



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

*E21B 44/00 (2021.02); G06N 3/02 (2021.02); G05B 13/04 (2021.02)*

(21)(22) Заявка: 2020129673, 08.09.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
08.09.2020Дата регистрации:  
22.03.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.09.2020

(45) Опубликовано: 22.03.2021 Бюл. № 9

Адрес для переписки:

119333, Москва, ул. Губкина, 3, Федеральное  
государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем нефти и газа Российской  
академии наук (ИПНГ РАН)

(72) Автор(ы):

Дмитриевский Анатолий Николаевич (RU),  
Еремин Николай Александрович (RU),  
Черников Александр Дмитриевич (RU),  
Сбоев Александр Георгиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт проблем нефти  
и газа Российской академии наук (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: CN 110443488 A, 12.11.2019. RU  
2723805 C9, 27.07.2020. RU 2602779 C2,  
20.11.2016. CN 104121014 A, 29.10.2014. CN  
109508827 A, 22.03.2019.(54) АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЫЯВЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ  
В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

(57) Реферат:

Изобретение относится к области нефтяной и газовой промышленности, а именно к системам мониторинга строительства нефтегазовых скважин и управления буровыми операциями, и предназначено для выявления и прогнозирования осложнений основных типов, таких как поглощение буровой промывочной жидкости, прихваты (затяжки) бурового инструмента, газонефтеводопроявления при строительстве нефтяных и газовых скважин. Технической проблемой, на решение которой направлено предлагаемое изобретение, является снижение аварийности при строительстве нефтяных и газовых скважин путем повышения точности и достоверности выявления и прогнозирования возникновения осложнений в условиях широкого спектра прогнозируемых типов осложнений и существующих ограничений на состав и объем исходных данных. Указанная проблема решается тем, что автоматизированная система выявления и прогнозирования осложнений при строительстве

нефтяных и газовых скважин содержит модуль сбора реально-временных данных геолого-технологических исследований с объекта строительства с подсоединенной к нему архивной базой данных геолого-технологических исследований, буровой тренажер, базу данных симулятора, модуль предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, модуль разметки данных геолого-технологических исследований, размеченную и неразмеченную базы данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации модели выявления аномалий в данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации моделей прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, модуль прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, модуль прогнозирования значений функций

индикаторов возникновения осложнений, модуль формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений, модуль оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений и модуль анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений и аварийных ситуаций. Достижимый технический результат заключается в расширении пространства входных

данных для прогнозирования возникновения осложнений при строительстве скважин за счет использования дополнительных источников информации - неразмеченных массивов данных и симуляционных данных от бурового тренажера, а также применения вспомогательных моделей машинного обучения для повышения точности и достоверности классификационной нейросетевой модели. 1 ил.

RU 2745137 C1

RU 2745137 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

E21B 44/00 (2021.02); G06N 3/02 (2021.02); G05B 13/04 (2021.02)

(21)(22) Application: 2020129673, 08.09.2020

(24) Effective date for property rights:  
08.09.2020Registration date:  
22.03.2021

Priority:

(22) Date of filing: 08.09.2020

(45) Date of publication: 22.03.2021 Bull. № 9

Mail address:

119333, Moskva, ul. Gubkina, 3, Federalnoe  
gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki  
Institut problem nefi i gaza Rossijskoj akademii  
nauk (IPNG RAN)

(72) Inventor(s):

Dmitrievskij Anatolij Nikolaevich (RU),  
Eremin Nikolaj Aleksandrovich (RU),  
Chernikov Aleksandr Dmitrievich (RU),  
Sboev Aleksandr Georgievich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
uchrezhdenie nauki Institut problem nefi i gaza  
Rossijskoj akademii nauk (RU)

## (54) AUTOMATED SYSTEM FOR IDENTIFICATION AND PREDICTION OF COMPLICATIONS IN THE PROCESS OF CONSTRUCTION OF OIL AND GAS WELLS

(57) Abstract:

FIELD: oil and gas industry.

SUBSTANCE: invention relates to systems for monitoring the construction of oil and gas wells and control of drilling operations, and is intended to identify and predict complications of the main types, such as absorption of drilling fluid, sticking (tightening) of drilling tools, gas and oil water showings during the construction of oil and gas wells. The technical problem to be solved by the proposed invention is to reduce the accident rate during the construction of oil and gas wells by increasing the accuracy and reliability of identifying and predicting the occurrence of complications in a wide range of predicted types of complications and existing restrictions on the composition and volume of initial data. This problem is solved by the fact that the automated system for identifying and predicting complications in the construction of oil and gas wells contains a module for collecting real-time data of geological and technological research from the construction site with an archived database of geological and technological research connected to it, a drilling

simulator, a simulator database, module for preliminary processing of geological and technological research data, module for marking up geological and technological research data, marked and unmarked databases for geological and technological research, module for forming, training and validating anomaly detection model in geological research data, module for forming, training and validation models for predicting the values of functions of indicators of the occurrence of complications, a module for predicting the occurrence of anomalies in the data of geological and technological studies, a module for predicting the values of functions of indicators of the occurrence of complications, a formation module, training and validation of a recurrent neural network model for predicting the occurrence of complications, a module for evaluating the predicted values of the probabilities of complications and a module for analyzing and generating warnings about the occurrence of complications and emergencies.

