УДК:622.245; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-3.04
https://orcid.org/0000-0002-3507-3096
https://orcid.org/0000-0003-2612-125X
https://orcid.org/0000-0001-5185-3132
https://orcid.org/0000-0003-4707-3322
https://orcid.org/0000-0003-3997-8324
https://orcid.org/0000-0002-5346-3004
https://orcid.org/0000-0002-3507-3096

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

С.К. МУРАТОВА[1],
кандидат технических наук,
ассоцированный профессор,
s.muratova@satbayev.university

Э.Ж. ОМИРЗАКОВА[1],
кандидат технических наук,
ассоциированный профессор,
e.omirzakova@ satbayev.university

Г.К. УМИРОВА[1],
доктор PhD,
ассоциированный профессор,
g.umirova@satbayev.university

Б.Т. РАТОВ[1],
доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой,
b.ratov@satbayev.university

А.Е. КУТТЫБАЕВ[1], кандидат технических наук, профессор,
a.kuttybayev@satbayev.university
З.Т. МАТАЕВА[1], кандидат химических наук, ассоциированный профессор,
z.mataeva@satbayev.university
А.О. ЖАЙЛИЕВ[2], докторант PhD, *zhajlev1977@mail.ru*

[1]SATBAYEV UNIVERSITY
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул.Сатпаева, 22

[1]YESSENOV UNIVERSITY
Республика Казахстан, 130000 г. Актау, 32 мкр.

Целью исследования являлось создание программно-аппаратного комплекса для автоматического мониторинга плотности, условной вязкости, пластической вязкости и динамического напряжения сдвига бурового раствора в реальном времени.

Разработано устройство автоматического измерения плотности на основе изменения индуктивности электромагнитной системы при взаимодействии магнитного сердечника с растворами различной плотности. Для оценки реологических параметров применены методы непрерывного анализа данных и алгоритмы искусственного интеллекта.

Проведены лабораторные и сравнительные испытания с использованием эталонного вискозиметра Fann 35 при температуре 80°C. Разработанная система обеспечила непрерывное измерение параметров бурового раствора с погрешностью не более 2,5%, что соответствует требованиям API RP 13B-1. Сравнение с вискозиметром Fann 35 показало расхождение в пределах 3-5%. Система успешно выявляла аномальные режимы, включая повышение вязкости и снижение предела текучести, с временем реакции менее 30 секунд.

Полученные результаты подтвердили эффективность применения интеллектуальных методов для прогнозирования изменений реологических свойств буровых растворов. Разработанный комплекс позволяет повысить оперативность контроля параметров бурового раствора, минимизировать влияние человеческого фактора и обеспечить интеграцию в цифровые системы управления бурением. Предложенная технология обладает потенциалом для прогнозирования осложнений при бурении и расширения функциональности за счёт включения дополнительных параметров контроля, таких как pH и содержание газа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *буровой раствор, автоматический мониторинг, плотность, вязкость, динамическое напряжение сдвига, машинное обучение.*

БҰРҒЫЛАУ ЖУУ СҰЙЫҚТЫҚТАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ҮЗДІКСІЗ БАҚЫЛАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІ

С.К. МУРАТОВА[1], техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор,
s.muratova@satbayev.university
Э.Ж. ОМИРЗАКОВА[1], техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор,
e.omirzakova@ satbayev.university
Г.К. УМИРОВА[1], PhD докторы, қауымдастырылған профессоры, *g.umirova@satbayev.university*
Б.Т. РАТОВ[1], техникалық ғылымдар докторы, профессор, кафедрасының меңгерушісі,
b.ratov@satbayev.university
А.Е. КУТТЫБАЕВ[1], техникалық ғылымдар кандидаты, профессор,
a.kuttybayev@satbayev.university
З.Т. МАТАЕВА[1], химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор,
z.mataeva@satbayev.university
А.О. ЖАЙЛИЕВ[2], PhD докторанты, *zhajlev1977@mail.ru*

[1]SATBAYEV UNIVERSITY
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ., Сатпаев к-сі, 22

[2]YESSENOV UNIVERSITY
Қазақстан Республикасы, 130000, Ақтау қ., 32 ш/а.

Зерттеудің мақсаты – нақты уақыт режимінде бұрғылау ерітіндісінің тығыздығын, шартты тұтқырлығын, пластикалық тұтқырлығын және ығысу кернеуін автоматты түрде бақылауға арналған бағдарламалық-аппараттық кешен әзірлеу.

