

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.02, СОЗДАННОГО НА  
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-  
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28.11.2022 г. № 22

О присуждении Кодирову Шахбозу Шарифовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Алгоритмы обработки данных и нейросетевые модели прогнозирования прихвата технологического бурового инструмента» по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 26 сентября 2022 г. (протокол заседания № 22/п) диссертационным советом 24.2.437.02, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, проспект В.И. Ленина, д. 76, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Кодиров Шахбоз Шарифович, 24 ноября 1986 года рождения, в 2012 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» по специальности «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых».

В период с 2018 по 2022 гг. проходил обучение в очной аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Информационно-измерительная техника» по направлению подготовки высшего образования 09.06.01 – «Информатика и вычислительная техника».

В настоящее время работает младшим научным сотрудником в научно-исследовательской лаборатории «Техническая самодиагностика и самоконтроля приборов и систем» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре информационно-измерительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, президент федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Клячкин Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная математика и информатика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»;

Абу-Абед Фарес Надимович – кандидат технических наук, доцент, декан факультета международного академического сотрудничества, доцент кафедры «Электронные вычислительные машины» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тверской государственный технический университет»,

дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», в своем положительном отзыве, подписанном Двойниковым Михаилом Владимировичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой бурения скважины федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», Ильюшиным Юрием Валерьевичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой системного анализа и управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», указала, что диссертационная работа

является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи предупреждения осложнений при бурении скважин, имеющей существенное значение для нефтегазовой отрасли. Работа соответствует паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, а ее автор, Кодиров Шахбоз Шарифович, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 16 работ, из них рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы; в зарубежных научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и ведущие международные системы цитирования Scopus, опубликована 1 работа. По результатам работы получены два патента Российской Федерации на изобретения.

В диссертацию включены результаты, полученные автором лично. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимыми работами по теме диссертации являются:

1. Кодиров, Ш.Ш. Разработка искусственной нейронной сети для прогнозирования прихватов колонн бурильных труб / Ш.Ш. Кодиров, А.Л. Шестаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 20-32. (13с./8с.)

2. Шестаков, А.Л. Прогностическая модель прихвата технологического инструмента в процессе бурения скважины на основе глубокой нейронной сети со скользящим окном / А.Л. Шестаков, Ш.Ш. Кодиров // Приборы. – 2021. – №3 (249). – С. 1-8. (9с./7с.)

3. Кодиров, Ш.Ш., Шестаков, А.Л. Модель и алгоритм прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины на основе четырехмодульной нейронной сети // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 125-138. (14с./12с.)

4. Qodirov, Sh.Sh. Development of Artificial Neural Network for Predicting Drill Pipe Sticking in Real-Time Well Drilling Process / Sh.Sh. Qodirov, A.L. Shestakov // 2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC), Chelyabinsk, Russia. – 2020. – pp. 139-144. (5с./4с.)

5. Способ прогнозирования прихватов бурильных труб: пат. №2735794 Российская Федерация, МПК G06N 3/08 (2006.01) / А.Л. Шестаков (RU), Ш.Ш. Кодиров (TJ); ФГАОУ ВО «ЮУрГУ(НИУ)»; Патентный отдел. – № 2020121477 ; опубл. 09.11.2020, Бюл. № 31.

6. Способ прогнозирования прихватов бурильных труб в процессе бурения скважины в режиме реального времени: пат. №2753289 Рос. Федерация: МПК E21B44/00 G06N3/08 / А.Л. Шестаков (RU), Ш.Ш. Кодиров (TJ); ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»; Патентный отдел. – №2020134345/03; опубл. 12.08.2021, Бюл. № 23.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Доктора технических наук, доцента, профессора кафедры анализа данных и искусственного интеллекта ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» (г. Краснодар) Халафяна Алесана Альбертовича. Отзыв положительный, из замечаний отмечено: 1) В автореферате не приведены перечни элементов входных данных по глубине ствола скважины и по времени бурения скважины, в связи с чем, сложно понять целесообразность применяемых методов обработки данных. 2) В работе не поясняется, почему для масштабирования значений элементов мини-наборов данных применяется именно нормализация (стр. 12, уравнение 1). 3) В автореферате недостаточно приведена информация о целесообразности применение «Assigasy» в качестве меры оценки качество работы нейронной сети.

2. Доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой кибернетических систем ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (г. Тюмень) Кузякова Олега Николаевича. Отзыв положительный, из замечаний отмечено: 1) Число решаемых задач исследования отличается от числа сформулированных полученных результатов. 2) Из автореферата неясно, насколько точность работы четырехмодульной нейронной сети превосходит точность работы полносвязной сети.

3. Кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры «Вычислительная техника и инженерная кибернетика» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа) Гиниятуллина Вахита Мансуровича. Отзыв положительный, из замечаний отмечено: 1) На стр. 21 имеется ссылка на литературные источники [16-21], а списке трудов имеется всего 16 публикаций.

2) Стр. 18 для шестислойной нейронной сети не указаны функции активации. 3) Стр. 22 в 5-м результате упоминается 30 минутный интервал, в таких случаях, обычно ещё указывают средние скорости и/или пройденные расстояния.

4. Кандидата физико-математических наук, профессора Сколковского института науки и технологий (г. Москва) Коротеева Дмитрия Анатольевича. Отзыв положительный, из замечаний отмечено: 1) Отсутствует развернутое пояснение выбора именно ИНС в качестве рабочего алгоритма машинного обучения. По опыту, ИНС очень чувствительны к качеству входных данных, которое на реальных буровых установках часто оставляет желать лучшего. 2) Реальный набор каналов данных, передаваемых при бурении обычно существенно меньше того объема, который рассмотрен в работе. Желательно рассмотреть работоспособность алгоритмов при различных наборах каналов входных данных. 3) Отсутствует детальное описание объема данных, использованного для обучения алгоритмов и само описание обучающей выборки. Также отсутствует описание процесса разметки данных (выделения зон прихватов и предвестников прихватов). 4) Утверждения о точности прогнозирования прихватов на уровне 0.96 нуждается в отдельном пояснении. Автор указывает, что точность достигнута на «экспериментальных тестовых данных», но не приводит описания того, как размечалась валидационная выборка и что являлось критериями «засчитывания» срабатываний по прогнозированию прихватов. Более того, данная цифра привязана к данным с единственной тестовой скважины, что, безусловно, не может служить надежным маркером работоспособности алгоритмов в реальных условиях на многих скважинах, строящихся на различных месторождениях. Подобное ограничение оценки по масштабируемости текущей версии системы должно быть отмечено отдельно для объективной поддержки научной и практической ценности данного исследования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что ими осуществлялись исследования по тематике диссертации и получены весомые научные результаты в рассматриваемой предметной области, что подтверждается публикациями в научных изданиях.

*Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:*

*разработаны:* нейросетевая модель прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины, учитывающая в качестве элементов входных данных, данные о свойствах и параметрах скважины и бурения, такие как типы горных пород, компоненты понизителя вязкости,

водоотдачи, ингибирующей и смазывающей добавки, являющиеся факторами прихвата; алгоритм обработки данных для прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины, позволяющий поинтервально произвести процедуру прогнозирования прихвата в процессе проектирования и бурения скважины; нейросетевая модель прогнозирования прихвата технологического инструмента по времени бурения скважины, учитывающая в качестве элементов входных данных, данные о свойствах, параметрах и режимах бурения, а также тренд изменения значений этих данных за 30 - минутный временной интервал; алгоритм обработки данных для прогнозирования прихвата технологического инструмента по времени бурения скважины, позволяющий сократить время процедуры прогнозирования, а также исключить ложный прогноз в обсаженных интервалах ствола скважины во время спускоподъемных и других технологических операций;

