчивого состояния была сгенерирована для системы добычи, показанной на фиг. 2. Для данного конкретного примера, один месяц данных из базы данных реального времени используется для построения таблицы данных кейса с кейсами, которая содержит данные по одному выходному измерению, экспорту газа и двум управляющим сигналам: штуцерам скважин G1 и G5. На фиг. 3 показан используемый массив данных. Он представляет собой реальные данные о добыче за период 20.04.2014 - 20.05.2014. На верхнем графике показано измерение экспорта газа, а на нижнем графике показаны настройки штуцера у G1 и G5 в пределах этого периода, которые в этом примере называются скважинами 1 и 2 соответственно. Изменения штуцеров оставшихся скважин подсистемы в течение этого времени отсутствовали, что является причиной того, что в этом примере все эти скважины могут быть проигнорированы.

Данные слева от вертикальной линии 10 были использованы для сбора данных и генерирования таблицы данных устойчивого состояния посредством алгоритма интеллектуального анализа данных: извлечения кейса устойчивого состояния. Интервалы кейса устойчивого состояния найдены на этапе 1: Создание интервала алгоритма изображено на фиг. 4. Интервалами являются различные области 12, разделенные вертикальными линиями. Следует отметить, что там, где имеются изменения переменных управления, т.е. регулировка штуцеров для скважин 1 и 2, интервалы устойчивого состояния отсутствуют. Для каждого такого интервала на этапе 2: Сбор статистических данных алгоритма вычисляет статистическую информацию об измерении экспорта газа и

управляющих сигнала скважины 1 и скважины 2. Информация сохраняется в виде кейсов в таблице данных кейса устойчивого состояния. В таблице 1 представлена небольшая выдержка полученной в результате таблице данных кейса устойчивого состояния. Для кейса 1 представлена статистическая информация об измерении экспорта газа и управляющего сигнала скважины 1.

Таблица 1: Таблица данных кейса устойчивого состояния

Кейс	Общая информация			Статистическая информация								
	Начало	Окончание	Длительность		Количество точек выборки	Среднее арифметическое	Медиана	Дисперсия	МНК a0	МНК a1	МНК квадрат	Количество неприемлемых значений
1	15.06.10 18:53	15.06.11 00:53	6 ч	Измерение экспорта газа								
					30924	541570	541570	67,56	541570	0,01	0,0001	1
				Штуцер скважины G1								
					75	43,1	43,1	0	43,1	0	0	0

В таблице 2 показана структура типичной таблицы данных кейса производного устойчивого состояния, которая может быть сгенерирована для данных, подобных тем, что показаны на фиг. 3 и 4. Общая информация представляет собой время начала и заданные значения всех управляющих сигналов. Производная информация предоставляется в отношении управляющих сигналов и выходных измерений. Информация, предоставленная в отношении управляющих сигналов, указывает на то, в каком направлении предоставлены производные значения, т.е. в каком направлении управляющего сигнала. Учитывая данное производное направление, по каждому выходному измерению предоставляются результирующие производные значения. Производные для каждого выходного измерения предоставляются с неустойчивостью.

Таблица 2: Таблица данных кейса производного устойчивого состояния

Время для испытания	Заданная точка	Производные											
		От управляющих сигналов				К измерениям				Неустойчивость			
Начало	u^*	u_1	u_2	...	u_n	y_1	y_2	...	y_m	y_1	y_2	...	y_m
15.06.10 18:53	$(u_1, u_2, \dots, u_n)$	0	1	0	0	2,5	N / A	N / A	N / A	0,5	N / A	N / A	N / A
		1/корень(2)	1/корень(2)	0	0	1,1	3,1	0	0	0,4	0,6	0	0

Было определено два типа таблиц данных, таблицы данных устойчивого состояния и таблицы данных производного устойчивого состояния. Решение в отношении количества таблиц данных каждого типа принимается с помощью топологии системы добычи. Для каждой возможной подсистемы системы добычи может быть предусмотрена одна таблица данных устойчивого состояния и одна таблица данных производного устойчивого состояния. Все таблицы данных сохраняются в сжатой базе данных.

Таблица данных устойчивого состояния для подсистемы хранит кейсы устойчивого состояния для соответствующей подсистемы. Кейс устойчивого состояния определяется для интервалов времени, где управляющие сигналы подсистемы сохраняются фиксированными и все другие измерения подсистемы являются устойчивыми. Информация в отношении кейса сохраняется в одной строке в таблице данных.

Таблица данных производного устойчивого состояния для подсистемы хранит кейсы производного устойчивого состояния для соответствующей подсистемы. Кейс производного устойчивого состояния определяется для интервалов времени, где некоторые управляющие сигналы подсистемы колебались/менялись, а все остальные управляющие сигналы оставались устойчивыми. Информация сохраняется в кейс производного устойчивого состояния только если производная информация об устойчивом состоянии доступна, а абсолютная полезная информация об устойчивом состоянии - нет. Информация в отношении кейса сохраняется в одной строке в таблице данных.

Сжатая база данных служит в качестве основных данных для четырех прикладных программ на основе модели в данном примере. Также возможны и другие прикладные программы, как показано на фиг. 1. В этих прикладных программах используются данные из сжатой базы данных для построения локальных моделей «затраты-выпуск» с особым упором на производную информацию. Четырьмя прикладными программами на основе модели являются:

- Оптимизация добычи
- Генерация тестов
- Оценка параметра (СГН, СВ)
- Оценка расхода

Улучшение добычи является высокоуровневым видом прикладной программы. Могут стать возможными аппроксимации оценки расхода и/или СГН и СВ за счет улучшенной точности в информации с достоверными связями (и действующих штуцерных моделях).

Когда прикладная программа запущена, требуется некоторая информация: 1) описание задачи, т.е. используемой прикладной программы, релевантных частей системы добычи, релевантных управляющих сигналов, выходных измерений и 2) интересующей рабочей точки, для которой заданы 1. Сведения определяются пользователем через ГИП или через саму прикладную программу посредством планировщика/триггера. На основе этой информации, все данные релевантного кейса в пределах конкретной доверительной области вблизи рабочей точки, или на основе других критериев выбора, собираются из соответствующих таблиц данных в сжатой базе данных посредством алгоритма просмотра/сканирования СБД. Данные отправляются на алгоритм построения модели, который идентифицирует релевантные модели «затраты-выпуск», подлежащие построению с учетом данных (кейсы устойчивого состояния/массив выборки). Простые линейные или квадратичные модели «затраты-выпуск», являющиеся валидными в пределах доверительной области, затем строятся посредством регрессионных методов. Каждая из этих моделей может управляться только данными или же они могут быть дополнены физическими моделями первого порядка и законами сохранения (например, сохранения массы).

Получаемые в результате модели «затраты-выпуск» комбинируются с использованием структурной информации из описания задачи. Затем, полная модели используется в алгоритме для выдачи некоторого выхода, специфического для прикладной программы. Общие признаки, которые являются общими для всех прикладных программ, будут подробно описаны ниже в отношении прикладной

программы для оптимизации добычи и прикладной программы для генерирования тестов. Данное разъяснение сформулировано специально для этих прикладных программ, взятых совместно. Однако в принципе это применимо ко всем четырем прикладным программам и очень легко может быть перефразировано для применения ко всем.

5 Информация о топологии системы добычи, интересующей рабочей точки и цели, ограничениях и переменных оптимизации, берется в качестве входных данных для подхода. Когда прикладная программа для оптимизации добычи запущена, определяются некоторые сведения: 1) описание задачи, т.е. какие части системы подлежат оптимизации, а также цель, ограничения и переменные, а также 2) интересующая рабочая точка.
10 Сведения могут быть определены пользователем прикладной программы. На основе этой информации идентифицируются релевантные переменные и необходимые модели «затраты-выпуск».

 На основе описания задачи выполняется сбор всех релевантных данных в пределах конкретной доверительной области вблизи заданной рабочей точки из соответствующих
15 таблиц данных в сжатой базе данных. Простые линейные или квадратичные модели «затраты-выпуск», являющиеся валидными в пределах доверительной области, затем могут быть построены с использованием регрессионного метода. Управляемые данными модели могут быть дополнены первыми принципами (например, сохранением массы) для улучшенной способности прогнозирования. Каждая из этих моделей может управляться
20 только данными или же они могут быть дополнены физическими моделями первого порядка и законами сохранения (например, сохранения массы).

 Целевая функция и ограничения комбинируются с получаемыми в результате моделями «затраты-выпуск» в локальной модели оптимизации. Затем, данная модель может быть использована для оптимизации добычи в окрестностях вокруг текущего
25 рабочего пункта для обеспечения нового и улучшенного рабочего пункта. Затем запускается алгоритм оптимизации для получения предположения в отношении рабочего изменения, которое может улучшить добычу. Существует три важных отличия между данным подходом и общими подходами, известными из уровня техники. 1) В отличие от традиционных методов оптимизации, данный метод представляет собой подход по
30 оптимизации добычи, который сфокусирован на меньших, поэтапных улучшениях темпов добычи, а не на одном масштабном этапе в направлении оптимального решения. Это является основным отличием от традиционных подходов к оптимизации при оптимизации добычи нефти и делает его более стойким и приемлемым замыслом оптимизации добычи в режиме онлайн, чем традиционный подход к оптимизации. 2) Не менее важно то, что
35 для задачи оптимизации предпринимается попытка найти «устойчивое состояние» как

наилучшее возможное решение. Что означает, что для интервала времени решения (например, от 12 часов до 2 недель) условия резервуара могут считаться фиксированными, т.е. моделированными постоянным ИП, СГН и СВ для каждой скважины, а динамика системы трубопровода может быть не принята во внимание и считаться в устойчивом состоянии. Данные о добыче могут быть сжаты (примерно) на 99%-99,99% в агрегированные кейсы устойчивого состояния (выборки устойчивого состояния) в СБД. После этого, СБД содержит (агрегированную и сжатую) информацию в данных о добыче, которая является релевантной для задачи оптимизации добычи в устойчивом состоянии, на решение/оптимизацию которой направлена настоящая технология. 3) Вместо инициирования рабочего процесса оптимизации инженером (по добыче), система выполняет оптимизацию в фоновом режиме, а также представляет решение, когда потенциальная выгода от изменения системы в этой новой рабочей точке превышает некоторое пороговое значение, т.е. вместо активного принятия решения со стороны человека в отношении проведения оптимизации, это выполняется автоматически, а оптимизированное решение представляется только когда оно потенциально может обеспечить улучшенную добычу.

Запуск программного приложения оптимизации выполняется посредством двух разных каналов. Первым является триггер или планировщик. Триггер запускает программное приложение оптимизации вследствие новых данных, например, новых данных в сжатой базе данных, или новой текущей рабочей точки или в соответствии с некоторыми настройками времени, например, временем с момента последней оптимизации или некоторого типа планирования по времени. У триггера нет такого же понимания задачи, как у людей, которые фактически управляют системой добычи. Вот почему второй канал, являющийся ГИП, является важной опцией. В данном случае заинтересованный пользователь запускает программное приложение оптимизации, вероятно для небольшой вариации того, что уже было оптимизировано триггером на другой рабочей точке или для нее.

Для запуска программного приложения оптимизации для желаемой оптимизации, требуется два типа информации о данной конкретной оптимизации. 1) Информация о системе добычи (например, подсистемах и скважинах) и 2) информация о задаче оптимизации (например, целевой функции и ограничениях). Это обеспечивает возможность идентификации релевантных измерений и переменных принятия решения, а следовательно, идентификации существенных моделей «затраты-выпуск».

Наиболее общие и интуитивно-понятные опции оптимизации сохраняются в триггере. Опция оптимизации конкретизирует то, какие подсистемы и скважины подлежат

оптимизации и в отношении каких целевых функций и ограничений. В соответствии с новыми данными и времени, будет запущена конкретная опция оптимизации.

Заинтересованный пользователь может настроить оптимизацию путем вариации комбинаций подсистем и скважин, а также целевых функций и ограничений.

5 Пример 2

Инженеру необходимо оптимизировать добычу из стояка G и стояка O системы добычи, показанной на фиг. 2.

- Цель заключается в оптимизации общей добычи нефти, при этом соблюдая мощность переработки газа.

10 Необходимые переменные

- Добыча нефти и газа для стояка O
- Добыча нефти и газа для стояка G
- Настройки штуцера для всех скважин

Необходимые модели «затраты-выпуск»

- 15 • Добыча нефти и газа для стояка O с заданными изменениями для настроек штуцера для скважин в стояке O
- Добыча нефти и газа для стояка G с заданными изменениями для настроек штуцера для скважин в стояке G

Программное приложение оптимизации зависит от получения рабочей точки в качестве входных данных для обеспечения возможности выбора правильных данных для построения модели и для запуска оптимизации. Рабочая точка определяет центр области для выбора данных и построения модели, а также начальную точку для оптимизации. В большинстве случаев рабочая точка будет хранить информацию о текущих настройках подсистемы добычи. Однако в некоторых ситуациях ими могут быть некоторые другие настройки подсистемы добычи, а не текущие, т.е. виртуальная рабочая точка.

