



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: 2020129671, 08.09.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.09.2020

Дата 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),
Чащина-Семенова Ольга Кимовна (RU),
Фицнер Леонид Константинович (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 109508827 A, 22.03.2019. RU
2723805 C9, 27.07.2020. RU 2602779 C2,
20.11.2016. CN 104121014 A, 29.10.2014. CN
110443488 A, 12.11.2019.

(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 при строительстве новых нефтяных и газовых скважин в условиях априорной неопределенности, связанной с неполным и/или неточным знанием геолого-геофизических условий. 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 ней архивной базой данных геолого-технологических исследований, модуль предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, модуль разметки данных геолого-технологических исследований, размеченную базу данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей, модуль прогнозирования параметров геолого-технологических исследований, модуль распознавания технологических операций, модуль оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, модуль оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным, модуль

формирования данных для адаптации нейросетевых моделей, модуль оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей, модуль адаптации нейросетевых моделей, модуль проверки и замены обобщенных нейросетевых моделей. Достигаемый технический результат заключается в обеспечении обратной

связи на основе оценки рассогласования выходов нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным, адаптации (пересчета), проверки и замены текущих обобщенных нейросетевых моделей и, таким образом, реализации пошаговой адаптации к конкретным геолого-геофизическим условиям. 1 ил.

RU 2 7 4 5 1 3 6 C 1

RU 2 7 4 5 1 3 6 C 1



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: 2020129671, 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),
Chashchina-Semenova Olga Kimovna (RU),
Fitsner Leonid Konstantinovich (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 the field of the oil and gas industry, namely 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, oil and 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 during the construction of new oil and gas wells under conditions of a priori uncertainty associated with incomplete and / or inaccurate knowledge of geological-geophysical conditions. This problem is solved by the fact that the automated system for identifying and predicting complications during 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 module for preliminary processing of geological and technological data, technological research, a module for marking up geological and technological research data, a marked-up database of geological and technological research, a module for the formation, training and validation of generalized neural network models, a module for predicting the parameters of geological and technological research, a module for recognizing technological operations, a module for assessing the likelihood of complications by predictive and real-time data, a module for evaluating the mismatch of the output values of neural network models using predicted and real-time data, a data generation module for adapting neural network models, module for operational data markup for adaptation of neural network models, module for adaptation of neural network models, module for checking and replacing generalized neural network models.

EFFECT: achieved technical result consists in

providing feedback based on the assessment of the mismatch of the outputs of neural network models based on predicted and real-time data, adaptation (recalculation), verification and replacement of current

generalized neural network models and, thus, the implementation of step-by-step adaptation to specific geological and geophysical conditions.
1 cl, 1 dwg

R U 2 7 4 5 1 3 6 C 1

R U 2 7 4 5 1 3 6 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, газонефтеводопроявления 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 геолого-геофизических условий при строительстве новых скважин.

Известна система прогнозирования события прихвата бурильной 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 бурильной 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 компьютерных системах (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-бурильщику прогноз, основанный на комбинированной вероятности, т.е. предупреждает о наступлении в будущем события типа "прихват", исходя из набора обучающих данных и последующей 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 итоговые 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

5 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.

10 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).

15 Также известна система выявления и 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

20 нейронных сетей включает:

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

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

- модуль идентификации, предназначенный для ввода и обработки в реальном времени нормализованных данных о рабочем состоянии скважины в обученную сверточную

30 нейронную сеть. На выходе модуля экспортируется результат распознавания опасности разлива буровой скважины.

Особенностью известной системы является использование модуля, предназначенного для получения и обработки в реальном масштабе времени данных от комплексного каротажного прибора. Для обработки получаемых реально-временных данных

35 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).

Обработанные таким образом данные совместно с реально-временными данными от призабойной аппаратуры направляются на вход сверточной нейросетевой модели

40 выявления и прогнозирования возникновения разливов буровых скважин и идентификации возникающих рисков.