*предложены:* метод преобразования элементов данных по глубине ствола скважины, имеющих номинальную шкалу измерения, таких как типы горных пород, компоненты понизителя вязкости, понизителя водоотдачи, ингибирующей и смазывающей добавки, в данные, с относительной шкалой измерения, учитывающие долевые значения этих элементов данных и повышающий информативность входных данных нейронной сети; метод расчёта и учета дополнительного элемента данных,  $X_{3.20}$  – длина технологического инструмента, находящегося в зоне открытого ствола, для набора данных по времени бурения, позволяющий учитывать дополнительный фактор прихвата; метод декомпозиции данных о процессе возникновения и ликвидации прихвата на четыре подпроцесса, такие как  $Y_1$  – предприхватный подпроцесс,  $Y_2$  – прихватный подпроцесс,  $Y_3$  – послеприхватный подпроцесс и  $Y_4$  – штатный подпроцесс; критерии распознавания этих подпроцессов из числа причин и признаков возникновения прихватов; метод сегментации многомерных временных рядов из набора данных по времени бурения по четырем подпроцессам прихвата, с применением критериев распознавания этих подпроцессов, позволяющий получить обучающую выборку по четырем подпроцессам;

*доказана* на основе экспериментальных исследований перспективность практического использования предложенных методов и алгоритмов обработки данных для прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины и по времени бурения скважины;

*введено* понятие декомпозиции данных о процессе возникновения и ликвидации прихвата, для обозначения разработанного в диссертации метода

разделения данных на четыре подпроцесса, такие как  $Y_1$  – предприхватный подпроцесс,  $Y_2$  – прихватный подпроцесс,  $Y_3$  – послеприхватный подпроцесс и  $Y_4$  – штатный подпроцесс;

*Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:*

*доказана* возможность прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины и по времени бурения скважины на ранних стадиях их возникновения, с использованием предложенных нейросетевых моделей прогнозирования прихвата технологического инструмента;

*применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы* основные положения и методы системного анализа, методы подготовки больших данных, теории нейронных сетей и машинного обучения, а также методы оптимизации;

*изложены* основные положения этапов разработки нейросетевых моделей прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины и по времени бурения скважины; этапов разработки алгоритмов обработки данных для прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины и по времени бурения скважины;

*раскрыты:* метод преобразования элементов данных по глубине ствола скважины, имеющих номинальную шкалу измерения, в данные с относительной шкалой измерения; метод расчёта и учета дополнительного элемента данных  $X_{3.20}$  – длина технологического инструмента, находящегося в зоне открытого ствола, для набора данных по времени бурения; метод декомпозиции данных о процессе возникновения и ликвидации прихвата на четыре подпроцесса, такие как  $Y_1$  – предприхватный подпроцесс,  $Y_2$  – прихватный подпроцесс,  $Y_3$  – послеприхватный подпроцесс и  $Y_4$  – штатный подпроцесс; критерии распознавания подпроцессов возникновения и ликвидации прихвата из числа причин и признаков возникновения прихватов; метод сегментации многомерных временных рядов из набора данных по времени бурения по четырем подпроцессам прихвата, с применением критериев распознавания этих подпроцессов;

*изучено* влияние элемента данных  $X_{3.20}$  – длина технологического инструмента, находящегося в зоне открытого ствола, на точность работы нейросетевой модели прогнозирования прихвата технологического инструмента по времени бурения скважины;

*проведено* экспериментальное исследование эффективности применения двух нейросетевых моделей прогнозирования прихвата технологического инструмента на данных из реальных скважин.

*Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:*

*разработаны и внедрены* нейросетевые модели прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины и по времени бурения скважины, а также алгоритмы обработки данных для прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины и по времени бурения скважины, позволяющие прогнозировать прихваты на ранних стадиях их возникновения;

*создано* программное обеспечение, позволяющее воспроизвести процедуру прогнозирования прихвата технологического инструмента;

*определены* перспективы практического применения разработанных в диссертации новых нейросетевых моделей прогнозирования прихвата технологического инструмента и алгоритмов обработки данных для прогнозирования прихвата.