При каждом изменении настроек добычи может быть получена новая текущая рабочая точка. После стабилизации всех измерений находится необходимая информация о постоянной добыче посредством алгоритма 1. Для нахождения релевантной информации о других категориях данных, таких как данные, относящиеся к переходным событиям, могут быть использованы другие алгоритмы.

Может быть желательна виртуальная рабочая точка, если, например, инженер планирует в скором времени изменить настройки добычи и желает оптимизировать эти настройки перед тем, как будет выполнено изменение, или если алгоритм оптимизации, например, направлен на предложение перенаправления (что представляет собой масштабное изменение). В последнем случае может быть сложной или невозможной

достаточная экстраполяция с локальной моделью, построенной вблизи текущей рабочей точки. Таким образом, новые/другие локальные модели на основе устаревших данных, т.е. виртуальная рабочая точка, должны быть построены для того, какой вид (вероятно) примет система после выполнения перенаправления.

5 Простые модели идентифицируются и строятся из комбинации данных, извлеченных из сжатой базы данных кейсов. Алгоритм (2) выбора кейса выполняет поиск сжатой базы данных по всем релевантным кейсам, и из каждого кейса он копирует только релевантную информацию для заданного программного приложения.

10 В описании задачи задаются целевая функция, ограничения и переменные. Из этого ясно, для каких подсистем требуется информация и для каких выходных значений должны быть построены модели. Заданная рабочая точка и доверительная область являются основными факторами для определения того, какие кейсы являются релевантными. Например, для одной конкретной подсистемы выбираются все случаи, которые лежат в пределах доверительной области вблизи рабочей точки. Из каждого
15 кейса копируются данные для существенных выходных измерений и для входных переменных управления.

Доверительная область должна быть определена несколькими различными способами, основным моментом доверительной области является то, что кейсы, по которым извлекаются данные, походят на рабочую точку в некоторой конкретной
20 размерности, например, значения переменных управления или некоторые значения выходного измерения. Доверительная область может быть задана, например:

1. максимальным расстоянием между значениями штуцера в кейсе и рабочей точке в целом по каждой скважине
2. максимальной разницей общей выработки стояка в кейсе и рабочей
25 точке
3. максимальной разницей давления стояка в кейсе и рабочей точке
4. и т.д.

Алгоритм просмотра/сканирования сжатой базы данных: Выбор кейса.

Данный алгоритм запускается для каждой связанной подсистемы, указанной в описании
30 задачи. На основе CDT для подсистемы алгоритм генерирует временную таблицу данных с релевантной информацией о кейсе с этапа 1 и 2.

Выполнение этапа 1 и 2 для каждой существенной/релевантной подсистемы.

35 Этап 1: Идентификация кейсов, которые находятся в пределах области выбора

Каждый случай в CDT подсистемы оценивается с использованием области выбора в качестве основы для сравнения. Если кейс находится в пределах границ области выбора, кейс маркируется/запоминается алгоритмом как важный/релевантный.

5

Этап 2: Генерирование временной упрощенной таблицы данных кейса

Создается временная упрощенная таблица данных кейса. В ней сохраняется информация о всех кейсах, маркированных/запомненных как релевантные/важные. Информация
10 сохраняется для всех входных сигналов, но только для релевантных/существенных выходных измерений, указанных в описании задачи.

Выход: Одна временная упрощенная таблица данных кейса для каждой участвующей подсистемы.

15

Построение моделей «затраты-выпуск» посредством алгоритма регрессии

Для оптимизации системы добычи требуются модели, которые описывают поведение системы. Ниже описаны свойства таких моделей системы и то, каким образом они строятся. В описании задачи оптимизации представлена информация о целевой
20 функции, ограничениях и переменных, рабочая точка находится и все релевантные данные извлекаются/копируются из СБД посредством алгоритма (2) выбора кейса. Следующим этапом в программном приложении оптимизации является использование этой информации для построения моделей «затраты-выпуск», необходимых для запуска желаемой оптимизации.

25

Модель системы или модель «затраты-выпуск» выполняет маппинг некоторого выходного измерения подсистемы со всеми или некоторыми входными сигналами подсистемы. Например, модель «затраты-выпуск» оценивает общую добычу нефти из нефтяного стояка подсистемы в зависимости от настроек штуцера для всех скважин
30 подсистемы. Все данные, необходимые для построения моделей, передаются из алгоритма (2) выбора кейса. Алгоритм построения модели распознает то, какие модели должны быть построены на основе этих данных. Общее количество моделей «затраты-выпуск», которые должны быть построены, определяется количеством подсистем и количеством выходных измерений по каждой подсистеме, информация по которой содержится в данных.

Типичная модель «затраты-выпуск» задается уравнением (1) ниже. $q_o(\mathbf{u})$ будет обозначать линейную модель, например, для общей добычи нефти с учетом всех управляющих сигналов u_i для общего количества n управляющих сигналов. Модели строятся посредством регрессионных методов. Структура модели для одного конкретного измерения зависит от количества и геометрии линейных независимых кейсов/выборок, предоставленных алгоритмом выбора кейса для этого конкретного измерения/выхода. Результирующая модель будет представлять собой линейную модель, построенную для всех или некоторых управляющих сигналов. Модель может быть исключительно линейной или она может иметь некоторую кривизну. Если имеется кривизна, нелинейные члены являются квадратичными членами или членами физики первого порядка, а в некоторых ситуациях они являются и такими, и такими. Когда структура модели была определена, параметры a_{oi} для всех n управляющих сигналов и параметр b_o должны быть найдены посредством регрессии на t ряде кейсов, при этом каждый кейс обеспечивает измерение общей добычи нефти $q_o^*(\mathbf{u}^{*i})$ для заданной конфигурации i штуцеров $\mathbf{u}^{*i}$. С учетом всех доступных кейсов, может быть сформулирована линейная модель уравнений и посредством регрессии могут быть найдены все параметры a_i для всех n управляющих сигналов и b в модели (1).

$$q_o(\mathbf{u}) = a_{o1}u_1 + a_{o2}u_2 + \dots + a_{on}u_n + b_o \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} u_1^0 & \dots & u_n^0 & 1 \\ u_1^1 & \dots & u_n^1 & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ u_1^t & \dots & u_n^t & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{o1} \\ a_{o2} \\ \vdots \\ a_{on} \\ b \end{bmatrix} \text{OLS} = \begin{bmatrix} q_o(\mathbf{u}^0) \\ q_o(\mathbf{u}^1) \\ \vdots \\ q_o(\mathbf{u}^n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Параметры модели из (1) находятся посредством регрессии, например, с помощью метода наименьших квадратов (МНК), для системы уравнений (2). МНК является одним из многочисленных возможных регрессионных методов для получения параметров для моделей «затраты-выпуск» с учетом данных в СБД.

Другая возможность заключается в построении и получении параметров для дифференциальной модели «затраты-выпуск» без постоянного члена, например, модели, представленной в (3). Сдвиг координат $\mathbf{u} - \mathbf{u}^*$ делается здесь таким образом, что текущая рабочая точка $\mathbf{u}^*$ становится источником происхождения, а постоянный член устраняется. Результирующая система уравнений становится такой, как (4). Опция сглаживания модели, адаптированная к такой системе уравнений, представляет собой, например, регрессию через происхождение, или вкратце РЧП. РЧП также относится к регрессии, полученной методами наименьших квадратов.

$$q_o(\mathbf{u}) - q_o(\mathbf{u}^*) = a_{o1}(u_1 - u_1^*) + a_{o2}(u_2 - u_2^*) + \dots + a_{on}(u_n - u_n^*) \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} (u_1^0 - u_1^*) & \dots & (u_n^0 - u_n^*) \\ (u_1^1 - u_1^*) & \dots & (u_n^1 - u_n^*) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (u_1^t - u_1^*) & \dots & (u_n^t - u_n^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{o1} \\ a_{o2} \\ \vdots \\ a_{on} \end{bmatrix} \text{RTO} = \begin{bmatrix} q_o(\mathbf{u}^0 - \mathbf{u}^*) \\ q_o(\mathbf{u}^1 - \mathbf{u}^*) \\ \vdots \\ q_o(\mathbf{u}^n - \mathbf{u}^*) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Линейные модели «затраты-выпуск» не захватывают потенциальную информацию о кривизне функции или измерения, которые поддаются аппроксимации ими. Квадратичная модель может считаться наиболее простой нелинейной моделью, которая будет захватывать некоторую кривизну. Для получения сверхопределенного набора уравнений, полностью квадратичная модель измерения с заданным набором сигналов будет требовать более линейных независимых кейсов, чем соответствующая линейная модель. Другая возможность заключается в использовании линейных моделей с некоторой кривизной. Линейные модели с кривизной в некоторых размерностях требуют меньшего количества кейсов, чем требуется для полностью квадратичной модели, однако больше кейсов, чем тех, что определяют линейные модели. Как правило, будет желательно построить точные линейные модели, а затем усилить их информацией о кривизне, если данные предполагают, что модель должна быть нелинейной в отношении некоторых размерностей. Модели минимальной нормы Фробениуса представляют собой линейные модели с кривизной, стратегия построения основана на нахождении линейно независимых кейсов для линейной модели и усилении этой модели с кривизной путем включения большего количества кейсов. В методе делается предположение о том, что релевантным является построение моделей, для которых норма Гессе является умеренной. Это обусловлено тем, что граница ошибки зависит от нормы Гессе модели. Построение модели минимальной нормы Фробениуса включает минимизацию нормы Фробениуса Гессе модели.

Далее будет разъяснен подход к тому, каким образом можно получить наилучшую возможную модель для одного конкретного измерения. Вкратце, в подходе выполняется проверка того, возможно ли построить линейную модель для одного конкретного выходного измерения по всем входным управляющим сигналам. Если это невозможно, входные управляющие сигналы со скудными данными удаляются и делается попытка построить линейную модель с учетом оставшихся входных управляющих сигналов. Если построение линейной модели некоторого типа представляется возможным, то в подходе выполняется проверка того, достаточно ли данных и имеет ли смысл добавлять в модель некоторую кривизну, посредством некоторых квадратичных членов или некоторых членов, основанных на физике первого порядка.

5 Для каждого выходного измерения предпринимается попытка построить модель «затраты-выпуск» посредством этапов 1 и 2, представленных ниже.

Первоначальная информация о выходном измерении.

10 Цель: Построение наилучших возможных моделей для выходного измерения, например, общей добычи нефти из стока G подсистемы.

Данные: Все данные о кейсах из СБД, релевантные для этого измерения, обеспечиваются алгоритмом выбора кейса. Каждый кейс хранит информацию о соответствующем измерении с мерами неустойчивости и соответствующими значениями входных управляющих сигналов.

15 Этап 1: Структура линейной модели

Часть 1: Проверка того, может ли быть построена линейная модель для всех входных управляющих сигналов посредством регрессии.

20 С учетом доступных данных и инструментов регрессии, в подходе выполняется проверка того, возможно ли оценить линейную взаимосвязь между конкретным выходным измерением и всеми входными управляющими сигналами. Система уравнений должна быть явным образом сверхопределена таким образом, чтобы все параметры в линейной модели могли быть найдены посредством регрессии с некоторой степенью неустойчивости. Если это не так вследствие скудных или недостаточных данных в одном
25 или нескольких размерностях, из процесса построения модели должны быть удалены некоторые входные управляющие сигналы.

Часть 2: Удаление управляющих сигналов

30 Если в одной или нескольких размерностях отсутствует достаточное количество данных, управляющие сигналы со слишком слабым возбуждением должны быть удалены, таким образом, для выходного измерения может быть построена упрощенная линейная модель с учетом поднабора входных переменных управления. Когда управляющие
 сигналы удалены, это также может уменьшить доступные кейсы в других размерностях. (Например, удаленные входные управляющие сигналы, предпочтительно, должны иметь
 одинаковое значение во всех оставшихся кейсах). Из соображений устойчивости, система
35 уравнений регрессии должна быть явным образом сверхопределена таким образом, чтобы

все параметры в упрощенной линейной модели могли быть найдены посредством регрессии и с некоторой степенью неустойчивости.

Выход:

5 Наилучшая возможная линейная модель «затраты-выпуск».

Этап 2: Проверка того, имеет ли смысл добавление кривизны.

Если доступно достаточное количество кейсов и кривизна уже присутствует в данных с учетом переменных управления, которые содержатся в линейной модели, кривизна может быть добавлена. Кривизна может быть представлена квадратичными членами или членами физики 1-го порядка в одной или нескольких размерностях в зависимости от геометрии в данных. Система уравнений в регрессии должна быть явным образом сверхопределена для результирующей модели с кривизной таким образом, чтобы все параметры в упрощенной линейной модели могли быть найдены посредством регрессии с некоторой степенью неустойчивости. Если это невозможно, линейная модель остается без изменений.

Выход:

Наилучшая возможная линейная модель «затраты-выпуск» для конкретного выходного измерения.