Тығыздығы әртүрлі ерітінділермен магниттік өзекшенің өзара әрекеттесуі кезінде электромагниттік жүйе индуктивтілігінің өзгеруіне негізделген тығыздықты автоматты өлшеу құрылғысы жасалды. Реологиялық параметрлерді бағалау үшін деректерді үздіксіз талдау әдістері мен жасанды интеллект алгоритмдері қолданылды.

80°C температура жағдайында эталондық Fann 35 вискозиметрін пайдалана отырып, зертханалық және салыстырмалы сынақтар жүргізілді. Әзірленген жүйе бұрғылау ерітіндісі параметрлерін 2,5%-дан аспайтын қателікпен үздіксіз өлшеуді қамтамасыз етті, бұл API RP 13B-1 талаптарына сәйкес келеді. Fann 35 вискозиметрімен салыстыру нәтижесінде айырмашылық 3–5% шегінде екені анықталды. Жүйе тұтқырлықтың артуы мен ағу шегінің төмендеуі сияқты аномальды режимдерді 30 секундтан аз уақыт ішінде сенімді түрде анықтады.

Алынған нәтижелер бұрғылау ерітінділерінің реологиялық қасиеттеріндегі өзгерістерді болжауда интеллектуалды әдістерді қолданудың тиімділігін растады. Әзірленген кешен бұрғылау ерітіндісі параметрлерін бақылаудың жеделдігін арттыруға, адам факторының әсерін азайтуға және цифрлық бұрғылау басқару жүйелерімен интеграциялауға мүмкіндік береді. Ұсынылған технология бұрғылау кезіндегі асқынуларды болжауға, сондай-ақ pH деңгейі мен газ құрамын бақылау сияқты қосымша параметрлерді енгізу арқылы функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтуге әлеуетті болып табылады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *бұрғылау ерітіндісі, автоматтандырылған мониторинг, тығыздық, тұтқырлық, ығысудың динамикалық кернеуі, машиналық оқыту.*

AUTOMATED SYSTEM FOR CONTINUOUS MONITORING OF DRILLING FLUID PARAMETERS

S.K. MURATOVA[1], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, *s.muratova@satbayev.university*
E.Zh.OMIRZAKOVA[1], candidate of technical sciences, associate professor, *e.omirzakova@ satbayev.university*
G.K. UMIROVA[1], PhD, Associate Professor, *g.umirova@satbayev.university*
B.T. RATOV[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, *b.ratov@satbayev.university*
A.E. KUTTYBAYEV[1], Candidate of Technical Sciences, Professor, *a.kuttybayev@satbayev.university*
Z.T. MATAEVA[1], candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, *z.mataeva@satbayev.university*
A.O. ZHAILIEV[2], PhD student, *zhajlev1977@mail.ru*

[1]SATBAYEV UNIVERSITY
Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty, Satpaeva str., 22

[2]YESSENOV UNIVERSITY
Republic of Kazakhstan, 130000, Aktau, 32 md.

The aim of this study was to develop a hardware–software system for real-time automated monitoring of drilling fluid density, Marsh funnel viscosity, plastic viscosity, and yield point.

An automated density measurement device was developed based on variations in the inductance of an electromagnetic system caused by the interaction between a magnetic core and fluids of different densities. Continuous data analysis methods and artificial intelligence algorithms were employed to evaluate rheological parameters.

Laboratory and comparative tests were conducted using a standard Fann 35 viscometer at a temperature of 80°C. The developed system provided continuous measurement of drilling fluid parameters with an error not exceeding 2.5%, in compliance with API RP 13B-1 requirements. Comparison with the Fann 35 viscometer demonstrated deviations within the range of 3–5%. The system successfully identified abnormal operating conditions, including increases in viscosity and reductions in yield point, with a response time of less than 30 seconds.

The obtained results confirmed the effectiveness of intelligent methods for predicting changes in the rheological properties of drilling fluids. The developed system improves the efficiency of drilling fluid parameter monitoring, minimizes the influence of the human factor, and enables integration into digital drilling management systems. The proposed technology also demonstrates significant potential for predicting drilling complications and expanding system functionality through the inclusion of additional monitoring parameters, such as pH and gas content.

KEYWORDS: *drilling fluid, automated monitoring, density, viscosity, yield point, machine learning.*

Введение. В современном бурении параметры бурового раствора (плотность, вязкость, пластическая вязкость, динамическое напряжение сдвига) определяют безаварийность проводки скважины [1-3]. Эти параметры напрямую влияют на устойчивость стенок скважины, эффективность выноса шлама [4], а также на предотвращение газонефтеводопроявлений и прихватов бурильного инструмента.