*Оценка достоверности результатов исследования выявила:*

*все экспериментальные данные* были получены на реальных буровых установках;

*теория*, служащая основой для разработки предложенных методов обработки данных и нейросетевых моделей прогнозирования прихвата технологического инструмента, предложенная в диссертационной работе, базируется на корректном применении методов системного анализа, методов подготовки больших данных, теории нейронных сетей и машинного обучения, а также методов оптимизации;

*идея базируется* на обобщении передового опыта и анализе основных подходов к обработке данных и разработке нейросетевых моделей прогнозирования прихвата технологического инструмента для обнаружения прихватов на ранних стадиях их возникновения;

*использованы* аттестованные средства измерения и сбора экспериментальных данных, апробированные методы обработки экспериментальных данных, на основе которой разработаны нейросетевые модели прогнозирования прихвата технологического инструмента и алгоритмы обработки данных для прогнозирования прихвата технологического инструмента;



установлено подтверждение разработанных автором научных положений, выводов и рекомендаций результатами экспериментального исследования, а также отсутствие логических противоречий между полученными в диссертации результатами и результатами опубликованными другими авторами исследований по рассматриваемой тематике.

*Личный вклад соискателя состоит в:*

*проведении анализа степени проработанности проблемы распознавания и прогнозирования прихвата технологического инструмента, разработке нейросетевых моделей прогнозирования прихвата технологического инструмента, разработке алгоритмов обработки данных для прогнозирования прихвата технологического инструмента, их реализации в виде программного обеспечения, проведении вычислительных экспериментов, апробации результатов исследования на конференциях различного уровня, в подготовке публикаций по выполненной работе, а также внедрении разработок, полученных в ходе выполнения диссертационной работы, что подтверждаются соответствующими актами внедрения.*

В ходе защиты диссертации были высказаны и заданы следующие замечания и вопросы: 1) в докладе не пояснялось определение прихвата технологического инструмента с точки зрения физического процесса; 2) из доклада не совсем ясно, какие экспериментальные данные о прихватах использовались, синтетические (сгенерированные) или реальные производственные данные; 3) почему для прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины использовали трехслойную полносвязанную нейронную сеть, а для прогнозирования прихвата технологического инструмента по времени бурения скважины шестислойную полносвязанную нейронную сеть? 4) почему целевые переменные в задачах прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины и по времени бурения скважины обозначены одинаковыми символами?

Соискатель Кодиров Шахбоз Шарифович ответил на высказанные замечания и задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: 1) с точки зрения физического процесса – прихватом при сооружении скважины считается непредвиденная ситуация, характеризующаяся невозможностью извлечения из скважины колонны труб или скважинных приборов; 2) в качестве экспериментальных данных о прихватах были использованы реальные производственные данные с реальных нефтяных и газовых скважин; 3) количество слоев в нейронных сетях были найдены в результате проведенных экспериментальных вычислений с численными

оценками точности работы сетей. Результаты экспериментальных вычислений показали, что для задачи прогнозирования прихвата технологического инструмента по глубине ствола скважины, наилучшая точность работы нейронной сети достигается при использовании трехслойной сети. А для задачи прогнозирования прихвата технологического инструмента по времени бурения скважины, наилучшая точность работы нейронной сети достигается при использовании шестислойной сети; 4) целевые переменные можно было разными символами обозначить, однако посчитал целесообразным обозначить их с «Y<sub>1</sub>» по «Y<sub>4</sub>», так как в диссертационной работе они рассматриваются в отдельных главах и поясняются.

Диссертационный совет пришел к заключению, что рассматриваемая диссертация является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемых ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор, Кодиров Шахбоз Шарифович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

На заседании 28 ноября 2022 года диссертационный совет принял решение за разработку алгоритмов обработки данных и нейросетевых моделей прогнозирования прихвата технологического бурового инструмента, имеющей существенное значение для развития нефтегазовой отрасли, присудить Кодирову Шахбозу Шарифовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя  
диссертационного совета 24.2.437.02,  
доктор технических наук, профессор

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.437.02,  
доктор технических наук, доцент

28.11.2022 г.



Логиновский О.В.

Голлай А.В.