EFFECT: expanded the input data space for

predicting the occurrence of complications during well construction through the use of additional sources of information - unlabeled data sets and simulation data from the drilling simulator, as well as the use of

auxiliary machine learning models to improve the accuracy and reliability of the classification neural network model.

1 cl, 1 dwg

R U 2 7 4 5 1 3 7 C 1

R U 2 7 4 5 1 3 7 C 1

Изобретение относится к области нефтяной и газовой промышленности, а именно к системам мониторинга строительства нефтегазовых скважин и управления буровыми операциями, и предназначено для выявления и прогнозирования осложнений основных типов, таких как, поглощение буровой промывочной жидкости, прихваты (затяжки) бурового инструмента, газонепродопроявления при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Известна система построения моделей и прогнозирования операционных результатов в процессе бурения, содержащая модуль сбора данных с датчиков скважины и архивных данных с соседних скважин, блок хранения данных, блок анализа данных и построения модели, модуль прогнозирующей аналитики для выбора модели из общего набора моделей кандидатов и прогнозирования операционных результатов до (на этапе проектирования ствола скважины) или во время операции бурения (RU 2600497, 2016).

Указанная система направлена на формирование общего подхода к прогнозированию операционных результатов операции бурения, которые образуют операционную среду в соответствии с различными вариантами осуществления процесса бурения, но она не обеспечивает формирование и оценку влияния конкретных прогностических моделей применительно к заданным операционным результатам при строительстве скважин.

Известна система прогнозирования события прихвата буровой колонны в скважине, структурная схема которой включает:

- различные типы датчиков (поверхностные и скважинные), измеряющие технологические параметры при бурении;
- компьютерную систему, включающую базы данных реально-временной и архивной информации параметров бурения, а также статических данных (диаметр скважины, наружный диаметр и длина буровой колонны и др.);
- модуль программного обеспечения для прогнозирования возникновения осложнений типа "прихват", который может выполняться полностью или частично на локальной компьютерной системе и/или на удаленной компьютерной системе (US 8752648, 2014).

В рассматриваемом решении применяется ансамблевая модель прогнозирования, содержащая, по меньшей мере, три алгоритма машинного обучения, работающих параллельно, каждый алгоритм машинного обучения предсказывает вероятность возникновения осложнения типа "прихват" на основе, по меньшей мере, одного из множества параметров бурения. При этом ансамблевая модель прогнозирования определяет комбинированную вероятность, основанную на вероятностях возникновения осложнения типа "прихват" по каждому алгоритму машинного обучения, и предоставляет оператору-буровику прогноз, основанный на комбинированной вероятности, т.е. предупреждает о наступлении в будущем события типа "прихват", исходя из набора обучающих данных и последующей его проверке на реально-временных данных.

Недостатками данного решения являются:

- узкая направленность, а именно выявление и прогнозирование осложнений только одного типа "прихват";
- неопределенность, связанная с необходимостью определения экспертным путем весовых коэффициентов прогнозных вероятностей применяемых методов машинного обучения для расчета комбинированной вероятности возникновения осложнений типа "прихват";
- использование общего подхода к решению проблемы прогнозирования осложнений типа "прихват" без приведения конкретной реализации и результатов на реальных массивах данных параметров бурения.

Известна система диагностики осложнений типа "поглощение" на основе технологии объединения нейронных сетей, описанная в патенте (CN 104121014, 2017).

Система включает сеть с обратным распространением ошибки, сеть радиально-базисных функций, самоорганизующуюся карту Кохонена, нейронную сеть адаптивного резонанса.

В качестве методов объединения нейросетевых предсказаний и получения итогового прогноза рассматриваются методы: наименьших квадратов, мажоритарного голосования, нечетких интегралов, Байесовский, теории доказательств Демпстера-Шафера. В качестве основного метода объединения нейронных сетей используется теория доказательств Демпстера-Шафера, которая может быть объединена с преимуществами других методов.

Конфигурация многокомпонентной модели диагностики осложнений типа "поглощение" включает в себя следующие модули:

- подготовки и кластеризации данных;
- разметки данных, формирования обучающих и тестовых последовательностей;
- формирования, обучения и валидации нейросетевых моделей для различных сценариев возникновения осложнений типа «поглощение»;
- объединения выходов нейросетевых моделей и прогнозирования возникновения осложнений типа "поглощение".

Выходом модели является итоговая классификация и вероятности возникновения осложнений типа "поглощение".

Описания электронного оборудования для инсталляции и обеспечения функционирования модулей в изобретении не приводится.

Основными особенностями данного изобретения является возможность параллельного использования различных методов обработки (моделей) нейронных сетей для выявления и прогнозирования осложнений типа "поглощение", а также использование алгоритма анастомозирования (объединения) выходов нейросетевых моделей для повышения надежности и достоверности прогнозов. При этом для построения и обучения нейросетевых моделей используется метод обучения на предварительно сегментированных и размеченных массивах данных (обучение с учителем).

Функционирование рассматриваемой системы основано на следующих положениях:

1 - Определяется пространство входных данных (подготовка, разметка и формирование обучающих и тестовых массивов данных по каждому из сценариев возникновения осложнений типа "поглощение").

2 - Исходя из состава размеченных данных, рассчитанных на выявление различных сценариев возникновения осложнений типа "поглощение" определяются типы нейронных сетей для их выявления и прогнозирования.

3 - Производится обучение нейронных сетей и определение их топологии.