При этом для расширения пространства входных данных классификационной сверточной нейронной сети используется метод скользящего окна для выявления аномалий в реально-временных данных от комплексного каротажного прибора. Такая

45 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. 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 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 (КНК) предпочтительно для скважин 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 КНК остаются по-прежнему необходимыми (например, отбор бокового керна). Из-за более высокой стоимости простоя буровой, часто можно столкнуться с 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.

Из известных технических решений наиболее близким к предлагаемому по технической сущности и достигаемому результату является система выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин, а именно, раннего предупреждения об отказе при бурении на основе применения рекуррентной нейронной сети, описанная в патенте на изобретение CN109508827, 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 осложнениям: 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).

6. 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.

7. 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.

8. 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).

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 осложнений они размечаются экспертами на ложные и верные в ручном режиме.

Недостатком данного изобретения является то, что реализованная в 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) и не используется при обработке реально временных данных.

Кроме того, известная система не учитывает конкретные геолого-геофизические условия при бурении новых скважин и даже при вводе априорной оценки геологических характеристик в состав обучающих данных для рекуррентной нейронной сети будет иметь место значительная неопределенность, связанная с неточностью их определения и, следовательно, низкой достоверностью получаемых прогнозных данных, которая может привести к ошибкам в прогнозировании осложнений при бурении новых скважин. Также к числу недостатков следует отнести малое полученное значение временного интервала прогноза возникновения аварийной ситуации, составляющего 1 минуту.

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

Общим недостатком рассмотренных выше известных систем выявления и прогнозирования осложнений в процессе строительства нефтяных и газовых скважин с использованием нейронных сетей являются отсутствие учета конкретных геолого-геофизических условий при строительстве новых нефтяных и газовых скважин.

Указанный недостаток снижают точность и достоверность прогнозируемых рисков и повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций при строительстве новых 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 при строительстве новых нефтяных и газовых скважин в условиях априорной неопределенности, связанной с неполным и/или неточным знанием геолого-геофизических условий.

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 ней архивной базой данных геолого-технологических исследований, модуль предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, модуль разметки данных геолого-технологических исследований, размеченную базу данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей, модуль прогнозирования параметров геолого-технологических исследований, модуль распознавания технологических операций, модуль оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, модуль оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным, модуль формирования данных для адаптации нейросетевых моделей, модуль оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей, модуль адаптации нейросетевых моделей, модуль проверки и замены обобщенных нейросетевых моделей, при этом выходы модуля сбора реально-временных данных геолого-технологических исследований с объекта строительства и архивной базы данных геолого-технологических исследований подсоединены к входам модуля предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, выходы которого подключены к входам модуля разметки данных геолого-технологических исследований, модуля прогнозирования параметров геолого-технологических исследований, модуля распознавания технологических операций и к первому входу модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, выход модуля разметки данных геолого-технологических исследований подсоединен к размеченной базе данных геолого-технологических исследований, выход которой подключен к первому входу модуля формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей, выход модуля прогнозирования параметров геолого-технологических исследований подсоединен ко второму входу модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, выход модуля распознавания технологических операций

подсоединен к входу модуля формирования данных для адаптации нейросетевых моделей и к третьему входу модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, к четвертому входу которого подключен выход модуля формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей, выходы модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным подсоединены к входам модуля оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным и модуля анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений, выход которого является выходом системы, один из выходов модуля оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным подсоединен к пятому входу модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, а его другой выход - к первому входу модуля оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей, ко второму входу которого подсоединен выход модуля формирования данных для адаптации нейросетевых моделей, выход модуля оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей подсоединен к модулю адаптации нейросетевых моделей, подсоединенному к модулю проверки и замены обобщенных нейросетевых моделей, выход которого подсоединен ко второму входу модуля формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей.

Достижимый технический результат заключается в обеспечении обратной связи на основе оценки рассогласования выходов нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным, адаптации (пересчета), проверки и замены текущих обобщенных нейросетевых моделей, и, таким образом, реализации пошаговой адаптации к конкретным геолого-геофизическим условиям.