Модели «затраты-выпуск», найденные посредством алгоритма построения модели, служат в качестве входных данных для локальной модели оптимизации. Если переменные управления удалены из некоторых или всех моделей «затраты-выпуск», эти управляющие сигналы должны быть постоянными или исключены из локальной модели оптимизации.

Если качество данных является скудным, модели «затраты-выпуск» скудного качества (или в которых оно отсутствует) служат в качестве входных данных для локальной модели оптимизации. В таких случаях может быть неудобно или невозможно выполнение оптимизации добычи. Затем удобно знать, что локальная модель оптимизации также служит в качестве входных данных для алгоритма генерации тестов. Исходя из скудного качества данных, используемых для построения модели, в этом алгоритме предложены поэтапные испытания или испытания с колебаниями, которые должны делать вклад в виде большего количества и улучшенной информации о конкретных управляющих сигналах. Такие испытания должны дать данные более высокого качества и, следовательно, модели «затраты-выпуск» высокого качества.

Пример 1b: Пример алгоритма построения моделей «затраты-выпуск» посредством регрессии

Данный пример является продолжением примера 1a, представленного выше, которое касается генерации таблицы данных устойчивого состояния. И снова, реальные
5 данные о добыче для системы добычи, показанной на фиг. 2, использованы за период 20.04.2014 – 20.05.2014. Как и ранее, на верхнем графике показано измерение экспорта газа, а на нижнем графике показаны настройки штуцера скважины 1 и 2 в пределах этого периода, при этом в пределах этого промежутка времени какие-либо изменения штуцеров оставшихся скважин отсутствовали. Вертикальная линия 10 на фиг. 3 была использована в
10 качестве конечной точки для обработки данных из примера 1a. Теперь это рассматривается в качестве линии разреза между периодом для сбора данных и генерации таблицы данных устойчивого состояния и периодом, который требуется спрогнозировать. Данные, находящиеся слева от этой линии (20.04.2014-16.05.2014), были использованы для генерации таблицы данных устойчивого состояния, см. пример 1a, которая в данном
15 примере была использована для построения линейной модели для прогнозирования того, что происходит справа от линии (16.05.2014-20.05.2014). Таким образом, имеются реальные данные для сравнения с прогнозом с целью проверки точности прогноза.

Линейная модель строится для прогнозирования эффекта на добычу газа со стороны измерений штуцеров скважины G1 и скважины G2. Рабочая точка вычисляется из
20 интервала устойчивого состояния с временем окончания на срезе, как обозначено вертикальной линией. Для штуцеров скважины G1 и скважины G2 определяется доверительная область. Это может быть выполнено так, как описано более подробно ниже. Доверительная область обеспечивает то, что все кейсы, выбранные из таблицы данных устойчивого состояния алгоритмом выбора, имеют значения штуцера от 35 до
25 45% как для скважины 1, так и для скважины 2. Все кейсы, найденные алгоритмом выбора, предоставляются в алгоритм построения модели, который строит линейную модель посредством методов регрессии. Результирующая линейная модель изображена на фиг. 5 и 6. На фиг. 5 линейная модель нанесена на график в двух размерностях, при этом черными точками на фигуре представлены кейсы устойчивого состояния, для которых
30 была построена модель. Таким образом, линейная модель является плоскостью, которая сглажена по всем точкам данных из кейсов устойчивого состояния. На фиг. 6 показаны меры неустойчивости линейной модели. Первой линией 14 представлена линейная модель для изменений штуцера скважины 1, а второй линией 16 представлен эффект на общий экспорт газа для изменений штуцера скважины 2. Штриховкой вокруг линий обозначен
35 доверительный интервал 90% из прогнозов линейной модели. Следует понимать, что чем

больше перемещение от точки пересечения, которая является центром линейной модели, тем менее точным становится прогноз. Однако для незначительных изменений, близких к значениям устойчивого состояния, используемых для генерирования линейной модели, должна быть высокая степень точности.

5 На фиг. 7 и 8 показаны результаты использования линейной модели для прогнозирования изменения в добыче газа, когда регулируются штуцеры двух скважин. Модель была настроена для наличия изменений в штуцерных клапанах, которые эквивалентны фактическим изменениям в зарегистрированных данных, для испытания точности прогнозирования. Как видно из сравнения измеренных данных 18 и прогноза 20,
10 когда эффект шума в измеренных данных удален, прогноз 20 четко следует фактическим данным. Таким образом, было обнаружено, что линейная модель является точной по меньшей мере в отношении незначительных изменений. Поскольку база данных для линейной модели может непрерывно обновляться после любых изменений, она всегда может обеспечивать точный прогноз для незначительных изменений, которые будут
15 выполняться в будущем.

Теперь может быть построена задача локальной оптимизации. В описании задачи приводится информация о цели, ограничениях и переменных. Алгоритм регрессии выдает модели «затраты-выпуск» с неустойчивостью параметра, которые оценивают эффект изменений, выполненных в системе добычи.

20 Пример задачи оптимизации представлен в наиболее простой форме для системы добычи, показанной на фиг. 2. Задача оптимизации становится простым MILP (частично-целочисленное линейное программирование). Например, общее количество нефти, добытое из стояка О и стояка G, подлежит максимизации, при этом удовлетворяя максимальной мощности переработки газа на поверхности. Имеется верхний предел в
25 отношении допустимого количества изменений управляющих настроек системы, а сумма всех изменений управляющих сигналов должна находиться в пределах некоторой (доверительной) области. Имеется две подсистемы; Стояк О и G в наборе подсистем S, при этом каждая подсистема имеет набор скважин I^s . Набор фаз P содержит нефтяную фазу с индексом о и газ с индексом g. Темп добычи фазы p для системы s представлен
30 переменной q_{ps} , а управляющий сигнал для скважины i представлен переменной u_i .

Целью является увеличение добычи нефти из обоих стояков, $\Delta q_{o1} + \Delta q_{o2}$, в максимально возможной степени с учетом целевой функции, как определено в уравнении (5). Дельта перед переменными указывает на оптимизацию изменения от текущего значения.

$$\max \Delta q_{o1} + \Delta q_{o2} \quad (5)$$

Модели, как представлено в уравнении (6), представляют локальные модели «затраты-выпуск» системы для общего количества нефти и газа, добытых из каждой подсистемы. Модели являются линейными моделями изменений, представляющими изменение добычи, Δq_{ps} , для системы s для фазы p , дающей изменения в соответствующих управляющих сигналах, Δu_s , для системы s . Структура моделей и параметры $\mathbf{a}_{ps}$ с мерой неустойчивости представляются алгоритмом построения модели, т.е. регрессией, как было разъяснено в предыдущем разделе. Модели также представляют меры неустойчивости с учетом неточностей в параметрах $\mathbf{a}_{ps}$.

$$\Delta q_{ps} = \mathbf{a}_{ps} \Delta \mathbf{u}_s \quad s \in S, p \in P \quad (6)$$

На поверхности имеется общая мощность переработки газа, C_p . Уравнение (7) обеспечивает то, чтобы эта мощность не была превышена. Следует отметить, что правые стороны неравенств представляют собой постоянные члены, т.е. текущее провисание до предела системы.

$$\sum_{s \in S} \Delta q_{ps} \leq C_p - \sum_{s \in S} q_{ps} \quad p \in \{g\} \quad (7)$$

Может быть желательным ограничение количества изменений, которые предлагаются оптимизацией. Ограничения, определенные в виде уравнений (8)-(10), и бинарная переменная x_i обеспечивают то, чтобы изменения могли быть сделаны только в $\bar{X}$ количестве переменных управления. $\bar{\Delta U}_i$ представляет максимально возможное изменений управляющего сигнала Δu_i для скважины i .

$$\Delta u_i \leq \bar{\Delta U}_i x_i \quad i \in I^s \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I^s} x_i \leq \bar{X} \quad (9)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad i \in I^s \quad (10)$$

Кроме того, обеспечивается возможность изменений только заданного размера, ограниченного доверительной областью, заданной максимальным изменением значений переменных управления $\bar{T}$. Данное требование обеспечивается неравенством в уравнении (11).

$$\sum_{i \in I^s} \Delta u_i \leq \bar{T} \quad (11)$$

На основе локальной модели оптимизации могут быть запущены основанные на производной алгоритмы для поиска предлагаемых изменений переменных управления, что приведет к улучшению добычи. Предусмотрено одно или несколько предложений.

Предложения могут быть предоставлены в различных форматах; здесь будет описано две опции или альтернативы. Альтернатива 1) представляет собой перечень предлагаемых изменений управляющего сигнала. Перечень предоставляется вместе с общим количеством ожидаемых изменений темпов добычи с мерами неустойчивости. В Альтернативе 2) также предусмотрен перечень, однако данный перечень является намного более расширенным. За счет того, что меры неустойчивости доступны по всем переменным, для предоставления ранжированного перечня предлагаемых изменений управляющих сигналов могут быть использованы статистические методы. Изменения должны быть реализованы в точном порядке, указанном в этом перечне. Каждое изменение обеспечивается ожидаемым изменением общих темпов добычи с мерами неустойчивости. Кроме того, предоставляются общие ожидаемые изменения в общих темпах добычи с мерами неустойчивости. Все изменения должны быть реализованы для обеспечения увеличенной добычи нефти. Альтернатива 2 обеспечивает то, чтобы скважины, большинство информации по которым отрегулировано/изменено в правильном порядке по сравнению с наиболее неустойчивыми скважинами, достигали соответствующих мощностей переработки.

Предложения выдаются инженеру/оператору по добыче, который принимает решение в отношении того, должно ли быть реализовано одно из предложений в реальной системе. Или же он может использовать предложение вместе со своей интуицией для реализации отрегулированной стратегии на основе предложения.

Локальная модель системы уравнений (6) строится из задачи регрессии в уравнении (2). Простота использования алгоритма оптимизации в большой степени зависит от качества (или его отсутствия) локальной модели «затраты-выпуск» (6). Для количественной оценки меры качества уравнения (6) и для определения того, возможно ли построить модель, может быть использовано несколько подходов. Это оценивается путем изучения свойств кейсов/набора выборки устойчивого состояния, выбранных посредством алгоритма просмотра/сканирования СБД. В частности, следует отметить то, каким образом u_n^{*t} в уравнении (2) перекрывает область, в которой представляет интерес регрессия, и где предполагается использование модели «затраты-выпуск». Если модель является линейной, хорошее перекрытие представлено аффинной независимостью выбранных кейсов/точек выборки. Если уравнение (6) является нелинейной моделью,

метод установления равновесия может быть более развернутым. Это может быть основано на известных методах, связанных с определением равновесия.

Алгоритмом испытания будут предложены эксперименты/изменения добычи, которые создадут новые кейсы устойчивого состояния в СБД. Цель будет заключаться в оптимизации равновесия/аффинной независимости u_n^{*t} в уравнении (2) (или, например, полиномиального пространства для нелинейной полиномиальной модели), так что после эксперимента может быть создана улучшенная модель в виде уравнения (6), потенциально обеспечивая возможность того, чтобы алгоритм оптимизации предложил стратегии улучшенной добычи.

Сжатая база данных служит в качестве основных данных для четырех прикладных программ на основе модели. Оценка параметров является другой такой прикладной программой. Наиболее интересующие параметры представляют собой специфические для скважины значения СГН и СВ. Специфические для скважины значения СГН и СВ для подсистемы могут быть найдены посредством моделей «затраты-выпуск» для общего потока нефти, газа и воды из подсистемы с учетом всех (или нескольких) управляющих сигналов этой подсистемы. Эти модели могут быть построены посредством подхода, описанного выше, и модели будут подобны модели «затраты-выпуск», заданной уравнением (1).

Таким образом, для программного приложения оценки параметров применяется следующая процедура, как описано выше, причем это же применимо ко всем программным приложениям на основе модели. Когда оценка параметров запущена, требуется некоторая информация: 1) описание задачи, т.е. релевантных частей системы добычи, релевантных управляющих сигналов, выходных измерений и 2) интересующей рабочей точки, как разъяснено выше. Сведения определяются пользователем через ГИП или через саму прикладную программу посредством планировщика/триггера. На основе этой информации, все данные релевантного кейса в пределах конкретной доверительной области вблизи рабочей точки, собираются из соответствующих таблиц данных в сжатой базе данных посредством алгоритма сбора/сканирования СБД, описанного выше. Данные отправляются на алгоритм построения модели, описанный выше, который идентифицирует релевантные модели «затраты-выпуск», подлежащие построению с учетом данных.

Простые локальные линейные модели «затраты-выпуск» для программного приложения оценки параметров, таким образом, представляют собой модели «затраты-выпуск» для общего потока нефти, газа и воды из подсистемы с учетом всех (или

нескольких) управляющих сигналов этой подсистемы. Посредством этих моделей могут быть найдены специфические для скважины крайние значения СГН и СВ.