4 - Проводится проверка работоспособности (тестирование) нейронных сетей для диагностики осложнений типа "поглощение".

5 - Реально-временные данные, поступающие в ходе бурения скважины после нормализации, вводятся параллельно в каждую нейронную сеть, на выходах которых формируются прогнозные вероятностные оценки возникновения осложнений типа "поглощение".

6 - Выход каждой нейтральной сети объединяется с использованием алгоритмов слияния нейронных сетей и выводится окончательный результат диагностики осложнения типа "поглощение".

Структурная схема указанной системы обеспечивает возможность параллельного использования различных методов обработки (моделей) нейронных сетей для выявления и прогнозирования осложнений типа "поглощение", а также использование алгоритма анастомозирования (объединения) выходов нейросетевых моделей для повышения надежности и достоверности прогнозов. При этом для построения и обучения нейросетевых моделей используется метод "обучения с учителем" и финальное решение о диагностировании ситуации возникновения осложнения типа "поглощение" выносится на основе объединения предсказаний отдельных нейронных сетей, входящих в общую систему.

Недостатками данного изобретения является его узкая специализация на прогнозирование возникновения осложнений типа "поглощение", для обучения нейросетевых моделей требуется наличие больших массивов размеченных экспертами данных по каждому из сценариев возникновения осложнений типа «поглощение» (метод обучения с учителем) и невозможность работы с неразмеченными, а также симуляционными данными.

Известна система раннего предупреждения об отказе при бурении на основе применения рекуррентной нейронной сети, описанная в патенте на изобретение (CN 109508827, 2019).

Указанная система выполнена на базе следующих модулей:

- подготовки данных, включая выявление аномальных значений параметров на основе авторегрессионной модели;

- экспертной разметки данных, формирования обучающих и тестовых последовательностей;

- формирования, обучения и валидации рекуррентной нейронной сети

прогнозирования осложнений;

- обработки реально-временных данных и прогнозирования возникновения осложнений заданных типов: заклинивание долота, прихваты бурильной колонны, газонефтеводопроявления.

Выход рекуррентной нейросетевой модели имеет три типа сообщения о событиях, которым соответствуют осложнения: заклинивание долота, прихваты бурильной колонны и аномальные выбросы (газонефтеводопроявления) с выводом прогноза за одну минуту до возникновения осложнения.

Описания электронного оборудования для инсталляции и обеспечения функционирования модулей в изобретении не приводится.

Обобщенный алгоритм функционирования модели включает в себя следующие этапы:

1 - Формируется массив архивных данных временных рядов параметров, получаемых при бурении нефтяных и газовых скважин.

2 - Прогнозируется значение признака бурения в определенный момент времени на основе применения авторегрессионной модели и измеряется разность между полученным характеристическим значением прогноза и реальным значением, полученным при бурении скважины, что позволяет получить набор претендентов на наличие аварийных ситуаций (осложнений).

3 - Проводится экспертиза отобранных претендентов, по результатам которой отбрасываются ложные суждения и отбираются истинные, соответствующие наличию аварийных ситуаций (осложнений), которые подразделяются по типам.

4 - Производится разметка достоверных маркированных событий и формирование массива обучающих и тестовых данных.

5 - Проводится построение и обучение глубокой нейросетевой рекуррентной модели на основе сформированного обучающего массива данных, представляющих собой размеченные временные ряды со случайным расположением отмаркированных событий (осложнений).

5 Производится выбор временного окна для каждой из функций, соответствующих каждому из типов аварийных ситуаций (осложнений). Определяются гиперпараметры нейросетевой модели, которая обучается так, что вероятность возникновения непредвиденной ситуации (отказа) достоверно прогнозируется за одну минуту до аварии.

10 6 - Проводится тестирование нейросети на данных временных рядов со случайным выбором разметки, при этом входные данные являются комбинацией параметров по каждой характерной особенности, для которой осуществляется выбор временного окна анализа. Определяются гиперпараметры нейросетевой модели, которая обучается так, что вероятность возникновения непредвиденной ситуации (отказа) достоверно прогнозируется за одну минуту до аварии.

15 7 - Обученная модель рекуррентной нейронной сети применяется для прогноза вероятности возникновения выбранных типов осложнений с обеспечением окончательного экспорта прогноза за одну минуту до возникновения аварии (осложнения).

20 Данное решение основано на построении рекуррентной нейронной сети. Для ее реализации предложен подход предварительного выявления аномальных значений параметров, как признаков возможного возникновения осложнений при помощи модели авторегрессии. При отборе претендентов используется значение разности между предсказанными моделью значениями и полученными реальными значениями в заданный момент времени. После отбора возможных претендентов на возникновение  
25 осложнений они размечаются экспертами на ложные и верные в ручном режиме.

Недостатком данного изобретения является то, что реализованная авторегрессионная модель используется только на этапе предварительного отбора данных для последующей их разметки экспертами, т.е. только на этапе подготовки данных для рекуррентной нейронной сети (метод обучения с учителем). Для обучения нейронной сети применяются  
30 только размеченные экспертами данные, и не решается задача использования дополнительных видов данных, в т.ч. массивов неразмеченных и симуляционных данных. При этом для обработки реально-временных данных, поступающих в ходе бурения скважины, применяется только рекуррентная нейронная сеть и не используются  
35 дополнительные методы, для расширения пространства входных данных и повышения достоверности классификации осложнений рассматриваемых типов: заклинивание долота, прихваты бурильной колонны и аномальные выбросы (газонефтеводопроявления).