До настоящего времени данные параметры измерялись вручную, разовыми замерами, а реологические характеристики - особенно редко из-за сложности использования ротационных вискозиметров [5-7]. Такой подход не позволяет получать оперативную картину изменения свойств бурового раствора в реальном времени, что увеличивает риск развития аварийных ситуаций.

При этом такие параметры бурения, как нагрузка на долото [8-10], подача насосов и давление, уже давно измеряются автоматически и непрерывно. Это создаёт предпосылки для перехода к комплексной цифровизации контроля свойств бурового раствора [11-13].

Применение методов искусственного интеллекта в бурении, включая глубокие нейронные сети, позволяет решить задачу непрерывного мониторинга и прогнозирования реологических параметров [14].

Цель исследования - создание комплексного устройства для автоматического непрерывного мониторинга четырёх параметров бурового раствора: плотности, условной вязкости, пластической вязкости и динамического напряжения сдвига.

Задачи исследования:

- разработка схемы программно-аппаратного комплекса;
- создание методов измерения реологических свойств в реальном времени;
- проведение лабораторных и производственных испытаний.

На *рисунке 1* представлена схема программно-аппаратного комплекса для автоматического мониторинга бурового раствора.

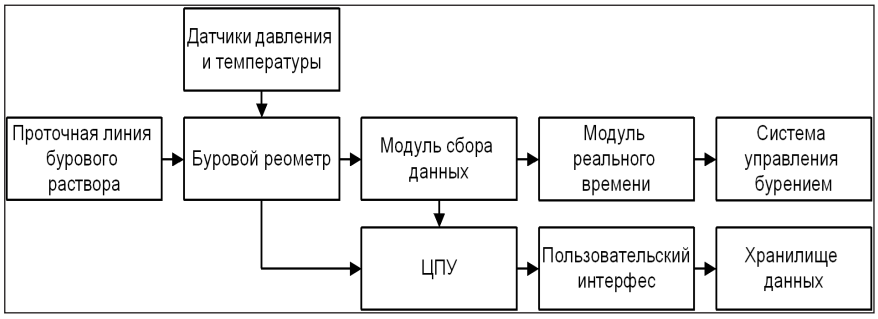

Рисунок 1 – **Схема программно-аппаратного комплекса для автоматического мониторинга бурового раствора**

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложен комплексный подход к одновременному непрерывному измерению ключевых реологических параметров бурового раствора в режиме реального времени;
- разработан метод измерения плотности на основе изменения индуктивности электромагнитной системы при погружении магнитного сердечника в буровой раствор;
- реализована интеграция алгоритмов интеллектуальной обработки данных для выявления аномалий реологических характеристик;
- показана возможность замены дискретных лабораторных измерений непрерывным автоматизированным мониторингом без потери точности.

Материалы и методы исследования

В рамках проведённого исследования разработано специализированное устройство для автоматического измерения плотности бурового раствора (рисунок 2), ориентированное на обеспечение непрерывного контроля одного из ключевых технологических параметров циркуляционной системы. Конструктивно устройство включает электромагнитную катушку (1), магнитный сердечник (2), камеру с дистиллированной водой (3), направляющие элементы (4), впускной и выпускной патрубки с запорными клапанами (5, 6), модуль электронной обработки сигналов (7), измерительную камеру (8), гидравлический модуль (9), датчик индуктивности (10), преобразователь сигналов (11) и пульт управления (12).

Функционирование устройства основано на электромагнитном принципе измерения, при котором регистрируется изменение индуктивности системы при изменении глубины погружения магнитного сердечника в исследуемую среду. Величина индуктивности является функцией магнитной проницаемости окружающей среды, которая, в свою очередь, косвенно связана с плотностью бурового раствора [15-18]. Таким образом, формируется функциональная зависимость между измеряемым электрическим параметром и физико-химическими характеристиками исследуемой жидкости [19].

Процесс измерения реализуется в динамическом режиме, что позволяет осуществлять непрерывную регистрацию изменения плотности без необходимости остановки технологического процесса. Сигналы с датчика индуктивности преоб-

разуются в цифровую форму с последующей обработкой в модуле электроники, где осуществляется фильтрация шумов, компенсация паразитных влияний и пересчёт измеренных значений в физическую величину плотности [20,21].