Модели, определенные уравнениями (12)-(14), являются примерами таких моделей. $q_p(\mathbf{u})$ обозначают линейные модели для потока фаз p , (нефть, o , газ, g и вода, w) из подсистемы с учетом управляющих сигналов u_i для всех скважин i подсистемы, т.е. общего количества n управляющих сигналов. Каждый кейс представляет измерение потока $q_p^*(\mathbf{u}^{*i})$ фазы p для заданной конфигурации i штуцеров $\mathbf{u}^{*i}$. Каждая модель, по одной для каждой фазы p , находится отдельно посредством регрессии в отношении t ряда кейсов, затем находятся параметры a_{pi} для всех n управляющих сигналов и параметр b_p для соответствующей фазы p .

$$q_o(\mathbf{u}) = a_{o1}u_1 + a_{o2}u_2 + \dots + a_{on}u_n + b_o \quad (12)$$

$$q_g(\mathbf{u}) = a_{g1}u_1 + a_{g2}u_2 + \dots + a_{gn}u_n + b_g \quad (13)$$

$$q_w(\mathbf{u}) = a_{w1}u_1 + a_{w2}u_2 + \dots + a_{wn}u_n + b_w \quad (14)$$

Крайние значения СГН и СВ для скважины i , обозначенные gor_i и wc_i соответственно, затем могут быть вычислены посредством связанных параметров a_{pi} с учетом фаз p через уравнения (19) и (20).

$$gor_i = \frac{a_{gi}}{a_{oi}} \quad i \in 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

$$wc_i = \frac{a_{wi}}{(a_{oi} + a_{wi})} \quad i \in 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Сжатая база данных служит в качестве основных данных для четырех прикладных программ на основе модели. Оценка темпа является одной такой прикладной программой.

Точность информации, связанной со скважиной, в сжатой базе данных постоянно улучшается посредством испытаний с колебаниями и поэтапными испытаниями, предлагаемыми технологией, описанной в настоящем документе. Это обеспечивает программные приложения на основе модели, которые в противном случае были бы громоздкими или подвержены большому количеству ошибок. Таким образом, за счет улучшенной точности информации, связанной со скважиной (и обновленных штуцерных моделей), могут быть возможными специфические для скважины оценки темпа.

Может быть задано краткое описание способа. Описание задачи и рабочей точки предоставляется через ГИП или триггер. С учетом данной информации, в сжатой базе данных выполняется поиск релевантной информации. Модифицированная версия алгоритма построения модели: При построении моделей «затраты-выпуск» посредством

регрессии используются данные для построения специфических для скважины моделей, которые оценивают темпы добычи по каждой скважине.

Модели могут быть построены для всех релевантных выходных измерений. Линейная модель, разработанная в данной работе, представляет собой линеаризацию
 5 штуцера одного измерения вблизи текущей рабочей точки, что задано уравнениями (17)-(20).

$$m = f(u, p_u, p_d, T_u, T_d, \text{СГН}, \text{СВ}, q_{GL}) \quad (17)$$

$$\mathbf{x} = [u, p_u, p_d, T_u, T_d, \text{СГН}, \text{СВ}, q_{GL}]^T \quad (18)$$

$$m \approx f(\mathbf{x}^*) + \nabla f|(\mathbf{x} - \mathbf{x}^*) \quad (19)$$

$$m \approx \mathbf{a}\mathbf{x} + b \quad (20)$$

Измерение m , следовательно, модель измерения может зависеть от нескольких переменных, таких как отверстие штуцера и газлифт (u, q_{GL}), верхние и нижние значения давления и температуры штуцера (p_u, p_d, T_u, T_d), СГН и СВ. Переменные со слабой
 10 зависимостью, такие как СГН, могут быть объединены с постоянными. Переменные с линейной зависимостью могут быть обнаружены и объединены с использованием, например, анализа главных компонент. Затем, остается одна с $\mathbf{x}$ -вектором с полезными переменными, возможно/предпочтительно только с переменными управлениями, т.е. переменными штуцера и газлифта. Дальнейший текст настоящего описания основан на
 15 этом упрощении. В представленных моделях $\mathbf{x}$ содержит только переменные управления для положения штуцера, т.е. по одной переменной управления для каждой скважины.

Здесь представлено два типа линейных моделей. Уравнения (21) представляют модель типа 1. Модель типа 1 представляет собой модель для специфического для скважины выходного сигнала с учетом значения всех переменных управления сети
 20 добычи. Будет предусмотрена одна такая модель для каждой скважины, например, одна такая модель может представлять собой количество нефти, добытой из скважины j , с учетом настроек переменной управления в сети добычи. Уравнения (23) представляют модель типа 2. Она представляет собой модель для измерения сети с учетом переменных управления сети добычи. Такая модель может представлять общее количество нефти,
 25 добытой из сети в виде скважины, с учетом настроек всех переменных управления. Уравнение (22) представляет закон сохранения массы и является валидным только если типы модели представляют темпы добычи. Векторы и матрицы определены в уравнениях (22)-(27), J представляет собой набор всех скважин j .

$$m_j^W = \mathbf{a}_j^T \mathbf{x} + b_j \quad j \in J \quad (21)$$

$$m^N = \sum_{j \in J} m_j^W \quad (22)$$

$$m^N = \sum_{j \in J} (\mathbf{a}_j^T \mathbf{x} + b_j) = \mathbf{A} \mathbf{x} + b \quad (23)$$

$$\mathbf{a}_j^T = [a_1, \dots, a_j] \quad (24)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1^T \\ \vdots \\ \mathbf{a}_j^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{j1} & \dots & a_{jj} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\mathbf{x} = [u_1, \dots, u_j]^T \quad (26)$$

$$b = \sum_{j \in J} b_j \quad (27)$$

Если два типа модели представляют темпы добычи, применяется уравнение (22) и модели в (21) и (23) являются зависимыми. Те же параметры модели содержатся в обеих моделях. Затем по всем параметрам модели в матрице $\mathbf{A}$ и векторе $\mathbf{b}$ одновременно принимается решение для всех моделей путем интерполяции или регрессии/метода наименьших квадратов. В противном случае, модели являются независимыми, а параметры модели могут быть найдены для каждой модели независимо посредством интерполяции или регрессии.

Применяются данные из устойчивого состояния и производных кейсов, сохраненные в сжатой базе данных. Производные кейсы, полученные из испытаний с колебаниями, как правило, содержат одно или более значений наклона a_{ji} .

Количество кейсов с информацией о сигнале варьируется в зависимости от измерения. Информация об общих темпах добычи, с некоторыми исключениями, всегда является частью кейса. Таким образом, как правило, для построения модели, например, для добычи нефти, доступно достаточное количество независимых кейсов. Однако темпы добычи нефти из некоторой скважины могут быть найдены только в некоторых моментах времени и только несколько кейсов доступны с информацией об этих измерениях. Таким образом, совместный поиск параметров модели для этих моделей может составить проблему, когда о каждой скважине доступно малое количество информации.

Здесь представлена альтернативная линейная модель. В данной модели учитывается время, настройки направления и включения/выключения. В уравнениях (28)-(32) представлены результирующие модели.

$$m_j^W = \mathbf{a}_j^T \mathbf{x} + b_j + c_j t + \mathbf{d}_j^T \mathbf{e}(\mathbf{x}) \quad j \in J \quad (28)$$

$$m^N = \sum_{j \in J} m_j^W = \mathbf{A} \mathbf{x} + b + ct + \mathbf{D} \mathbf{e}(\mathbf{x}) \quad (29)$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_1^T \\ \vdots \\ \mathbf{d}_j^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1J} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{j1} & \dots & d_{jJ} \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$c = \sum_{j \in J} c_j \quad (31)$$

$$e(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{hvis } x_i = 0 \\ 0 & \text{ellers} \end{cases} \quad (32)$$

Возможные расширения в отношении построения модели:

Построение модели

- Оценки и улучшения модели
- Алгоритмы улучшения модели
- Вычисление равновесия Свободные от производной методы должны

гарантировать некоторую форму управления геометрией наборов выборки, где функция подвергается оценке. Примером меры геометрии является Λ — постоянная равновесия, которая должна поддерживаться умеренно малой и ограниченной сверху при построении моделей интерполяции.

Задача улучшения добычи:

- Перечень с ранжированными предложенными уточнениями
- Включение ограничения на основе клинового метода: Клиновой

метод следует согласно подходу с попытками генерирования точек, которые одновременно обеспечивают достаточное повышение функции модели/цели, а также удовлетворяет условию равновесия Λ —. На каждой итерации задача оптимизации на этапе вычисления дополняется дополнительным ограничением, которое не позволяет новой точке лежать вблизи некоторой магистрали.

- Управление доверительной областью. Высокотехнологичный способ модификации радиуса доверительной области

Пример 3 - Классификация сигнала давления

Для классификации выборок давления как стабильные или переходные, сперва должен быть создан массив данных, подходящих для машинного обучения. По измерениям делается повторная выборка до единообразной частоты, например, одна

выборка каждую 1 минуту. Используется размер окна, составляющий 61, с учетом 30 выборок контекста на каждой стороне срединной выборки.

Затем классифицируется каждая точка данных. На фиг. 9 это изображено для одного окна. Выборки, обозначенные синим цветом, маркированы стабильными, а
5 выборки, обозначенные красным цветом, маркированы как переходные. Задача классификаторов заключается в определении этих маркировок. Зеленым кругом обозначена срединная выборка.

Затем выполняется классификация/получение динамики месторождения из множества сигналов (и классифицируется их поведение сигнала). Индивидуальные
10 классификации/маркировки вместе с данными о сигнале внутри контекстных окон комбинируются для идентификации того, какая динамика месторождения активна в рассматриваемый момент времени. И при необходимости, с какой точностью или неточностью можно сказать, что она активна. Фреймворк содержит другой набор логических правил, комбинированных с обученной иным образом нейронной сетью,
15 примененной к поднабору (или всем) сигналов для каждой динамики месторождения, для определения/классификации того, является ли активной соответствующая динамика месторождения или нет.

Логические правила и нейронная сеть, как правило, будут просматривать/направлены на маркировку классификации (устойчивая, колеблющаяся,
20 переходная) и сам сигнал внутри контекстного окна для всех или поднабора управляющих сигналов вместе со всеми или поднабором сигналов состояния; для определения того, становится/начинает ли быть активной соответствующая динамика месторождения. Масштабное изменение одного или более управляющих сигналов, как правило, приведет к активации одной или более динамик месторождения.

Кроме того, для определения того, затухает/заканчивается ли динамика
25 месторождения, т.е. Прекращает быть активной, логические правила вместе с нейронной сетью обеспечат то, что управляющий(е) сигнал(ы) был(и) стабилен(ны) в течение некоторого периода времени, а также то, что релевантные сигналы состояния становятся устойчивыми (т.е. проходят от переходящего или колеблющегося до устойчивого).

Оба типа классифицированного/маркированного поведения сигнала (устойчивое,
30 колеблющееся или переходное), а также сами соответствующие сигналы внутри контекстного окна, необходимы для определения того, является ли активной динамика месторождения.

Общий фреймворк/алгоритм для динамики месторождения сигнала представлен
35 ниже:

1. Для всех релевантных сигналов: запуск фреймворка классификации поведения сигнала в течение желаемого промежутка времени, т.е. контекстного окна, и классификация срединных или всех точек данных на устойчивые, колеблющиеся или переходные.

5 2. Применение логических правил по всем рассматриваемым динамикам месторождения для идентификации того, является ли соответствующая динамика месторождения активной или нет.

3. Возврат/сохранение информации о маркировке, т.е. какая динамика месторождения является активной, и, при необходимости, статистической устойчивости этой маркировки для срединного образца, некоторых образцов или всех образцов/точек данных.

4. При необходимости: а) повтор фреймворка при настройке скользящего окна в режиме реального времени и/или б) группировка соседних точек данных в сжатую базу данных.

15 5. При необходимости: Если применяется 4.а, то представляется возможным сохранение информации о классификации в базе данных, если совместно применяются 4.а и 4.б, информация сохраняется в базе данных.

Сразу после того, как становится известной динамика месторождения, массивы данных внутри сигнала могут быть категоризированы.

20

Пример 4: Динамика месторождения при истощении и импульсе трубопровода

Динамика месторождения, определенная как «истощение», относится к падению среднего давления в резервуаре вследствие спуска добычи из резервуара с течением времени. Вода или газ преодолеют данный эффект. Для обнаружения того, является ли динамика месторождения активной или нет, вовлеченные логические правила будут направлены на забойное давление (ЗД) скважин (если оно недоступно, то гидростатическое давление скважины может быть использовано в качестве промежуточного показателя). Будет использовано длинное контекстное окно, составляющее 1 неделю или больше (вероятно, 1 месяц или больше). Если сигнал состояния давления является переходным в секциях, где сигнал управления штуцером для той же скважины является стабильным, то динамика месторождения «истощение» считается активной.

Альтернативный набор логических правил, который может быть использован для обнаружения истощения, заключается в том, чтобы сперва обнаружить активную динамику месторождения с повышением давления, а затем сравнить значение, к которому

35

сходится ЗД, между каждой активной динамикой месторождения с повышением давления в одной и той же скважине, а также проверить, не отклоняется ли это значение.