Структурная схема автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при бурении скважин на основе применения искусственной нейронной сети (ИНС) с пошаговой адаптацией к конкретным геолого-геофизическим условиям приведена на фиг.1.

Предлагаемая система автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве скважин содержит модуль сбора реально-временных данных геолого-технологических исследований с объекта строительства 1 с подсоединенной к ней архивной базой данных геолого-технологических исследований 2, модуль предварительной обработки данных геолого-технологических исследований 3, модуль разметки данных геолого-технологических исследований 4, размеченную базу данных геолого-технологических исследований 5, модуль формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей 6, модуль прогнозирования параметров геолого-технологических исследований 7, модуль распознавания технологических операций 8, модуль оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным 9, модуль оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным 10, модуль формирования данных для адаптации нейросетевых моделей 11, модуль оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей 12, модуль адаптации нейросетевых моделей 13, модуль проверки и замены обобщенных нейросетевых моделей 14, модуль анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений 15.

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

Исходными данными для формирования обобщенных моделей выявления и прогнозирования осложнений при бурении нефтяных и газовых скважин являются

архивные данные геолого-технологических исследований (ГТИ), полученные при бурении скважин на освоенных месторождениях, которые используются для формирования обучающих выборок и формирования обобщенной нейросетевой модели оценки возможностей возникновения осложнений в процессе строительства скважин.

5 Данные, используемые для адаптации обобщенных нейросетевых моделей к конкретным геолого-геофизическим условиям при строительстве новых скважин - это реально-временная информация геолого-технологических исследований, получаемая в процессе бурения новых скважин.

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

Модуль сбора реально-временных данных ГТИ 1 принимает информацию геолого-технологических исследований от призабойной аппаратуры скважины и передает ее в архивную базу данных ГТИ 2 и в модуль предварительной обработки данных 3. На 15 вход модуля предварительной обработки данных 3 передаются реально-временные данные геолого-технологических исследований (ГТИ), а на вход модуля 2 архивные данные ГТИ и связанная с ними контекстная информация.

В модуле предварительной обработки данных ГТИ 3 осуществляется обработка, как архивных, поступающих из архивной базы данных геолого-технологических 20 исследований 2, так и реально-временных данных ГТИ, поступающих от модуля сбора реально-временных данных с объекта строительства 1.

В модуле предварительной обработки данных ГТИ 3 производится:

- очистка данных от выбросов и сбойных значений датчиков;
- интерполяция значений параметров для пропущенных временных моментов и
- 25 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 модель нейронной сети и методов машинного обучения;
- 30 - разбивка параметрических данных на кадры.

Прошедшие первичную обработку архивные данные передаются в модуль разметки данных геолого-технологических исследований 4, в котором эксперты с использованием контекстной информации в автоматизированном режиме производят их кластеризацию по типам прогнозируемых осложнений, формирование обучающих и тестовых массивов 35 данных, которые поступают в размеченную базу данных ГТИ 5.

Из размеченной базы данных ГТИ 5 информация поступает на первый вход модуля формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей 6. По результатам обработки размеченных архивных данных с реальных месторождений для выявления осложнений при строительстве скважин формируется обобщенная 40 нейросетевая модель типа многослойный персептрон с бинарной классификацией, проводится ее тестирование и проверка точностных характеристик. С выхода модуля формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей 6 построенные модели ИНС поступают на первый вход модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным 9.

45 Реально-временная информация ГТИ от призабойной аппаратуры при строительстве скважины, прошедшая предварительную подготовку, поступает на второй вход модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным 9, на вход модуля прогнозирования параметров ГТИ 7, где на основе

регрессионной модели производится расчет прогнозных значений параметров на заданный временной интервал ΔT_p , а также в модуль распознавания технологических операций 8 при строительстве скважин, в котором в автоматическом режиме производится идентификация типа текущей операции при проведении работ на скважине.