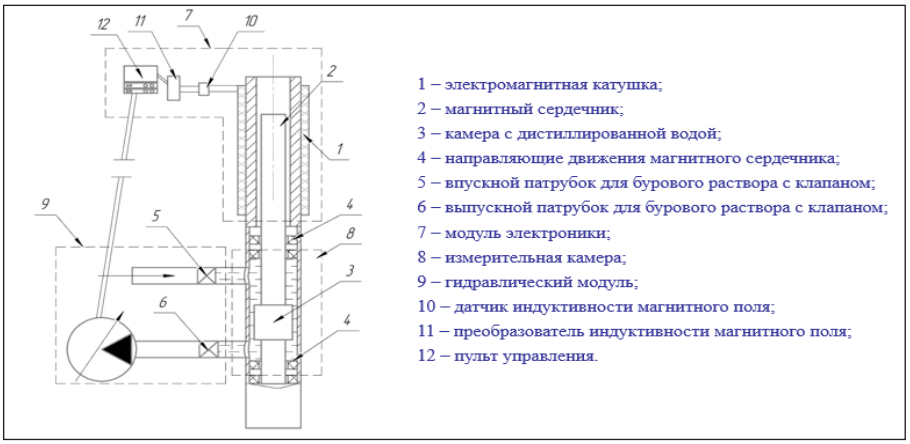

Рисунок 2 – **Устройство для автоматического измерения плотности бурового раствора**

Калибровка измерительной системы выполнялась с использованием стандартных жидкостей с известными значениями плотности, а также в соответствии с требованиями международного стандарта API RP 13B-1 [7], регламентирующего методы лабораторного контроля параметров буровых растворов. Это обеспечивает сопоставимость получаемых результатов с традиционными методами измерений и повышает достоверность экспериментальных данных.

Дополнительно конструкция устройства предусматривает наличие гидравлического модуля, обеспечивающего стабильную подачу исследуемого раствора в измерительную камеру и исключающего влияние турбулентных потоков на точность регистрации сигнала. Использование направляющих элементов повышает повторяемость положения сердечника и снижает механические погрешности измерений.

Таким образом, предложенная методика сочетает физический принцип индуктивного измерения с цифровой обработкой сигналов, что позволяет реализовать высокоточный автоматизированный контроль плотности бурового раствора в условиях, приближённых к реальному технологическому процессу.

Для оценки вязкостных характеристик использовалась разработанная система непрерывного мониторинга, обеспечивающая регистрацию реологических параметров бурового раствора в режиме реального времени с заданной дискретностью и последующей цифровой обработкой сигналов. Полученные данные сопоставлялись с результатами измерений, выполненных на эталонном ротационном вискозиметре Fann 35 Viscometer [2], который традиционно применяется в лабораторной практике для определения реологических свойств буровых растворов в соответствии с методическими рекомендациями API.

Экспериментальные исследования проводились на водных буровых растворах (WBM) при температуре 80°C с контролем термодинамических условий, что позволяло минимизировать влияние температурных колебаний на реологические параме-

тры и обеспечить сопоставимость результатов. В процессе испытаний осуществлялась синхронная регистрация показателей вязкости как по разработанной системе, так и по эталонному прибору, с последующей статистической обработкой выборок для оценки систематической и случайной составляющих погрешности измерений.

Дополнительно в исследовании применялись алгоритмы интеллектуальной обработки данных, основанные на методах машинного обучения, включая модели анализа временных рядов и детектирования аномалий. Указанные алгоритмы позволяли выявлять отклонения от нормального режима течения бурового раствора, а также классифицировать нестационарные состояния, связанные с изменением структурно-механических свойств системы. В частности, использовались подходы, обеспечивающие адаптивное выделение признаков на основе динамики изменения измеряемых параметров, что повышало чувствительность системы к начальным стадиям деградации реологических характеристик.

Результаты обработки данных показали, что применение интеллектуальных методов позволяет не только фиксировать текущие значения вязкости, но и выявлять скрытые тенденции их изменения, недоступные при традиционных дискретных методах измерения. Это обеспечивает возможность ранней диагностики технологических отклонений и повышает информативность системы мониторинга в условиях реального бурения.

Результаты и обсуждение

На *рисунке 3* представлено сопоставление результатов измерения вязкостных характеристик бурового раствора, полученных с использованием разработанной системы непрерывного мониторинга, и данных эталонного ротационного вискозиметра Fann 35 Viscometer [2]. Исследования проводились на водном буровом растворе (WBM) при температуре 80°C, что соответствует типичным термобарическим условиям лабораторного моделирования процессов бурения.