Для определения того, является ли активной динамика месторождения «импульс трубопровода вследствие изменений управления» или нет, способ направляется на контекстное окно, составляющее 1-12 часов (может составлять до 24 часов) для управляющего сигнала штуцерного клапана, и сигнал состояния давления. Релевантное логическое правило заключается в том, что если управляющий сигнал является переходным, а сигнал состояния давления становится переходным, то динамика месторождения «импульс трубопровода» считается активной. Когда сигнал состояния давления больше не является переходным, т.е. является устойчивым или колеблющимся, данная динамика месторождения больше не активна.

На фиг. 10 изображена настройка штуцерного клапана и соответствующее измерение давления в примере определения того, является ли активной динамика месторождения «импульс трубопровода». На первом и втором графиках заштрихованные интервалы классифицируются как переходные, а незаштрихованные интервалы классифицируются как устойчивые. На третьем нижнем графике заштрихованные области представляют собой интервалы, в которых как штуцер, так и давление классифицируются как устойчивые, а следовательно, «импульс трубопровода вследствие изменений управления» маркируется как неактивный. В области без штриховки сигнал управления штуцером был переходным (в начале периода), а сигнал состояния давления по-прежнему является переходным. Таким образом, динамика месторождения «импульс трубопровода вследствие изменений управления» маркируется как активная. Следует понимать, что самым устойчивым интервалам может быть присвоена категория в зависимости от других логических правил, и что подобному изменению давления с другим изменением управляющего сигнала (или другим изменением других факторов) может быть присвоена другая категория для другого переходного события.

Пример 4 – Категория фонтанной добычи

Фонтанная добыча представляет собой динамику, присутствующую в скважинах, которые были недавно открыты после периода простоя (также существуют и другие определения). Категория для фонтанной добычи является одной из возможных категорий для постоянной добычи. Она характеризуется краткосрочным повышением темпа добычи нефти. Она может быть обнаружена за счет существенного перехода давления, который длится намного дольше чем обычно после последнего изменения штуцера.

Пример 5 – Категория повышения давления

В случае повышения давления штуцер скважины закрыт, а давление в скважине повышается. Данная категория может быть обнаружена (помимо прочего), когда штуцер находится ниже порогового значения, а давление скважины является переходящим и повышается.

Пример 6 – Категория закупоривания

Закупоривание представляет собой колеблющееся рабочее состояние с устойчивыми штуцерами, при котором жидкость добывается выбросами. Данная категория может быть обнаружена за счет устойчивых настроек штуцера и, например, колеблющегося давления стояка.

Пример 7 – Фреймворк для классификации активной динамики месторождения

Фреймворк для определения того, какая динамика месторождения является активной в некоторый момент времени, имеет два естественных расширения, вместе с которыми он зачастую будет использоваться. Во-первых, он, как правило, будет использоваться повторяемым образом в режиме реального времени, уведомляя оператора и/или инженера по эксплуатации, и/или инженера по добыче, и/или инженера-технолога (пользователя), или представляя индикацию активной динамики месторождения в режиме реального времени. Во-вторых, как правило, он не будет определять то, какая динамика месторождения является активной в конкретный момент времени, а вместо этого он будет определять интервалы, в течение которых соответствующая динамика месторождения является активной. Кроме того, эти интервалы могут быть собраны вместе в базу данных.

Таким образом, имеется три пути использования фреймворка для классификации динамики месторождения:

1. Пользователь делает запрос системе/фреймворку/алгоритму(ам) на определение того, какая динамика месторождения является активной в заданный момент времени. Им может быть текущий момент времени или момент времени в прошлом.

2. Система/фреймворк запускается повторяемым образом в режиме реального времени (например, каждые 10 секунд, каждую 1 минуту, каждый 1 час, каждые 24 часа) и: а) отображает/определяет то, какая динамика месторождения является активной, или б) предупреждает пользователя о том, когда заданные наборы динамики месторождения являются активными или когда имеют место отклонения паттерна динамики месторождения. Данная информация может храниться в сжатой базе данных.

3. В контекстном окне или во множестве контекстных окон при настройке скользящего окна:

а. идентификация смежных/соседних точек данных, где одна и та же динамика месторождения является активной, и определение интервалов времени, которые содержат массивы данных, затем идентификация статистических данных, релевантных относительно этих массивов данных, например, с временем начала, временем окончания, средним значением, наклоном, стандартным отклонением от оцененного среднего значения и другими релевантными статистическими данными, и т.д.

б. использование идентификации интервалов времени на этапе (3.а) в повторяемой настройке режима реального времени или на архивном массиве данных и совместный сбор всех данных в сжатую базу данных.

1. Релевантные определения

Базис

Положительный базис в $\mathbb{R}^n$ является положительным независимым набором, положительный интервал которого является $\mathbb{R}^n$.

Рассмотрим набор выборки $Y = \{y^0, y^1, \dots, y^p\}$ из реальной функции $f(y^i)$. Каждая точка выборки состоит из переменных в $n+1$ размерностях, и имеется $p + 1$ точек выборки. За счет использования эти точек выборки, $f(y^i)$ может быть аппроксимировано моделью $m(x)$, где $f(y^i) = m(y^i)$. Представляется возможным выразить линейную модель реальной функции следующим образом: $m(x) = \alpha_0 + \alpha_0 x_1 + \dots + \alpha_n x_n$. Использование, в качестве базиса для полиномиального пространства $\mathcal{P}_n^1$ линейных многочленов 1-й степени, полиномиального базиса $\phi = \{1, x_1, \dots, x_n\}$.

Равновесие

Рассмотрим набор выборки $Y = \{y^0, y^1, \dots, y^p\}$. Точки выборки состоят из переменных в $n+1$ размерностях, и имеется $p + 1$ точек выборки. Реальная функция $f(y^i)$ аппроксимируется моделью $m(y^i)$, которая представляет собой многочлен степени d .

$$m(y^i) = f(y^i), i = 0, \dots, n$$

$$\begin{bmatrix} 1 & y_1^0 & \dots & y_n^0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_1^n & \dots & y_n^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(y^0) \\ \vdots \\ f(y^n) \end{bmatrix}, M = M(\phi, Y) = \begin{bmatrix} 1 & y_1^0 & \dots & y_n^0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_1^n & \dots & y_n^n \end{bmatrix}$$

Полиномиальный базис ϕ имеет 1-ую степень. M записано как $M(\phi, Y)$ для того чтобы подчеркнуть зависимость M от базиса ϕ и набора выборки Y .

Интерполяция

Набор $Y = \{y^0, y^1, \dots, y^{p=n}\}$ **уравновешивается** для полиномиальной интерполяции в $\mathbb{R}^n$, если соответствующая матрица $M(\phi, Y)$ является неособенной для некоторого базиса ϕ в $\mathcal{P}_n^d$.

Линейная регрессия

- 5 Набор $Y = \{y^0, y^1, \dots, y^p\}$ **уравновешивается** для полиномиальной регрессии наименьших квадратов в $\mathbb{R}^n$, если соответствующая матрица $M(\phi, Y)$ имеет полный столбцовый ранг для некоторого базиса ϕ в $\mathcal{P}_n^d$.

Λ – Равновесие

- 10 Равновесие Λ – представляет собой постоянную равновесия, которая отражает то, насколько хорошо набор выборки проходит по области, где представляет интерес интерполяция/регрессия. Равновесие Λ – зависит от набора выборки, принятой во внимание области и полиномиального пространства, для которого выбран интерполант.

Интерполяция

- 15 Значение Λ – равновесия можно увидеть в качестве расстояния до линейной независимости. Если $\Lambda = 1$, набор выборки является идеальным. Модель ухудшается по мере того, как равновесие Λ – становится больше. По мере возрастания Λ , система, представленная векторами $\phi(y^i)$, становится линейно независимой в возрастающей степени. Фактическое расстояние до вырожденности зависит от выбора $\phi(y^i)$. Оно не зависит от масштабирования набора выборки или сдвига координат.

- 20 Регрессия

- Равновесие Λ – может быть определено путем регрессии для кейсов, в которых ряд точек выборки поддерживается фиксированным. Большинство свойств равновесия Λ – в смысле интерполяции легко продолжаются до регрессии. Сильное равновесие определяется, когда ряд точек выборки может возрасть, и отражает то, насколько хорошо точки выборки распределены в пространстве для формирования уравновешенных поднаборов.

Модель минимальной нормы Фробениуса

- 30 Как правило, в фреймворке оптимизации, свободном от производных, который использует неполную интерполяцию, желательным является построение точных линейных моделей с последующим их усилением за счет информации о кривизне в надежде, что фактическая точность модели лучше чем у чисто линейной модели. Равновесия в смысле минимальной нормы Фробениуса подразумевает равновесия в линейной интерполяции или смысле регрессии, и, в результате, равновесия для квадратичной неопределенной интерполяции в смысле минимальной нормы.

Алгоритмы улучшения модели

Такие алгоритмы могут быть реализованы на основе известных методов улучшения модели. Первая категория алгоритмов направлена на работу с неуравновешенными массивами данных, целью является построение уравновешенных настроек интерполяции или регрессии. Вторая категория алгоритмов улучшает и поддерживает равновесие Λ — уже уравновешенных массивов данных. Алгоритмы основаны на построении полиномиальных базисов Лагранжа или других (подобных) полиномиальных базисов и использовании их в качестве руководства для модификации наборов выборки.

Доверительная область

Функция может быть оценена моделью. Модель должна быть построена вблизи текущей точки, и с некоторой степенью случайности необходимо принять решение в отношении области, содержащей текущую точку, считающуюся такой, в которой модель будет представлять функцию более или менее достоверно. Такая область называется *доверительной областью*.

В нашем случае доверительная область служит для двух целей:

1. Модель

Она определяет окрестности, в которых по точкам сделана выборка для построения модели. Модели, такие как модели полиномиальной интерполяции или регрессии, необязательно становятся лучше, когда радиус доверительной области уменьшается.

2. Оптимизация

Она ограничивает шаговый размер окрестностей, в которых предполагается, что модель достоверная.

Сперва определяется модель $m_k(x)$, целью которой является аппроксимация функции (общей добычи или значений давления) в пределах подходящих окрестностей x_k , доверительной области. Доверительная область может быть определена в виде набора всех точек,

$$\mathcal{B}_k = \{x \in \mathbb{R}^n \mid \|x - x_k\|_k \leq \Delta_k\}$$

где Δ_k называется радиусом доверительной области.

Норма, определяющая доверительную область, может варьироваться для использования геометрии поставленной задачи максимально возможным эффективным образом.

Традиционное управление доверительной областью:

1. Методы на основе производной доверительной области

В методах на основе производной при соответствующих условиях радиус

доверительной области становится ограниченным от нуля, когда итерация сходится к локальному минимуму; таким образом, ее радиус может оставаться неизменным или увеличиваться вблизи оптимального значения.

2. Методы без производной доверительной области

5 Фактическое снижение целевой функции сравнивается с прогнозированным снижением в модели. Если сравнение достоверное, выполняется новый этап, а радиус доверительной области увеличивается. Если сравнение недостоверное, новый этап аннулируется, а радиус доверительной области уменьшается. При оптимизации без производной важно поддерживать радиус доверительной области

10 сравнимым с некоторой мерой устойчивости, так что когда мера устойчивости близка к нулю, модели становятся более точными.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ регистрации данных, относящихся к производительности нефтегазопроводной сети, включающий:

5 (1) сбор данных, охватывающих заданный период времени, причем указанные данные относятся к состоянию одной или более контрольных точек в пределах указанной проводящей сети и к одному или более интересующим параметрам потока в одном или более путях проводящей сети,

(2) идентификацию множества интервалов времени в указанных данных, в течение
10 которых контрольная точка или контрольные точки и параметр потока или параметры потока определены как входящие в категорию, выбранную из множества категорий, относящихся к различным типам постоянной добычи, и множества категорий, относящихся к различным типам переходных событий, причем результирующие данные содержат множество массивов данных, каждый из которых ограничен одним из
15 указанного множества интервалов времени;

(3) присвоение выбранной категории из указанного множества категорий каждому из указанного множества массивов данных, которые ограничены указанным множеством интервалов времени, и

(4) извлечение статистических данных, показательных в отношении всех массивов
20 данных, идентифицированных на этапе (2), или некоторых из них, с обеспечением представления первоначальных данных с этапа (1) в сжатой форме, содержащей сведения о категории, присвоенной каждому интервалу времени на этапе (3).

2. Способ по п. 1, в котором этап (1) включает сбор данных в течение периода
25 времени, составляющего по меньшей мере месяц, и/или этап (2) включает идентификацию по меньшей мере 100 интервалов времени.

3. Способ по п. 1 или п. 2, в котором указанное множество категорий, относящихся к различным типам переходных событий, содержит категории, относящиеся к активным
30 событиям, которые происходят вследствие умышленного вмешательства в проводящую сеть, и категории, относящиеся к пассивным событиям, которые происходят без какого-либо умышленного вмешательства в проводящую сеть.