Таким образом, суть данного решения заключается в совершенствовании процесса экспертной разметки данных для обучения нейронной сети и не касается  
40 непосредственно вопросов расширения признакового пространства для повышения достоверности прогнозирования осложнений при обработке реально-временной информации при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Из известных технических решений наиболее близким к предлагаемому по технической сущности и достигаемому результату является система выявления и  
45 прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин, а именно, распознавания опасности разлива при бурении скважин на основе комплексного применения сверточной нейронной сети и методов машинного обучения (CN 110443488, 2019).

Система идентификации опасности разлива буровой скважины на основе сверточных нейронных сетей включает:

- модуль приема данных в реальном времени от комплексного каротажного прибора;

5 - модуль расширения данных от призабойной аппаратуры в режиме реального времени данными от комплексного каротажного прибора с использованием скользящего перекрытия;

- модуль предварительной обработки, предназначенный для предварительной подготовки и нормализации расширенных данных о рабочем состоянии скважины в режиме реального времени;

10 - модуль идентификации, предназначенный для ввода и обработки в реальном времени нормализованных данных о рабочем состоянии скважины в обученную сверточную нейронную сеть. На выходе модуля экспортируется результат распознавания опасности разлива буровой скважины.

Особенностью известной системы является использование модуля, предназначенного 15 для получения и обработки в реальном масштабе времени данных от комплексного каротажного прибора. Для обработки получаемых реально-временных данных используется метод скользящего окна с перекрытием, обеспечивающий автоматическое выявление аномальных отклонений параметров от рабочего режима, не требующий никакой дополнительной обработки или экспертизы (метод обучения без учителя).

20 Обработанные таким образом данные совместно с реально-временными данными от призабойной аппаратуры направляются на вход сверточной нейросетевой модели выявления и прогнозирования возникновения разливов буровых скважин и идентификации возникающих рисков.

При этом для расширения пространства входных данных классификационной 25 сверточной нейронной сети используется метод скользящего окна для выявления аномалий в реально-временных данных от комплексного каротажного прибора. Такая конфигурация известной системы приводит к существенным ограничениям на типы выявляемых и прогнозируемых осложнений, а именно, функционально система ограничена только выявлением и распознаванием угроз разливов в буровых скважинах. 30 Кроме того, необходимость применения комплексного каротажного прибора приводит к ограничениям в использовании известного решения операцией бурения сложных горизонтальных скважин и нецелесообразностью или невозможностью его использования при проведении других операций, связанных со строительством скважин.

Таким образом, известная система может найти применение только в одной из 35 операций строительства скважин - бурении сложных горизонтальных скважин, при этом использование комплексного каротажного прибора значительно усложняет процесс бурения и приводит к дополнительным временным и финансовым затратам.

Сравнение производственных и экономических показателей показывает, что использование традиционного каротажа на кабеле (КПК) предпочтительно для скважин 40 с отклонением до 50 градусов, в то время как для скважин с большим уклоном применение каротажа во время бурения (КВБ) становится целесообразным. При этом, несмотря на целесообразность применения КВБ, некоторые специализированные измерения КПК остаются по-прежнему необходимыми (например, отбор бокового керна). Из-за более высокой стоимости простоя буровой, часто можно столкнуться с 45 рекомендациями по использованию КВБ на скважинах в море.

Однако для большинства морских месторождений, находящихся в стадии текущей разработки и эксплуатации, это утверждение не подходит, и использование стандартного каротажа (КНК) является более выгодным.

Вышеприведенные обстоятельства обуславливают достаточно ограниченное применение технологий КВБ в практике строительства скважин, что делает актуальными задачи расширения параметрического пространства, разработки и совершенствования интеллектуальных методов выявления и предупреждения осложнений на всех этапах и технологических операциях при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Общими недостатками рассмотренных выше известных систем выявления и прогнозирования осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин с использованием нейронных сетей являются невозможность учета специфики разнообразных сценариев возникновения осложнений различных типов в рамках применения только одной нейросетевой модели, а также зависимость точности и достоверности вырабатываемых предсказаний от, как правило, ограниченного объема данных для обучения и валидации классификационных нейросетевых моделей. При этом наряду с дефицитом размеченных экспертами данных имеются большие объемы неразмеченных данных геолого-технологических исследований (ГТИ), которые целесообразно использовать для достижения заданных целевых показателей нейросетевой модели по выявлению и прогнозированию осложнений, применяя для этого вспомогательные методы машинного обучения.

Указанные недостатки снижают точность и достоверность прогнозируемых рисков и повышают вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Технической проблемой, на решение которой направлено предлагаемое изобретение является снижение аварийности при строительстве нефтяных и газовых скважин путем повышения точности и достоверности выявления и прогнозирования возникновения осложнений в условиях широкого спектра прогнозируемых типов осложнений и существующих ограничений на состав и объем исходных данных.