5 Выходные данные с этих модулей поступают, соответственно, на третий и четвертый входы модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным 9.

Параллельно подготовленная реально-временная информация ГТИ, привязанная к типу технологической операции, поступает из модуля 8 в модуль формирования данных для адаптации нейросетевых моделей 11. Эта информация накапливается в хранилище данных в виде отдельных информационных массивов для каждой модели и скважины и поступает на второй вход модуля оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей 12.

С выхода модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным 9 рассчитанные значения вероятностей поступают на вход модуля оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным 10, в котором по заданным метрикам на каждом интервале прогноза производится расчет критериев рассогласования для задачи регрессии: корень из среднеквадратической ошибки RMSE и коэффициент детерминации и для задачи классификации для каждого типа осложнений рассчитывается количество верно отнесенных (TP) к нему точек, неверно отнесенных (FP), и неверно не отнесенных (FN). После этого рассчитывается общее значение точности равно: $TP/(TP+FP)$ и полноты $= TP/(TP+FN)$.

Временной интервал прогноза осложнений -N кадров данных ГТИ, минимальное значение по умолчанию принимается $N=150$.

При значениях критериев, рассчитанных на заданном количестве временных интервалов прогноза, меньше установленных пороговых значений делается вывод о допустимости использования текущей обобщенной нейросетевой модели для прогнозирования возникновения осложнений при строительстве новой скважины и прогнозные оценки с выхода модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным 9 поступают на вход модуля анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений 15, который является выходом системы по прогнозу возникновения осложнений заданных типов.

При превышении критериев пороговых значений делается вывод о наличии рассогласования выхода текущей обобщенной нейросетевой модели с реальными геолого-геофизическими условиями при строительстве новой скважины, информация о возникновении рассогласования поступает на первый вход модуля оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей 12, в котором оператор автоматизированной системы размечает данные с учетом типа выполняемой технологической операции, выходных данных нейросетевой модели и действий оператора буровой установки.

При этом принципиальным отличием модуля оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей 12 от модуля разметки данных ГТИ 4 является то, что разметка в нем осуществляется не экспертом в режиме постобработки, а оператором автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений в реальном масштабе времени.

Таким образом, в зависимости от величины рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным формируются

выходы модуля 10:

- при величине рассогласования меньше заданного порогового значения формируется сообщение о корректности применения нейросетевой модели для прогнозирования осложнений на текущем временном интервале ΔT_n и выдается на пятый вход модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным 9;

- при величине рассогласования больше заданного порогового значения формируется сообщение о необходимости проведения адаптации, обобщенной нейросетевой модели, а также выдается на первый вход модуля оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей 12 команда на запуск контура обратной связи адаптации модели.

Размеченные данные поступают на вход модуля адаптации (пересчета весовых коэффициентов) нейросетевых моделей 13. Адаптированные модели поступают на вход модуля проверки и замены обобщенных нейросетевых моделей 14, где производится их проверка на точность. Прошедшие проверку адаптированные модели поступают на второй вход модуля формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей 6, где производится замена текущих обобщенных нейросетевых моделей, и вероятностные оценки теперь рассчитываются в модуле оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным 9 в соответствии с новыми моделями и выдаются на вход модуля анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений 15. На выход системы экспортируется прогноз возникновения осложнений, заданных типов с оценкой корректности применения нейросетевой модели на заданном временном интервале прогноза.

Цикл адаптации, обобщенной нейросетевой модели для обеспечения адаптации к конкретным геолого-геофизическим условиям при проведении работ на новой скважине завершается и начинается накопление данных для выполнения следующего цикла адаптации.

