

ОТЗЫВ

Официального оппонента, Бурнаева Евгения Владимировича, на диссертационную работу Давуди Шадфар на тему «Гибридная интеллектуальная система для оперативного определения свойств бурового раствора на основе машинного обучения» по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В течение всего процесса бурения необходимо регулярно собирать информацию обо всех важных характеристиках бурового раствора. Обычно реологические и фильтрационные характеристики бурового раствора оцениваются только один или два раза в день. Тем не менее, другие характеристики раствора, такие как плотность раствора ($\rho_{бр}$), содержание твердых фаз (ТФ) и условная вязкость (УВ), оцениваются многократно в течение суток, поскольку их легко измерить. Методы машинного обучения представляют собой потенциальный подход к оценке реологических и фильтрационных характеристик бурового раствора. Для этого можно использовать параметры бурового раствора, которые легко и часто контролируются, такие как $\rho_{бр}$, ТФ и УВ. Цель данной работы – создать и усовершенствовать модели машинного обучения, которые смогут точно рассчитать три важных параметра бурового раствора: водоотдачу, пластическую вязкость и динамическое напряжение сдвига. Эти расчеты будут основаны на других характеристиках бурового раствора, которые легко и часто контролируются. Исходя из этого, тема диссертации Давуди Шадфар «Гибридная интеллектуальная система для оперативного определения свойств бурового раствора на основе машинного обучения» представляется актуальной.

Научная новизна диссертации состоит в следующем:

1. Предложена, обоснована и экспериментально проверена прогнозирующая модель, основанная на многослойном экстремальном обучении (MELM), обеспечивающая повышение точности прогнозирования свойств бурового раствора с помощью определения оптимального количества скрытых слоев и входящих в них нейронов, а также нахождения оптимальных значений весов и смещений, приписываемых каждому нейрону и скрытому слою соответственно.

2. Предложена, обоснована и экспериментально проверена прогнозирующая модель, основанная на методе опорных векторов (LSSVM), обеспечивающая повышение точности прогнозирования свойств бурового раствора за счет определения подходящей функции ядра и организации поиска гиперпараметров, при которых достигается глобальный минимум среднеквадратического отклонения (RMSE).

3. Предложено применение разработанных прогнозирующих моделей для формирования набора гибридных моделей, обеспечивающих получение точных оценок водоотдачи, пластической вязкости и динамического напряжения сдвига

бурового раствора на основе измеряемых параметров: плотности, условной вязкости и содержания твердой фазы бурового раствора.

Достоверность результатов. Достоверность результатов, представленных в диссертационном исследовании, обеспечивается путем оценки эффективности прогнозирования разработанных моделей на тестовом наборе данных. Предложенные прогностические модели, примененные к тестовому набору данных, обеспечивают достоверные прогнозы трех целевых параметров.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в том, что модели, предложенные в данной диссертации, могут быть применены при бурении скважин для частого определения трех критических параметров бурового раствора, а именно пластической вязкости, динамического напряжения сдвига и водоотдачи. Применение таких моделей, генерирующих надежные прогнозы целевых параметров бурового раствора, снижает требования к проведению большого количества трудоемких экспериментальных измерений.

Диссертация содержит 182 страницы и включает в себя введение, 4 главы и заключение. Приложение содержит 2 ЭВМ программы и акты внедрения результатов диссертации.

Во *введении* автор раскрывает актуальность темы исследования, приводит его цель и задачи, формулирует положения, выносимые на защиту.

Первая глава под названием "Краткое введение в буровые растворы" дает краткий обзор буровых растворов и технологий машинного обучения. Далее рассматриваются все современные методы машинного обучения, используемые в трех основных областях нефтегазовой отрасли: разведке, разработке месторождений и бурении. В этой части также рассказывается о предыдущих исследованиях, посвященных прогнозированию характеристик буровых растворов, приводится их сравнение и указываются плюсы и минусы каждого из них. Тщательное изучение литературы показывает, что модели машинного обучения широко используются в различных областях нефтегазовой сферы для решения задач регрессии и классификации.

Во *второй главе*, "Методология, примененная в новой системе прогнозирования", более подробно рассматриваются академические аспекты алгоритмов, использованных для создания моделей, а также набор данных и способы его подготовки, критерии, использованные для оценки того, насколько хорошо модели предсказывают будущее. Ниже приведена общая блок-схема того, как делается прогноз целевых параметров бурового раствора и насколько точно он проверяется.

В *третьей главе*, "Эксперименты, проведенные для разработки моделей прогнозирования", рассказывается о тестах, проведенных для создания автоматических и смешанных моделей машинного обучения.

В *четвертой части* исследования, "Результаты прогнозирования гибридных моделей машинного обучения", рассказывается о результатах, полученных с помощью моделей прогнозирования целевых свойств буровых растворов. Для их получения используются как традиционные модели прогнозирования, так и смешанные модели прогнозирования. Результаты тщательно изучаются и сравниваются с другими моделями, чтобы выделить наиболее подходящий подход.

В *заключении* диссертации автор обобщает выводы, сделанные по результатам глав, и обозначает направления для развития результатов работы.

Постановка научной проблемы, определение цели и задач исследования выполнены совместно с научным руководителем **Рукавишниковым Валерием Сергеевичем**; остальные части исследования **выполнены автором самостоятельно**.

Диссертация логично структурирована, написана ясным и грамотным языком и содержат незначительное количество опечаток.

По представленной диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. В диссертации не рассмотрено влияние неопределенностей в исходных данных на качество прогноза свойств бурового раствора. Анализ робастности разработанных моделей машинного обучения позволил бы оценить их применимость при наличии шума во входных данных.

2. В работе не проведен сравнительный анализ различных методов оптимизации для настройки гиперпараметров гибридных моделей LSSVM и MELM. Возможно, использование альтернативных методов оптимизации привело бы к еще большему повышению точности прогноза.

3. Не проведена оценка изменения точности прогнозов во времени по мере накопления новых данных. Это не позволяет сделать выводы об обучаемости разработанных моделей.

4. Не проведен сравнительный анализ эффективности предложенного подхода с другими методами машинного обучения.

Приведенные замечания не снижают общей ценности полученных результатов.

В **заключении** на основе вышесказанного можно утверждать, что диссертация «Гибридная интеллектуальная система для оперативного определения свойств бурового раствора на основе машинного обучения» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п.2 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, а Давуди Шадфар заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

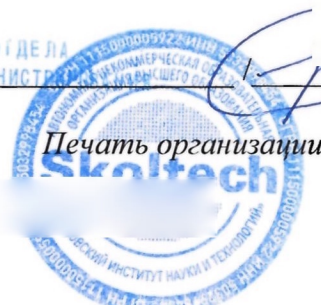
Я, Бурнаев Евгений Владимирович, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
Учёная степень – доктор
физико-математических наук
Автономная некоммерческая
образовательная организация высшего образования
«Сколковский институт
науки и технологий», г. Москва,
Директор центра прикладного
искусственного интеллекта


_____/ Бурнаев Евгений Владимирович/
« 15 » февраля 2024г.

Подпись Бурнаева Е.В. заверяю

РУКОВОДИТЕЛЬ УДЕЛА
КАДРОВ ОГ АДМИНИСТРАЦИИ
Гук О.С.



Бурнаев Евгений Владимирович; 143026, Россия, г. Москва, Инновационный центр Сколково, Большой бул., 30, стр. 1, Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Сколковский институт науки и технологий»; телефон: +7 (926) 562 33 55; email: E.Burnaev@skoltech.ru.