Указанная проблема решается тем, что автоматизированная система выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин содержит модуль сбора реально-временных данных геолого-технологических исследований с объекта строительства с подсоединенной к нему архивной базой данных геолого-технологических исследований, буровой тренажер, базу данных симулятора, модуль предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, модуль разметки данных геолого-технологических исследований, размеченную и неразмеченную базы данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации модели выявления аномалий в данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации моделей прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, модуль прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, модуль прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, модуль формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений, модуль оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений и модуль анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений и аварийных ситуаций, при этом выходы модуля сбора реально-временных данных с объекта строительства и архивной базы данных геолого-технологических исследований подсоединены к модулю предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, выходы которого подключены к входам модуля разметки данных геолого-технологических исследований, неразмеченной базе данных геолого-технологических исследований и к первым входам модуля оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений, модуля прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических

исследований и модуля прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, выход модуля разметки данных геолого-технологических исследований связан с входом размеченной базы данных геолого-технологических исследований, выход которой подключен ко вторым входам модулей прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений и к первому входу модуля формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений, выход бурового тренажера подсоединен к базе данных симулятора, выход которого подключен к входу модуля формирования, обучения и валидации моделей прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, выход которого подсоединен к третьему входу модуля прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, выходы которого подключены к второму входу модуля оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений и к второму входу модуля формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений, к третьему входу которого подключен выход модуля прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, выход неразмеченной базы данных геолого-технологических исследований подключен к модулю формирования, обучения и валидации модели выявления аномалий в данных геолого-технологических исследований, выход которого подключен к третьему входу модуля прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, выход которого совместно с выходом модуля формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений подключены, соответственно, к третьему и четвертому входам модуля оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений, выход которого подключен к входу модуля анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений и аварийных ситуаций, выход которого является выходом системы.

Достижимый технический результат заключается в расширении пространства входных данных для прогнозирования возникновения осложнений при строительстве скважин за счет использования дополнительных источников информации - неразмеченных массивов данных и симуляционных данных от бурового тренажера, а также применения вспомогательных моделей машинного обучения для повышения точности и достоверности классификационной нейросетевой модели.

Предлагаемая структурная схема автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве скважин представлена на фиг. 1.

Предлагаемая система автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве скважин содержит модуль сбора реально-временных данных геолого-технологических исследований 1 с объекта строительства с подсоединенной к нему архивной базой данных геолого-технологических исследований 2, модуль предварительной обработки данных геолого-технологических исследований 3, модуль разметки данных геолого-технологических исследований 4, размеченную 5 и неразмеченную 6 базы данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации модели выявления аномалий в данных геолого-технологических исследований 7, буровой тренажер 8, базу данных симулятора 9, модуль формирования, обучения и валидации моделей прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений 10, модуль прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований 11, модуль

прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений 12, модуль формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений 13, модуль оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений 14 и модуль анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений и аварийных ситуаций 15.

Функциональные связи между структурными элементами системы будут отражены в ходе описания ее работы.

В предлагаемой конфигурации автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве скважин в качестве исходных данных для построения и обучения моделей используются архивные данные геолого-технологических исследований (ГТИ), полученные при бурении скважин на освоенных месторождениях, симуляционные данные от бурового тренажера, полученные по результатам моделирования типовых ситуаций возникновения осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин, а также реально временные данные ГТИ, поступающие в процессе строительства скважин в реальном масштабе времени.

Функционирование предлагаемой автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве скважин осуществляется следующим образом.

В модуле предварительной обработки данных ГТИ 3 осуществляется обработка, как архивных, поступающих от архивной базы данных геолого-технологических исследований 2, так и реально-временных данных ГТИ, поступающих от модуля сбора реально-временных данных 1 с объекта строительства.

В модуле предварительной обработки данных ГТИ 3 производится:

- очистка данных от выбросов и сбойных значений датчиков;

- интерполяция значений параметров для пропущенных временных моментов и выравнивание частоты снятия показаний различных датчиков;

- нормировка данных, предназначенная для введения производных параметров, получаемых из показаний датчиков в процессе бурения, а также для ухода от размерностей входных данных и приведения их к нормированному виду перед подачей в модели рекуррентной нейронной сети и методов машинного обучения;

- распределение предварительно обработанных архивных данных по видам: архивные данные ГТИ с соответствующей им контекстной информацией, которые выдаются в модуль разметки данных ГТИ 4, и архивные данные ГТИ без привязанной контекстной информации, которые поступают в неразмеченную базу данных ГТИ 6.

В модуле разметки данных геолого-технологических исследований 4 в автоматизированном режиме осуществляется разметка архивных данных ГТИ экспертами по заданным типам осложнений: "Прихват", "Поглощение" и "Газонефтеводопроявление" с использованием соответствующей контекстной информации, по результатам которой производится формирование обучающих и тестовых массивов данных и формирование базы данных размеченной ГТИ 5.

Неразмеченная база данных ГТИ 6 используется для формирования обучения и тестирования модели одноклассового метода машинного обучения выявления аномалий в данных ГТИ в модуле формирования, обучения и валидации модели выявления аномалий 7. Данный подход основан на принципе выделения аномальных отклонений в показаниях наблюдаемых параметров при строительстве скважин. Такая задача относится к классу задач обучения без учителя, поскольку во входные данные не предоставляется изначальная разметка наборов параметров бурения на нормальные и аномальные. Реализация данного метода в автоматизированной системе позволяет

использовать большой объем неразмеченных данных, а также служит дополнительным признаком для модели более высокого уровня - рекуррентной нейронной сети, повышающим ее возможности по выявлению и прогнозированию осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин.