Анализ экспериментальных данных показал, что разработанная система обеспечивает высокую степень согласованности с эталонными измерениями. Расхождение между значениями вязкости, полученными двумя методами, не превышает 3–5%, что свидетельствует о высокой метрологической точности предложенного подхода. Указанный уровень отклонения находится в пределах допустимых инженерных погрешностей для технологического контроля буровых растворов и подтверждает корректность выбранных физических принципов измерения.

Дополнительно следует отметить, что разработанная система демонстрирует устойчивую воспроизводимость результатов при повторных измерениях, что указывает на низкий уровень случайной составляющей погрешности и стабильность работы измерительного канала в условиях изменения реологических свойств среды. Это особенно важно при работе с буровыми растворами, обладающими нелинейным и структурированным характером течения.

Полученные результаты также свидетельствуют о способности системы эффективно отслеживать динамику изменения вязкости во времени, включая переходные режимы, связанные с изменением состава и структуры бурового раствора. В отличие от традиционных дискретных измерений, непрерывный характер регистрации позволяет фиксировать кратковременные флуктуации параметров, которые могут быть пропущены при использовании классических лабораторных методов.

Особое внимание следует уделить выявленной чувствительности системы к локальным изменениям реологических характеристик, что выражается в возможности раннего обнаружения аномальных режимов. Это подтверждает перспективность применения разработанного подхода для задач оперативного технологического контроля и предупреждения осложнений в процессе бурения.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают, что предложенная система может рассматриваться как достоверная альтернатива традиционным лабораторным методам контроля вязкости буровых растворов при условии соблюдения эксплуатационных режимов и корректной калибровки измерительного тракта.

Система также обеспечивает автоматическое обнаружение аномалий:

• case 1 — повышение вязкости, связанное с загустеванием раствора;

• case 2 — снижение предела текучести, связанное с потерей структурных свойств бурового раствора.

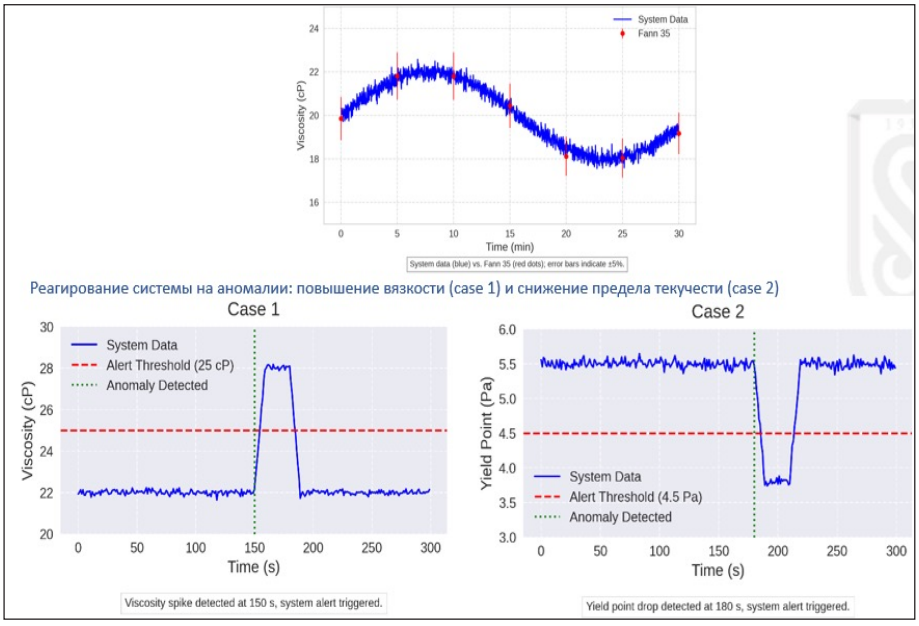

Рисунок 3 – **Отслеживание вязкости в реальном времени (WBM, 80°C) по сравнению с Fann 35**

Полученные результаты согласуются с исследованиями по применению нейронных сетей для прогнозирования реологических свойств буровых растворов [14].

В ходе лабораторных испытаний были получены результаты, представленные в *таблице 1*.

Как показывают данные *таблицы 1*, погрешность измерений разработанной системы не превышает 2,5%, что соответствует допустимым значениям для полевых условий бурения согласно рекомендациям API [1]. Время реакции системы на изменение параметров составило менее 30 секунд.