4. Способ по п. 1, 2 или 3, в котором указанное множество категорий, относящихся к
35 постоянной добыче, включает: постоянную добычу в устойчивом состоянии, постоянную

добычу при фонтанной добыче из одной или более скважин, постоянную добычу при наличии динамики закупоривания, такой как высадка обшивки, сильное закупоривание или другая динамика закупоривания, и постоянную добычу, включающую вынос песка.

- 5 5. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором указанное множество категорий, относящихся к переходным событиям, включает одну или более из следующих категорий активных событий: события испытания скважины, активные события процесса, активные события скважины и/или активные события резервуара.
- 10 6. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором указанное множество категорий, относящихся к переходным событиям, включает одну или более из следующих категорий пассивных событий: пассивные события процесса, пассивные события резервуара/скважины или события ошибки датчика.
- 15 7. Способ по любому из предыдущих пунктов, включающий определение категории, которая должна быть выбрана на этапе (3), путем определения комбинации динамик месторождения, присутствующих в массиве данных, причем динамика месторождения представляет собой явление или событие, которое происходит в указанном интервале времени для массивов данных в одной или более из указанных категорий.
- 20 8. Способ по п. 7, в котором динамики месторождения включают все следующие динамики или некоторые из них: истощение, фонтанная добыча, повышение, снижение, импульсы трубопровода вследствие изменений управления, динамики закупоривания, колебания системы добычи и/или динамики состава резервуара.
- 25 9. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором имеется множество категорий, присваиваемых по меньшей мере некоторым точкам данных в указанных данных, так что для этих точек данных имеются перекрывающиеся интервалы времени, которые определяют перекрывающиеся массивы данных, причем каждый массив данных
- 30 имеет отличную категорию.
10. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором идентификация интервала времени с массивом данных, который может быть категоризирован как одна из указанного множества категорий постоянной добычи, требует периода времени, превышающего по

длительности заданный минимум, в течение которого не было каких-либо изменений контрольной точки за пределами конкретного порогового значения.

- 5 11. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором идентификация интервала времени с массивом данных, который может быть категоризирован как одна из указанного множества категорий постоянной добычи, включает требование, заключающееся в отсутствии изменений контрольных точек в течение минимального времени вплоть до 12 часов до точки, в которой может начинаться указанный интервал времени.
- 10 12. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором указанный период времени для потенциального интервала времени с массивом данных, который может быть категоризирован как одна из указанного множества категорий постоянной добычи, не может продолжаться после точки, в которой были выполнены новые изменения какой-либо из контрольных точек.
- 15 13. Способ по любому из предыдущих пунктов, включающий использование архивных данных, которые при необходимости содержат архивные данные и реальные данные.
- 20 14. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором этап (4) включает сбор статистических данных в табличной форме и необязательное сохранение указанных данных.
- 25 15. Способ по п. 14, в котором таблица сжатых данных представляет собой результат выполнения этапа (4) и содержит указанные категории с этапа (3) и статистические данные, показательные в отношении каждого интервала времени с этапа (4).
- 30 16. Способ по п. 15, в котором таблица сжатых данных содержит следующую информацию об интервалах времени: категория, время начала и/или статистическая информация, такая как одно или более из среднего арифметического, медианы, дисперсии, постоянного члена, линейного члена, коэффициента детерминации (r -квадрата) и/или количества точек выборки.
17. Способ по любому из предыдущих пунктов, включающий использование статистических данных, извлеченных на этапе (4), при оценке факторов, относящихся к

производительности проводящей сети, в том числе темпа добычи, а также целостности проводящей сети.

18. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором статистические данные с
5 этапа (4) используют для идентификации взаимосвязей между состоянием контрольных точек и параметрами потока, а также для обеспечения возможности построения локальной модели для представления указанных взаимосвязей.

19. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором контрольные точки
10 представляют собой любые средства, выполненные с возможностью применения управляемой регулировки к проводящей сети, в частности, регулировки потока флюида в пределах сети, такой как одно или более из клапанов управления потоком, насосов, компрессоров, газлифтных инжекторов, расширительных устройств и т.п.

15 20. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором измеряемый параметр потока или измеряемые параметры потока представляют собой любой параметр, на который воздействует регулировка или воздействуют регулировки, применяемые в контрольной точке или контрольных точках, таких как одно или более из следующего: давлени, расход (по объему или скорости потока), уровень потока, температура,
20 соотношение между газом и жидкостью, пропорции конкретных компонентов в потоке, плотность и/или уровень pH.

21. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором указанные один или более параметров потока относятся к одному или более путям потока, в которых были
25 объединены потоки из более чем одного из различных ответвлений в пределах проводящей сети.

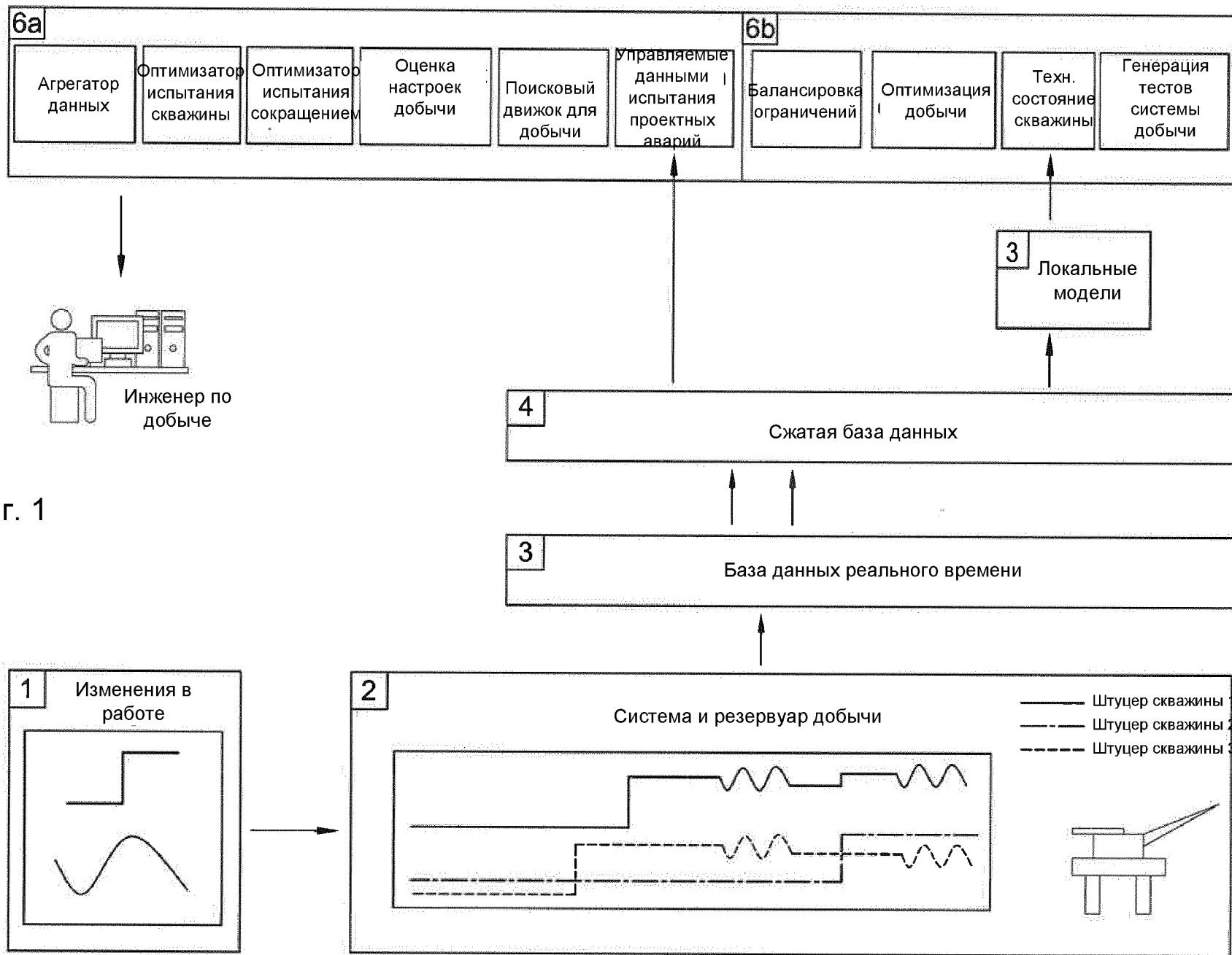
22. Данные, полученные способом по любому из пп. 1-21, содержащие, например,
таблицу сжатых данных.

30 23. Применение данных по п. 22 для управления нефтегазопроводной сетью или её оценки.

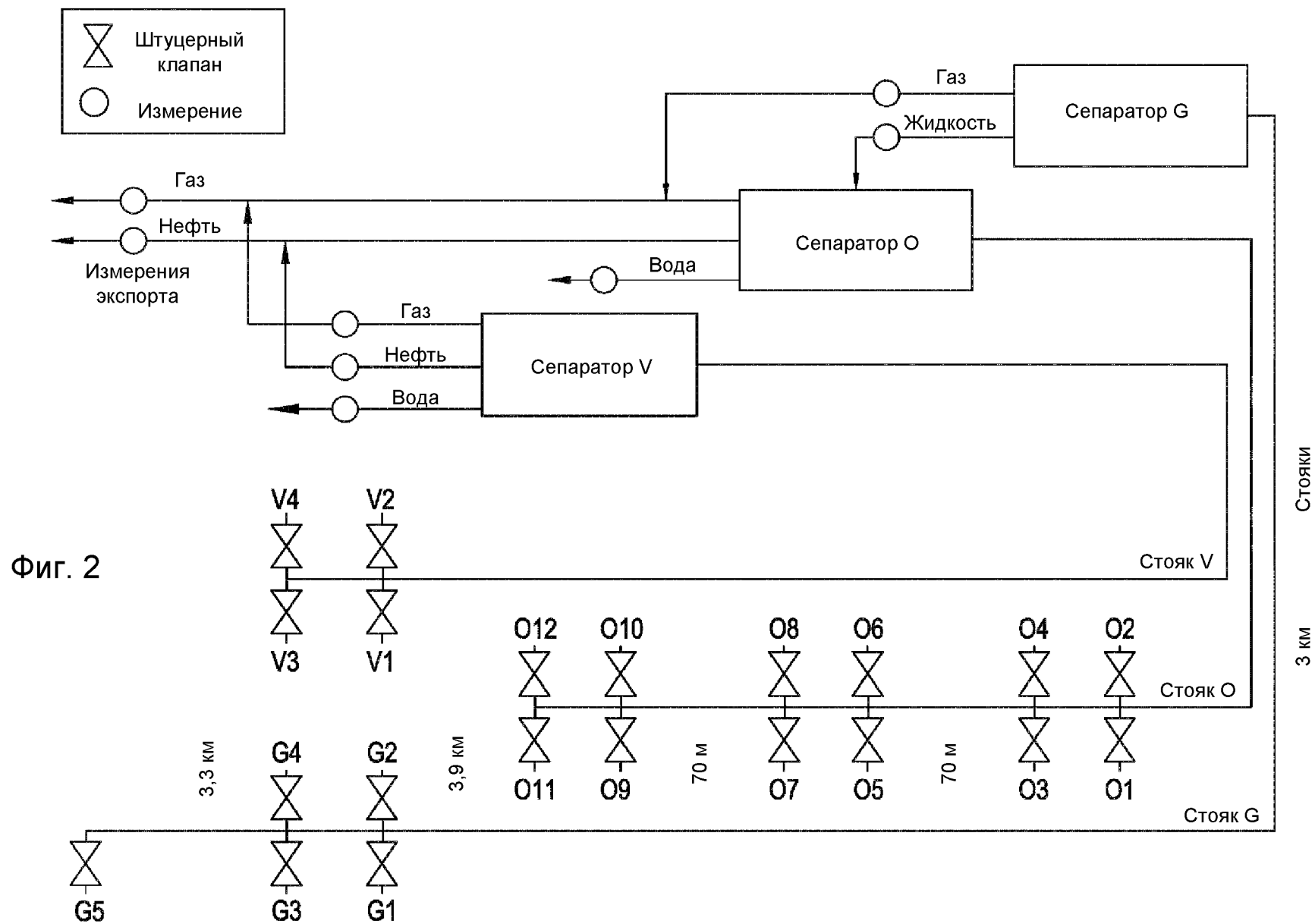
24. Устройство для обработки данных, предназначенное для оценки
35 нефтегазопроводной сети, имеющей одну или более контрольных точек, и содержащее:

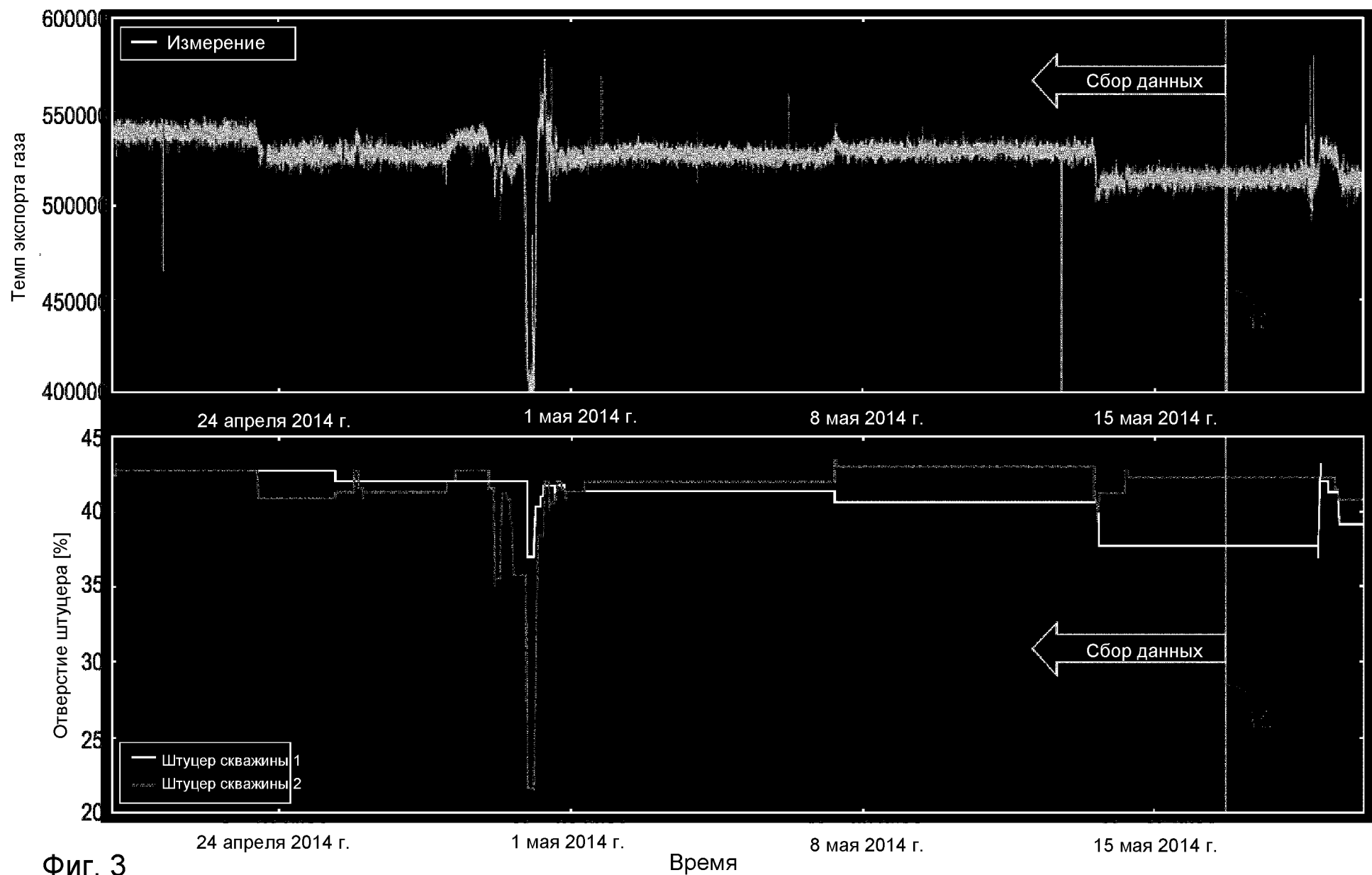
устройство для анализа данных, выполненное с возможностью выполнения способа по любому из пп. 1-21.

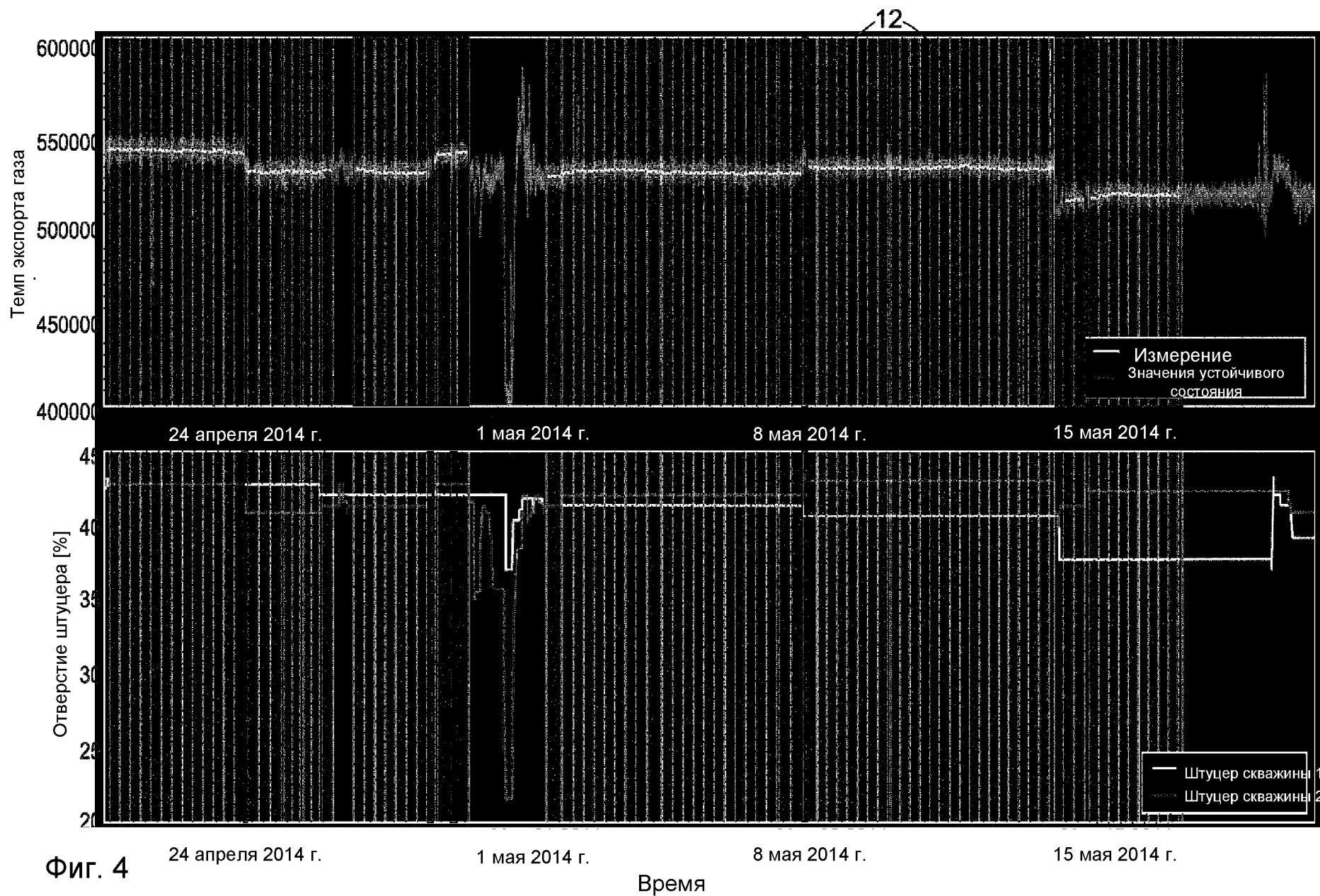
25. Компьютерный программный продукт, содержащий инструкции, предназначенные для исполнения на устройстве для обработки данных, выполненном с возможностью приема данных, относящихся к контрольным точкам и параметрам потока в проводящей сети; причем исполнение указанных инструкций конфигурирует устройство для обработки данных с обеспечением выполнения способа по любому из пп. 1-21.
- 5