5 Для построения такой модели используется метод изолирующего леса (Isolation Forest), который заключается в построении случайного бинарного решающего дерева, которое может распознавать аномалии различных видов: как изолированные точки с низкой локальной плотностью, так и кластеры аномалий малых размеров.

10 Для расширения состава исходных данных, особенно по редко встречающимся в практике типам осложнений, в автоматизированной системе выявления и прогнозирования осложнений при строительстве скважин используются симуляционные данные от бурового тренажера 8, которые формируются на основе моделирования типовых ситуаций возникновения осложнений заданных типов. Массивы параметров, генерируемые тренажерными моделями типовых ситуаций возникновения осложнений  
15 поступают и хранятся в базе симуляционных данных 9.

База данных симулятора используется для формирования дополнительных классификационных признаков выявления и прогнозирования возникновения аномалий. С использованием симуляционных данных в модуле формирования, обучения и валидации регрессионных моделей функций индикаторов возникновения осложнений  
20 10 осуществляется построение и тестирование моделей метода машинного обучения прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений заданных типов: "прихват", "поглощение" и "газонефтеводопроявление".

Основной целью использования данных моделей является ее настройка на отслеживание изменений определенных параметров, которые могут служить  
25 дополнительными классификационными признаками для модели более высокого уровня - рекуррентной нейронной сети выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин.

В качестве основного алгоритма для прогнозирования значений функций индикаторов использовался метод на основе случайного леса (Randomfbrest), который является  
30 ансамблевым методом регрессии, задействующим ряд регрессионных деревьев для различных случайно выбранных подвыборок ансамблей параметров и использующий усреднение для повышения точности прогнозирования. Критерием срабатывания является достижение функцией определенного порога и ее удержание выше него. В нашем случае величина порога подбиралась автоматически на основе анализа  
35 результатов тестирования регрессионной модели.

Массивы обучающих и тестовых данных из размеченной базы данных ГТИ 5 поступают на первые входы модулей прогнозирования возникновения аномалий в данных ГТИ 11, прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений 12 и модуля формирования, обучения и валидации рекуррентной  
40 нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений 13.

Выходные значения модулей прогнозирования возникновения аномалий в данных ГТИ 11 и прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений 12 служат для расширения пространства исходных данных при построении топологии основной классификационной рекуррентной нейронной сети выявления и  
45 прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Массивы обучающих и тестовых данных из размеченной базы данных ГТИ 5, расширенные выходные значения (параметры) модулей 11 и 12 используются для построения основной классификационной нейронной сети выявления и прогнозирования

осложнений заданных типов: "прихват", "поглощение" и "газонефтеводопроявление" в модуле формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений 3.

5 Реально-временные данные ГТИ от модуля сбора реально-временных данных 1 от объекта строительства после предварительной обработки в модуле предварительной  
обработки данных геолого-технологических исследований 3 поступают на вторые  
входы модулей прогнозирования возникновения аномалий в данных ГТИ 11 и  
10 прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений 12, выходы  
которых, соответственно, подключены ко второму и к третьему входам модуля  
формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели  
15 прогнозирования возникновения осложнений 13, выходные значения, которых служат  
для расширения пространства входных данных объединяющей классификационной  
рекуррентной нейронной сети прогнозирования возникновения осложнений при  
строительстве нефтяных и газовых скважин.

15 Выходные значения модулей прогнозирования возникновения аномалий в данных  
ГТИ 11 и прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений  
12 совместно с реально-временными данными с модуля сбора реально-временных  
данных ГТИ поступают, соответственно, на третий и второй входы модуля оценки  
20 прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений 14, по результатам  
обработки в котором выдаются численные значения прогнозных вероятностей  
возникновения осложнений заданных типов: "прихват", "поглощение" и  
"газонефтеводопроявление". При этом прогнозные оценки возникновения аномалий в  
данных ГТИ, получаемые в модуле 11, служат дополнительными параметрами для  
25 анализа возможности возникновения осложнений, а прогнозные значения функций  
индикаторов возникновения осложнений, рассчитываемые в модуле 12, являются  
дополнительными классификационными признаками выявления осложнений при  
строительстве нефтяных и газовых скважин.

По результатам обработки расширенного ансамбля реально-временных данных в  
модуле оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений 14 на  
30 основе объединяющей классификационной рекуррентной нейросетевой модели  
производится идентификация типов осложнений и прогноз их возникновения с  
определенным временным интервалом упреждения, который выбирается на этапе  
тестирования, исходя из заданных значений достоверности выявления осложнений и  
вероятности ложных тревог.

35 Выходные значения прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений  
поступают в модуль анализа и формирования предупреждений о возникновении  
осложнений 15, в котором производится анализ выходных данных объединяющей  
рекуррентной нейронной сети и сравнение текущего значения прогнозной вероятности  
с задаваемым пороговым значением (по умолчанию принимается равным 0,5), при  
40 превышении которого формируется и выводится на экран оператора предупреждающее  
сообщение, содержащее данные о типе осложнения, значении прогнозной вероятности  
его возникновения и значении временного интервала прогноза.