Отдельно следует отметить устойчивость системы к динамическим изменениям состава бурового раствора, что является критически важным для условий реального

Таблица 1 – **Результаты лабораторных испытаний системы**

Параметр	Эталонный метод	Предложенная система	Погрешность
Плотность, г/см^3	1,20	1,21	0,8 %
Условная вязкость, с	45	46	2,2 %
Пластическая вязкость, мПа·с	18,5	18,9	2,1 %
Динамическое напряжение сдвига (ДНС), Па	12,3	12,0	2,4 %
Водоотдача, см^3/30 мин	8,5	8,7	2,3 %

бурения. Использование интеллектуальной обработки данных позволяет не только фиксировать текущие значения параметров, но и прогнозировать их изменение.

Заключение и выводы

В рамках проведённых исследований разработано и экспериментально обосновано комплексное программно-аппаратное устройство для автоматического непрерывного мониторинга ключевых параметров бурового раствора, включая плотность, условную вязкость, пластическую вязкость и динамическое напряжение сдвига. Предложенная система обеспечивает переход от дискретного лабораторного контроля к непрерывному технологическому мониторингу, что принципиально повышает информативность и оперативность управления процессом бурения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что интеграция аппаратных методов измерения с алгоритмами интеллектуальной обработки данных позволяет сформировать устойчивую систему контроля реологических свойств бурового раствора в режиме, близком к реальному времени. Это особенно важно в условиях нестационарных технологических процессов, где параметры бурового раствора могут изменяться динамически под воздействием температуры, давления, загрязнения выбуренной породой и химических реагентов.

Основные преимущества разработанной системы заключаются в следующем:

– повышение оперативности контроля технологических параметров за счёт непрерывного измерения и автоматической регистрации данных;

– существенное снижение влияния человеческого фактора, связанного с ручными измерениями и субъективностью интерпретации результатов;

– – повышение уровня промышленной безопасности за счёт возможности раннего выявления отклонений реологических характеристик и прогнозирования технологических осложнений [3, 14];

обеспечение интеграции в цифровые системы управления бурением и элементы концепции «умного месторождения» (digital oilfield), что позволяет использовать получаемые данные в системах автоматизированного принятия решений.

Экспериментальные исследования, проведённые в лабораторных условиях, подтвердили высокую метрологическую эффективность разработанной системы. Установлено, что погрешность измерений не превышает 2,5%, что соответствует

требованиям отраслевых стандартов и является допустимым уровнем для применения в полевых условиях бурения. Дополнительно зафиксирована высокая динамическая чувствительность системы: время реакции на изменение параметров бурового раствора составило менее 30 секунд, что обеспечивает возможность оперативного реагирования на возникающие технологические отклонения.

Следует отметить, что полученные результаты демонстрируют не только точностные характеристики системы, но и её устойчивость к вариациям состава бурового раствора, что подтверждает применимость предложенного подхода в условиях реального бурения с высокой степенью неопределённости входных параметров.

В дальнейшем предполагается проведение опытно-промышленных испытаний разработанного комплекса на действующих буровых установках с целью подтверждения его работоспособности в условиях промышленной эксплуатации. Дополнительно планируется расширение функциональности системы за счёт включения измерений pH бурового раствора и контроля содержания газа, что позволит сформировать более комплексную картину состояния циркуляционной системы.

Перспективным направлением развития также является углубление применения методов машинного обучения для прогнозного моделирования изменения реологических свойств и построения адаптивных систем управления параметрами бурового раствора в реальном времени.

Благодарности: Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23487822).

ЛИТЕРАТУРА

1. API RP 13B-1. Testing Water-based Drilling Fluids : Recommended Practice. – 6th ed. – Washington : American Petroleum Institute, 2026. – 44 p.
2. Fann Instrument Company. Model 35 Viscometer Manual. – 2020. – 85 c.
3. Жайлиев А.О., Муратова С.К., Омирзакова Э.Ж., Табылганов М.Т., Гусманова А.Г., Куттыбаев А.Е., & Ратова С.Б. (2025). Оптимизация процессов бурения и освоения скважин с использованием системы датчиков плотности и вязкости. Журнал Нефть и Газ, 2025 3(147). С.102-114. https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-3.05 [Zhailiyev A.O., Muratova S.K., Omirzakova E.Zh., Tabylganov M.T., Gusmanova A.G., Kuttybayev A.E., & Ratova S.B. (2025). Optimization of drilling and well development processes using a density and viscosity sensor system. Oil and Gas Journal, 2025, 3(147), pp. 102–114. https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-3.05]
4. Ратов Б.Т., Билецкий М.Т., Деликешева Д.Н. (2021). Анализ частиц шлама, выносимых буровым раствором. Новости науки Казахстана Научно-технический журнал №1 (148) 2021г. С: 80 - 91. (ISSN 1560-5655) г. Алматы [Ratov B.T., Bileckij M.T., Delikesheva D.N. (2021). Analiz chastic shlama, vynosimyh burovym rastvorom. Novosti nauki Kazahstana Nauchno-tekhnicheskij zhurnal №1 (148) 2021g. S: 80 - 91. (ISSN 1560-5655) g. Almaty]
5. Davoodi S., Wood D.A., Al-Shargabi M., et al. Advancement of artificial intelligence applications in hydrocarbon well drilling technology: A review // Applied Soft Computing. – 2025. – Vol. 169. – P. 112-125.
6. Gupta R., Bhui U.K. Optimising mud management: adaptive moment estimation-based ANN for predicting rheological and filtration properties of KCl-PHPA-Polyol drilling fluids