Электронное оборудование автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве нефтяных и газовых скважин на основе применения искусственной нейронной сети с пошаговой адаптацией к конкретным геолого-геофизическим условиям включает в свой состав:

- серверную компоненту на базе высокопроизводительных ЭВМ с GPU, включающую: хранилища размеченных данных ГТИ; хранилище (библиотека) классификационных обобщенных нейросетевых моделей по заданным типам осложнений; программные компоненты модулей: 1, 3-6, 9, 15, см. фиг. 1;

- клиентскую (мобильную) компоненту на базе ПЭВМ или ноутбука с высокопроизводительным GPU, включающую программные компоненты модулей: 1, 3, 7-15, 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.

Отличительной особенностью и достоинством предлагаемого технического решения является реализация контура обратной связи на основе организации применения регрессионной модели прогнозирования параметров геолого-технологических

исследований и их сравнительного анализа с оценками, полученными по реальным данным, что позволяет автоматически выделять отклонения от штатных режимов функционирования системы, проводить оперативную разметку реально-временных данных и адаптацию (пересчет весовых коэффициентов) нейросетевых моделей в реальном масштабе времени.

Основными преимуществами разработанной автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при строительстве скважин, по сравнению с рассмотренными выше известными решениями, является предоставление оператору инструмента непрерывного контроля корректности работы используемых обобщенных нейросетевых моделей, а также повышение точности и достоверности прогнозирования осложнений, путем их пошаговой адаптации к конкретным геолого-геофизическим условиям при строительстве новых нефтяных и газовых скважин (месторождений).

Апробация автоматизированной системы выявления и прогнозирования осложнений при бурении нефтяных и газовых скважин на основе применения искусственной нейронной сети с пошаговой адаптацией к конкретным геолого-геофизическим условиям на тестовых и реальных данных показала сходимость прогнозируемых и реальных данных (корреляция) для осложнений типа "прихват", не связанных с обвальным шламом от верхнерасположенных горизонтов относительно горизонта бурения и "поглощение" - 89%, для осложнений типа "прихват", связанных с обвальным шламом от верхнерасположенных горизонтов относительно горизонта бурения - не менее 77%.

(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, модуль предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, модуль разметки данных геолого-технологических исследований, размеченную базу данных геолого-технологических исследований, модуль формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей, модуль прогнозирования параметров геолого-технологических исследований, модуль распознавания технологических операций, модуль оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, модуль оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным, модуль формирования данных для адаптации нейросетевых моделей, модуль оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей, модуль адаптации нейросетевых моделей, модуль проверки и замены обобщенных нейросетевых моделей, при этом выходы модуля сбора реально-временных данных геолого-технологических исследований с объекта строительства и архивной базы данных геолого-технологических исследований подсоединены к входам модуля предварительной обработки данных геолого-технологических исследований, выходы которого подключены к входам модуля разметки данных геолого-технологических исследований, модуля прогнозирования параметров геолого-технологических исследований, модуля распознавания технологических операций и к первому входу модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, выход модуля разметки данных геолого-технологических исследований подсоединен к размеченной базе данных геолого-технологических исследований, выход которой подключен к первому входу модуля формирования,

обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей, выход модуля прогнозирования параметров геолого-технологических исследований подсоединен ко второму входу модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, выход модуля распознавания технологических операций подсоединен к входу модуля формирования данных для адаптации нейросетевых моделей и к третьему входу модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, к четвертому входу которого подключен выход модуля формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей, выходы модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным подсоединены к входам модуля оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным и модуля анализа и формирования предупреждений о возникновении осложнений, выход которого является выходом системы, один из выходов модуля оценки рассогласования выходных значений нейросетевых моделей по прогнозным и реально-временным данным подключен к пятому входу модуля оценки вероятностей возникновения осложнений по прогнозным и реально-временным данным, а его другой выход - к первому входу модуля оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей, ко второму входу которого подсоединен выход модуля формирования данных для адаптации нейросетевых моделей, выход модуля оперативной разметки данных для адаптации нейросетевых моделей подключен к модулю адаптации нейросетевых моделей, подсоединенному к модулю проверки и замены обобщенных нейросетевых моделей, выход которого подключен ко второму входу модуля формирования, обучения и валидации обобщенных нейросетевых моделей.