Использование вспомогательных регрессионных моделей прогнозирования функций  
индикаторов и одноклассовой модели машинного обучения выявления аномальных  
45 значений данных ГТИ позволяет расширить пространство входных параметров для  
объединяющей сверточной классификационной нейронной сети, используя не только  
предварительно размеченные экспертами данные, которых зачастую не хватает, но и  
большой объем неразмеченных данных ГТИ, а также симуляционные данные,

полученные по результатам моделирования типовых ситуаций возникновения осложнений на буровом тренажере.

Разработанная архитектура обеспечивает повышение эффективности функционирования разработанной автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин до заданных показателей.

Для расчета точности классификационной рекуррентной нейронной сети использовались метрики Accuracy и f1 score. Оценка Accuracy определяется как отношение количества моментов, в которых совпали эталонные и предсказанные метки к общему количеству моментов. Для расчета оценок f1 score сначала для каждого класса рассчитывалось количество верно отнесенных (TP) к нему точек, неверно отнесенных (FP), и неверно неотнесенных (FN). После этого рассчитывалось общее значение точности равно:  $TP/(TP+FP)$  и полноты  $TP/(TP+FN)$ . При этом каждый тестовый пример берется с весом, зависящим от представительности класса, f1-score weighted рассчитывается как:  $2 \text{ (точность} \times \text{ полнота)} / \text{(точность} + \text{ полнота)}$ . При этом временной интервал прогноза осложнений составлял 7 минут.

Полученные точности, для прогнозирования различных видов осложнений, по метрике Accuracy составили:

- 1) Для осложнений типа ГНВП: 78%;
- 2) Для осложнений типа "прихват": 78%;
- 3) Для осложнений типа "поглощение": 89%.

Апробация автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве скважин на основе комплексного применения рекуррентной нейронной сети и методов машинного обучения на тестовых и реальных данных показала высокую сходимость прогнозируемых и реальных данных (корреляция) для осложнений заданных типов: "прихват", "поглощение" и "газонефтеводопроявление".

Электронное оборудование автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин включает в свой состав:

- серверную компоненту на базе высокопроизводительных ЭВМ с GPU, включающую: хранилища размеченных, неразмеченных и симуляционных данных ГТИ; хранилище (библиотека) моделей машинного обучения прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений и выявления аномалий в данных ГТИ, классификационных нейросетевых моделей; программные компоненты модулей: 3, 4, 7, 10-15, см. фиг. 1;
- клиентскую (мобильная) компоненту на базе ПЭВМ или ноутбука с высокопроизводительным GPU, включающую программные компоненты модулей: 3, 11-12, 14-15, см. фиг. 1;
- оборудование телекоммуникационного и сетевого взаимодействия;
- комплекты инсталляционного программного обеспечения модулей 1, 3-15 (см. фиг. 1.) в формате Docker.

Серверная компонента располагается в центре управления бурением (центре компетенций) нефтегазовой компании. Клиентская компонента располагается на буровой площадке и сопрягается с геолого-технологической аппаратурой непосредственно или через вычислительный узел, а также с серверной компонентой по выделенным телекоммуникационным каналам связи.

Таким образом, основными отличиями предлагаемого изобретения от решения по патенту CN-110443488, являются:

- использование дополнительных источников данных: хранилищ неразмеченных данных ГТИ, а также симуляционных данных от бурового тренажера;  
 - в решении по патенту CN110443488 для расширения пространства входных данных для сверточной нейронной сети используется модуль получения и обработки данных от комплексного каротажного прибора, что связано с ограничениями на применение системы при бурении (наличие КВБ).

В предлагаемом изобретении для расширения пространства входных данных для рекуррентной нейронной сети используются модули прогнозирования возникновения аномалий в данных ГТИ 11 и прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений 12, которые не накладывают ограничений на применение автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений в зависимости от применяемых технологии бурения и выполняемых технологических операций при строительстве скважин;

- применение другого типа классификационной нейросетевой модели - рекуррентной нейронной сети вместо сверточной, что связано с различием в структуре входных данных и организации их последующей обработки.

Отличительной особенностью и достоинством разработанного способа по сравнению с известными изобретениями является использование расширенного состава исходных данных, дополнительно включающих неразмеченные данные ГТИ и симуляционные данные бурового тренажера, а также комплексное применение методов машинного обучения и объединяющей классификационной рекуррентной нейронной сети на основе принципа взаимной дополнительности, обеспечивающие повышение достоверности выявления и прогнозирования осложнений заданных типов: "прихват", "поглощение" и "газонефтеводопроявление" по результатам обработки реально-временных данных при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Разработанная архитектура автоматизированной системы выявления и прогнозирования является открытой по отношению к входным данным и типам прогнозируемых событий, и ее применение может быть расширено на другие типы осложнений, возникающие при строительстве нефтяных и газовых скважин.