// International Journal of Oil, Gas and Coal Technology. – 2025. – Vol. 38, No. 2. – P. 199-221.

7. Балаба В.И., Балаба И.В. Методы и приборы контроля буровых промывочных жидкостей : справочное пособие. – М. : Недра, 2019. – 238 с. [Balaba V.I., Balaba I.V. Methods and Instruments for Monitoring Drilling Fluids: A Reference Manual. – Moscow: Nedra, 2019. – 238 p.]
8. Ратов Б.Т., Федоров Б.В., Руслякова-Куприянова И.А., Косьминов А.С. Конструктивные параметры лопастного долота для бурения скважин большого диаметра. Новости науки Казахстана Научно-технический журнал №1 (148) 2021г. С: 92 - 99. (ISSN 1560-5655) г. Алматы [Ratov B.T., Fedorov B.V., Ruslyakova-Kupriyanova I.A., Kos'minov A.S. Konstruktivnye parametry lopastnogo dolota dlya bureniya skvazhin bol'shogo diametra. Novosti nauki Kazahstana Nauchno-tekhnicheskij zhurnal №1 (148) 2021g. S: 92 - 99. (ISSN 1560-5655) g. Almaty]
9. Судаков А.К., Ратов Б.Т., Дреус А.Ю., Судакова Д.А. Производственные исследования технологии оборудования гидрогеологической скважины криогенным блочным гравийным фильтром. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: «Инструментальное материаловедение». Сборник научных трудов. - Вып. 23. - Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, г.Трускавец, 20-26 сентября 2020 г. С: 50–65. ISSN 2223-3938., DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-50-65 [Sudakov A.K., Ratov B.T., Dreus A.Yu., Sudakova D.A. Proizvodstvennye issledovaniya tekhnologii oborudovaniya gidrogeologicheskoj skvazhiny kriogennym blochnym gravijnym fil'trom. Porodorazrushayushchij i metalloobrabatyvayushchij instrument - tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: «Instrumental'-noe materialovedenie». Sbornik nauchnyh trudov. - Vyp. 23. - Kiev: ISM im. V.N. Ba-kulya, NAN Ukrainy, g.Truskavec, 20-26 sentyabrya 2020 g. S: 50–65. ISSN 2223-3938., DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-50-65]
10. Ratov, B., Rucki, M., Fedorov, B., Hevorkian, E., Siemiatkowski, Z., Muratova, S., Omirzakova, E., Kuttybayev, A., Mechnik, V., & Bondarenko, N. (2023). Calculations on enhancement of polycrystalline diamond bits through addition of superhard diamond-reinforced elements. Machines, 11(4), 453. https://doi.org/10.3390/machines11040453
11. Джо Гудбрид: Rheonics, изобретатель множества инновационных систем измере-ния свойств жидкостей.2023 [Dzho Gudbrid: Rheonics, izobretatel' mnozhestva innovacionnyh sistem izmereniya svojstv zhidkostej.2023]
12. Хойслер К.: Специалист по разработке инновационных решений для различных отраслей промышленности. 2022 [Hojsler K.: Specialist po razrabotke innovacionnyh reshenij dlya razli-chnyh otraslej promyshlennosti. 2022]
13. Ратов Б.Т., Кожевников А.А., Музаппарова А.Б., Науменко Н.А. Определение скважности фильтра буровых скважин с водоприемной поверхностью из проволочной обмотки. Горный журнал Казахстана № 9 (173) 2019г. С: 11-14. (ISSN 2227-4766) г. Алматы [Ratov B.T., Kozhevnikov A.A., Muzapparova A.B., Naumenko N.A. Opredelenie skvazhnosti fil'tra burovyh skvazhin s vodopriemnoj poverhnost'yu iz provolochnoj obmotki. Gornyj zhurnal Kazahstana № 9 (173) 2019g. S: 11-14. (ISSN 2227-4766) g. Almaty]
14. Патент РК. № 37993 Ратов Б.Т., Хоменко В.Л., Камышацкий А.Ф., Муратова С.К., Сырлыбекқызы С., Жайлиев А.О., Омирзакова Э.Ж., Макыжанова А.Т. Устройство для автоматического измерения реологических свойств бурового раствора. Заявка (21) №2024/0924.1 ((22) 05.11.2024 (45). опуб. от 17.04.2026, бюл. №15 [Patent of the Republic of Kazakhstan No. 37993. Ratov B.T., Khomenko V.L., Kamyshatskiy A.F., Muratova S.K., Syrlybekkyzy S., Zhailiyev A.O., Omirzakova E.Zh., Makyzhanova A.T. Device for Automatic Measurement of Rheological Properties of Drilling Mud. Application