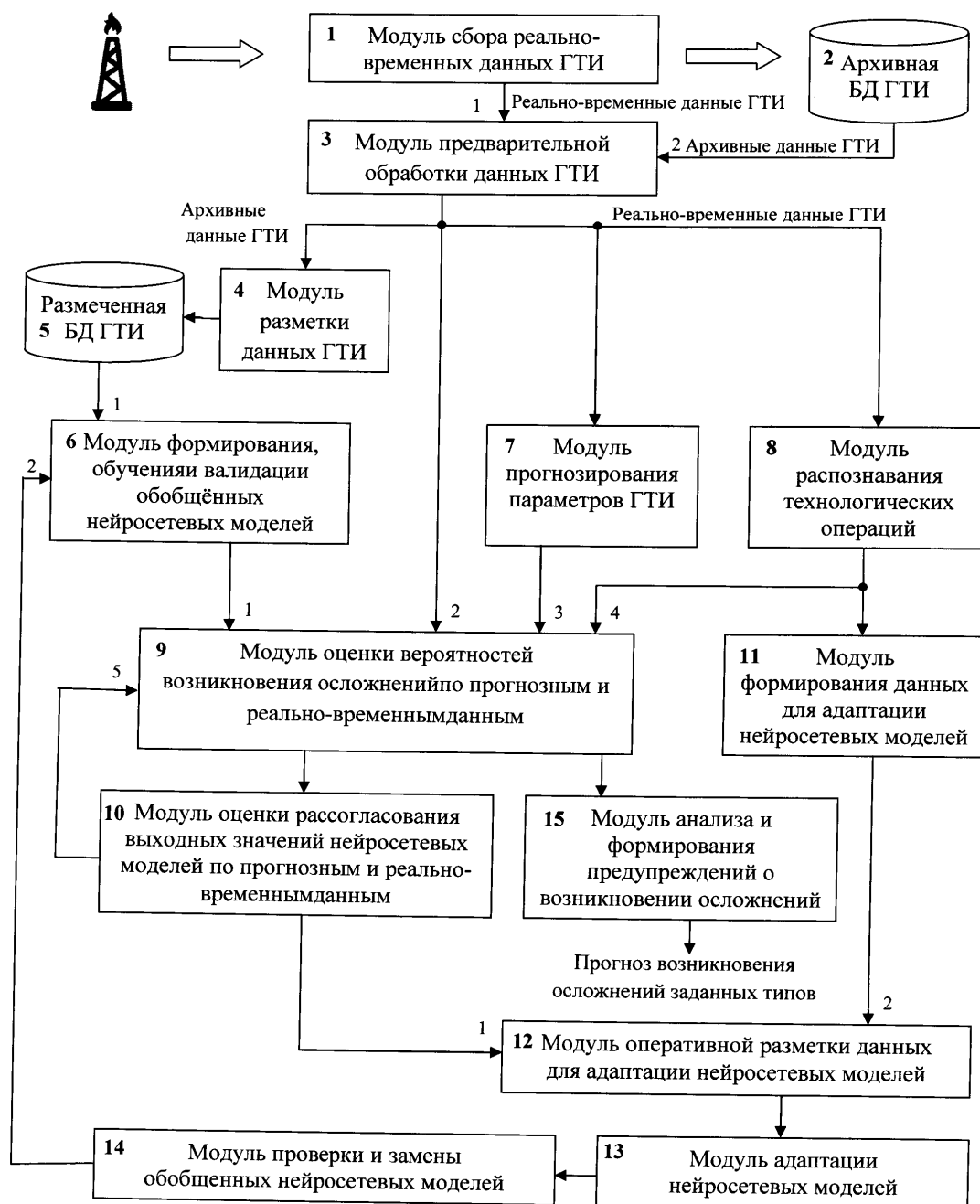
25

30

35

40

45



Фиг. 1