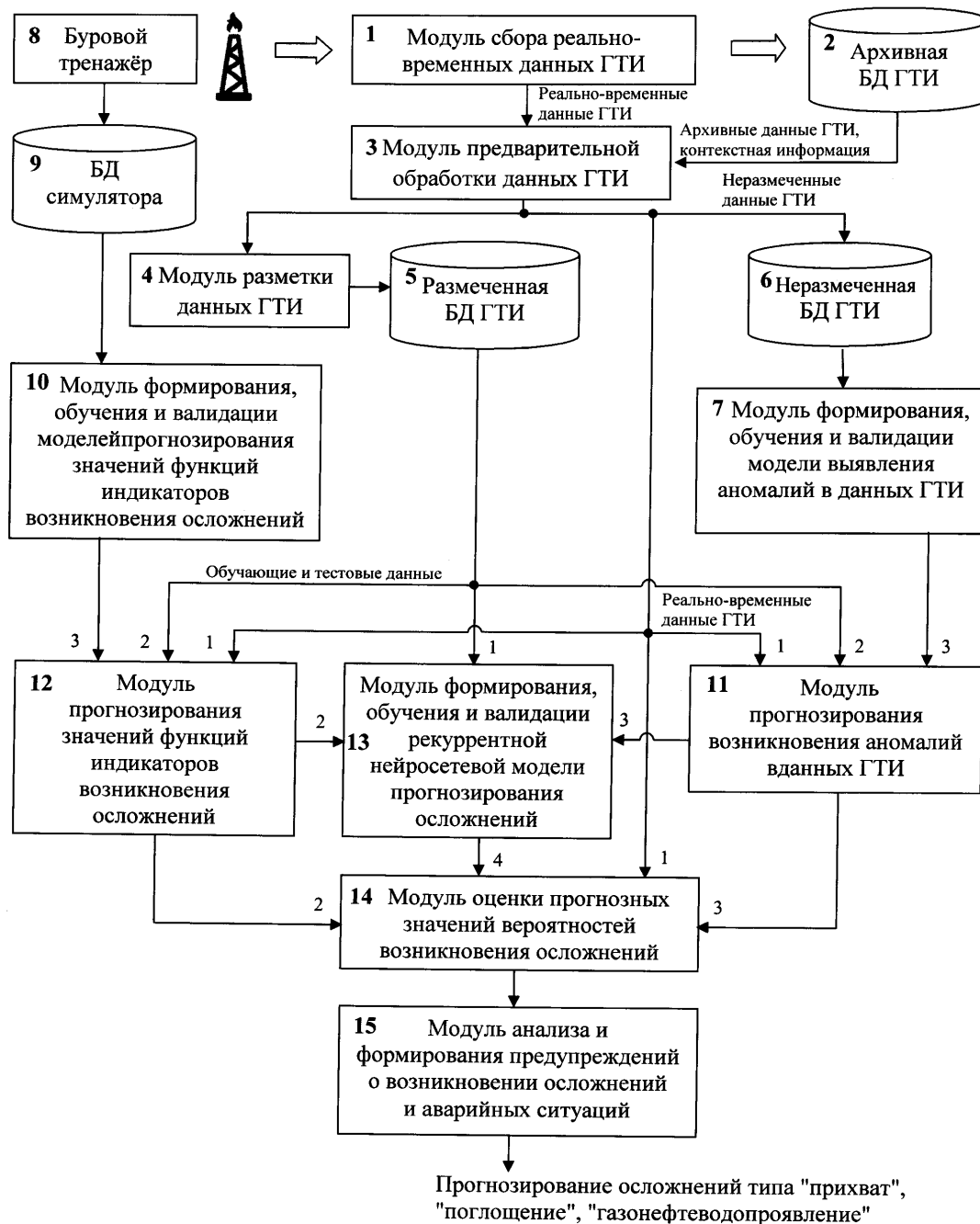
#### (57) Формула изобретения

Автоматизированная система выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин, характеризующаяся тем, что она содержит модуль сбора реально-временных данных геолого-технологических исследований с объекта строительства с подсоединенной к ней архивной базой данных геолого-технологических исследований, буровой тренажер, базу данных симулятора, модуль предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, модуль разметки данных геолого-технологических исследований, размеченную и неразмеченную базы данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации модели выявления аномалий в данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации моделей прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, модуль прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, модуль прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, модуль формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений, модуль оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений и модуль анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений и аварийных ситуаций, при этом выходы

модуля сбора реально-временных данных геолого-технологических исследований с объекта строительства и архивной базы данных геолого-технологических исследований подсоединены к модулю предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, выходы которого подключены к входам модуля разметки данных геолого-технологических исследований, неразмеченной базе данных геолого-технологических исследований и к первым входам модуля оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений, модуля прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований и модуля прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, выход модуля разметки данных геолого-технологических исследований связан с входом размеченной базы данных геолого-технологических исследований, выход которой подключен ко вторым входам модулей прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений и к первому входу модуля формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений, выход бурового тренажера подсоединен к базе данных симулятора, выход которого подключен к входу модуля формирования, обучения и валидации моделей прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, выход которого подсоединен к третьему входу модуля прогнозирования значений функций индикаторов возникновения осложнений, выходы которого подключены ко второму входу модуля оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений и ко второму входу модуля формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений, к третьему входу которого подключен выход модуля прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, выход неразмеченной базы данных геолого-технологических исследований подключен к модулю формирования, обучения и валидации модели выявления аномалий в данных геолого-технологических исследований, выход которого подключен к третьему входу модуля прогнозирования возникновения аномалий в данных геолого-технологических исследований, выход которого совместно с выходом модуля формирования, обучения и валидации рекуррентной нейросетевой модели прогнозирования возникновения осложнений подключены, соответственно, к третьему и четвертому входам модуля оценки прогнозных значений вероятностей возникновения осложнений, выход которого подключен к входу модуля анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений и аварийных ситуаций, выход которого является выходом системы.

40

45



Фиг. 1