No. 2024/0924.1 (21), filed 05.11.2024 (22). Published 17.04.2026, Bulletin No. 15.]

15. Ratov B.T., Fedorov B.V., KuttybaevA.E., Sarbopeeva M.D., Borash B.R. Drilling tools with compound cutting structure for hydrological and geotechnical drilling. MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2022; (9):42-59. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_9_0_4
16. Жайлиев, А. О., Сейдалиев, А. А., Куттыбаев, А. Е., Гусманова, А. Г., Ратов, Б. Т., & Табылганов, М. Т. (2025). 2025). Подбор буровых растворов и регулирование их плотности. Журнал Нефть и Газ, (1 (145)), 115-128. [Zhailiev A.O., Seidaliyev A.A., Kuttybayev A.E., Gusmanova A.G., Ratov B.T., & Tabylganov M.T. (2025). Selection of drilling fluids and regulation of their density. Neft i Gaz, 1(145), 115–128]
17. М.Д. Сарбопеева, Т. Матаева, М.М. Әлиакбар, С.К. Муратова, А.Е. Куттыбаев, А.О. Жайлиев, Б.Т. Ратов, М.Т. Аршидинова. (2025) Оптимизация плотности бурового раствора для снижения повреждения и загрязнения продуктивных пластов. Нефть и газ. 4 (148), стр. 49-62 [Sarbopeyeva, M.D., Matayeva, T., Aliakbar, M.M., Muratova, S.K., Kuttybayev, A.Ye., Zhayliyev, A.O., Ratov, B.T., & Arshidinova, M.T. (2025). Optimization of Drilling Fluid Density to Reduce Damage and Contamination of Productive Reservoirs. Neft i gaz, 4(148), 49–62]
18. A. Kuttybayev, O. Khayitov, L. Saidova, A. Umirzokov, Y. Makhat. (2025). The influence of chloride ions on uranium sorption from productive solutions of sulfuric acid leaching of ores. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, series of geology and technical sciences. Volume 4. 472, P.211–221. https://doi.org/10.32014/2025.2518-170X.540
19. Zhailiyev A. O., Khomenko V. L., Tabylganov M. T., Shukmanova A. A., & Pashchenko O. A. (2025). Assessment of reservoir filtration-capacity properties and saturation at the Morskoye field. 2025, (3): 029 – 040. https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-3/029
20. Ratov B.T., Khomenko V. L., Zhailiyev A.O., Gusmanova A.G., & Huseynova S.M. (2026). Petrophysical characterization of jurassic and triassic rocks of the Morskoye field and Ogayskoye block based on core analysis. SOCAR Proceedings No.1 (2026) 012-019 http://dx.doi.org/10.5510/OGP20260101147
21. Бабин И.А., Федюковский Ю.И., Митрофанов А.М. (2003). Индукционный датчик магнитного поля диапазона 0…1 Гц. // Радиоэлектроника.. № 4. С. 20–27. [Babin I.A., Fedyukovskii Yu.I., Mitrofanov A.M. (2003). Induktsionnyi datchik magnitnogo polya diapazona 0…1 Gts. Radioelektronika. No. 4. Pp. 20–27]
22. Sudakov A., Dreus A., Ratov Б., Sudakova O., Khomenko O., Dziuba S., Sudakova D., Muratova S., Ayazbay M. Substantiation of thermomechanical technology parameters of absorbing levels isolation of the boreholes. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278 Volume 2, Number 440 (2020), 63 – 71. https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.32