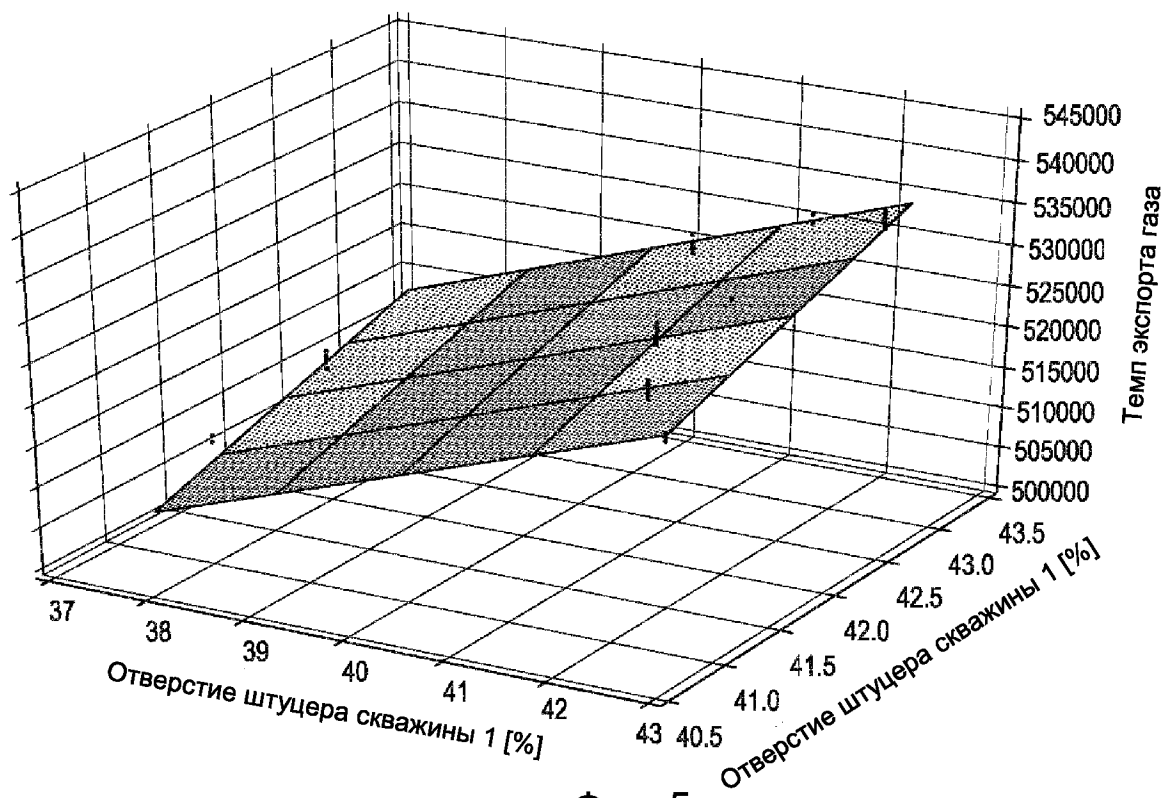


Фиг. 1

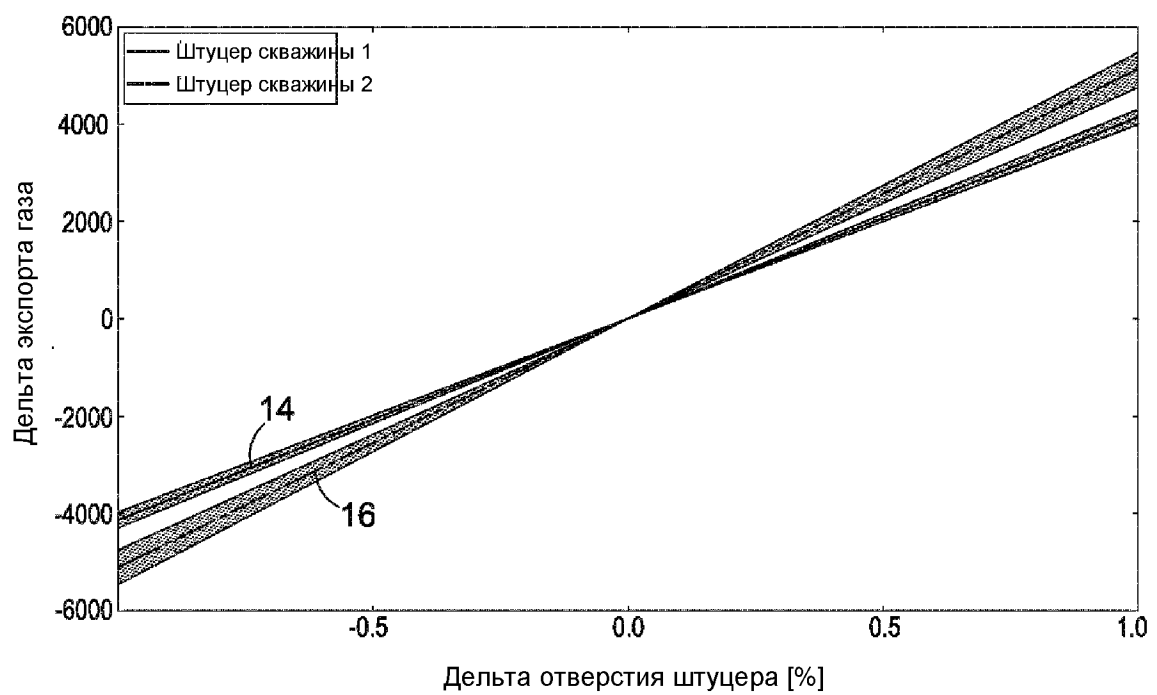




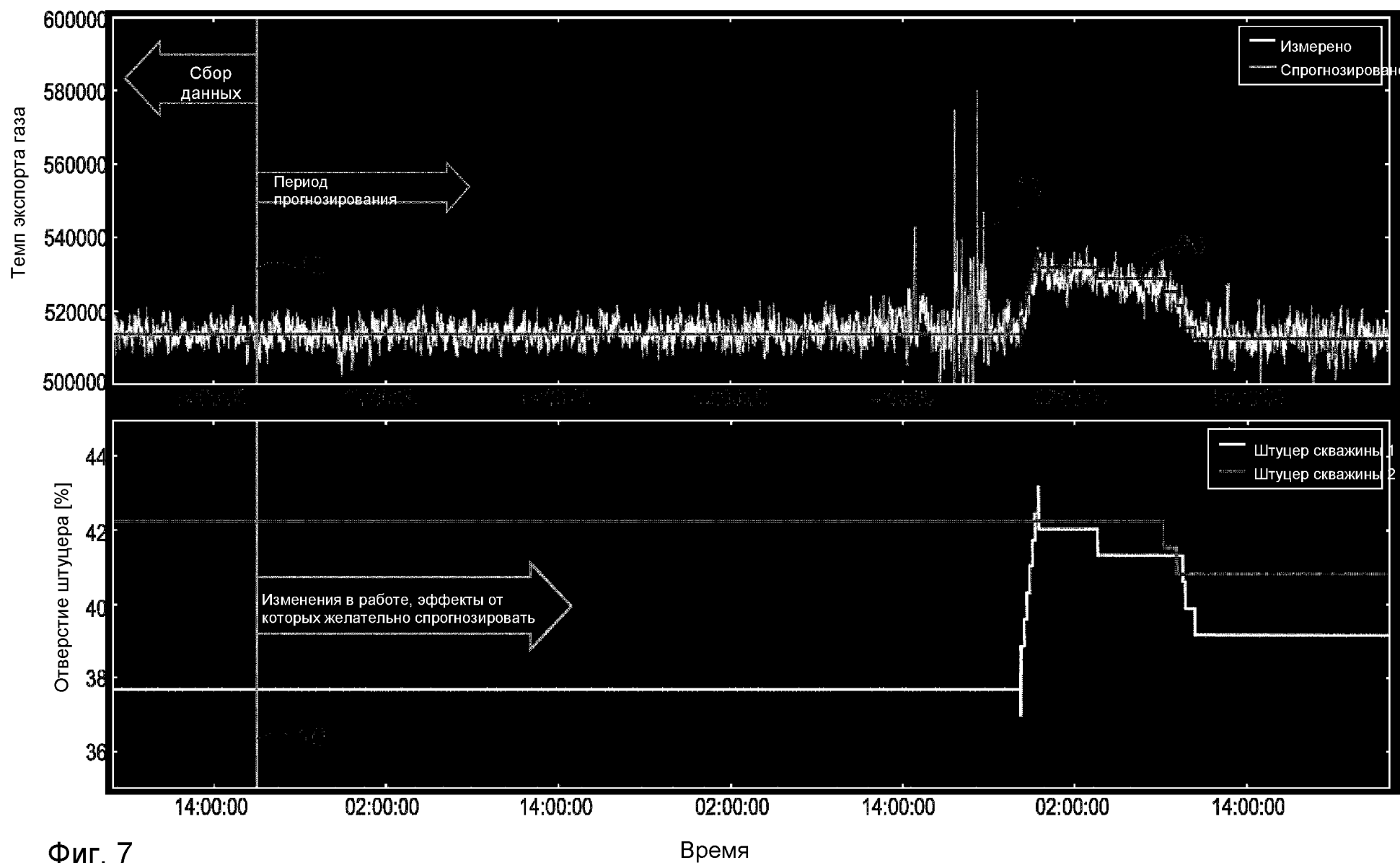


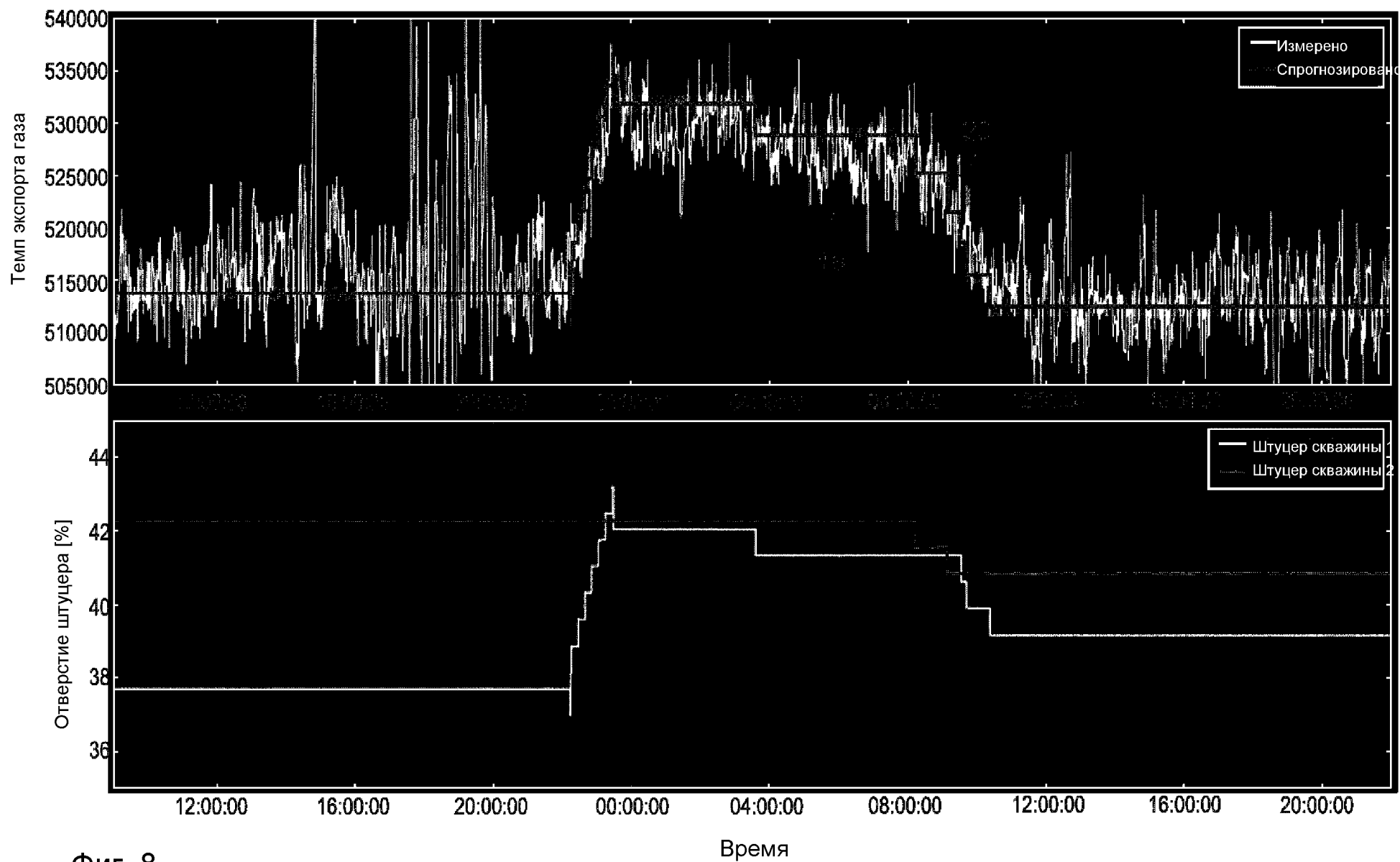


Фиг. 5

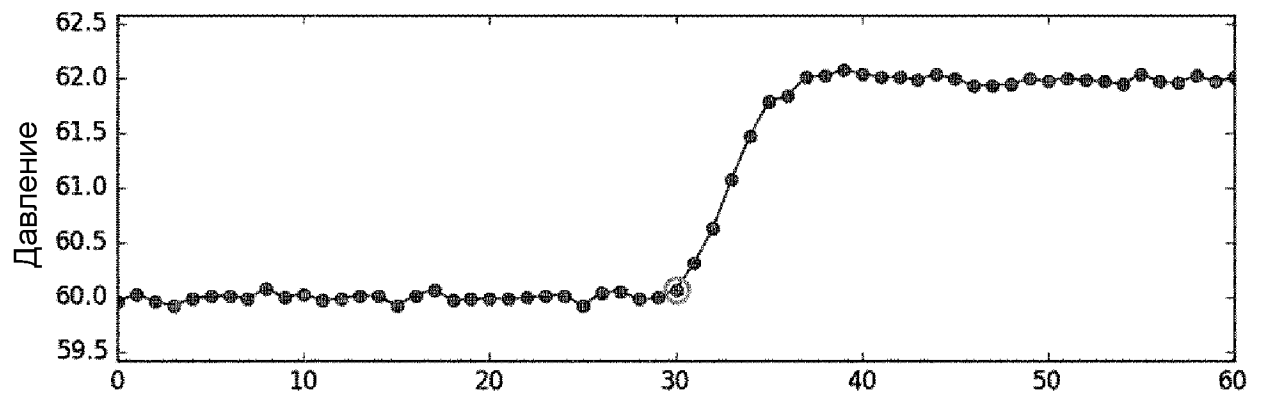


Фиг. 6

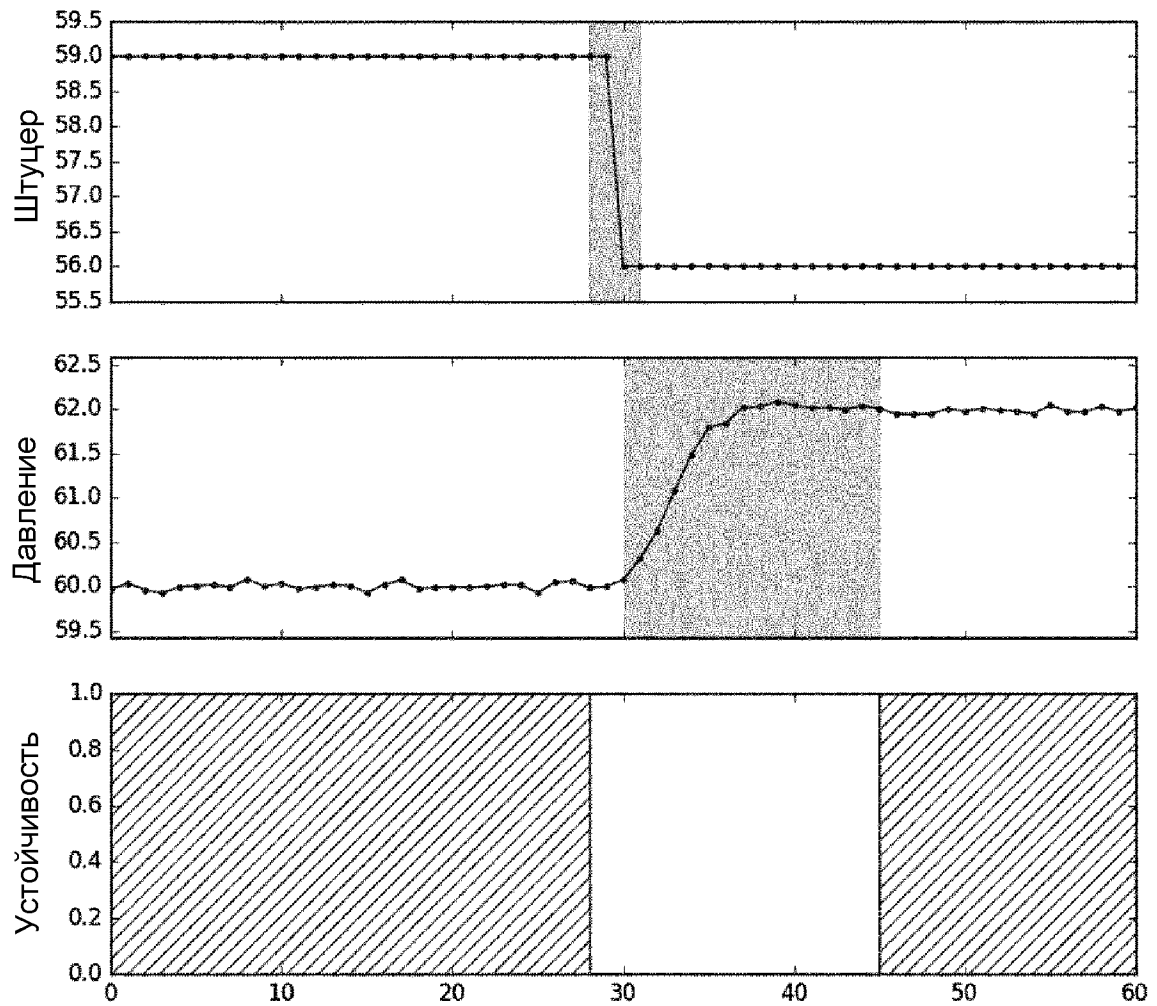




Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10