

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО  
«Тюменский индустриальный  
университет»  
канд. экон. наук, доцент



*В.В. Формова*

Формова Вероника Васильевна

«03» 11 2020

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Шелковниковой Юлии Николаевны

на тему «Управление качеством промывки скважины при бурении посредством контроля и регулирования реологических характеристик бурового раствора», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике)

Диссертационная работа Шелковниковой Ю.Н. посвящена разработке научно-обоснованных технических и методических решений для управления качеством промывки скважины при бурении на основе контроля и регулирования реологических характеристик бурового раствора (БР). При этом автором ставились задачи исследовать математические модели гидродинамики бурового раствора и процесса промывки скважины, в том числе разработать методики определения реологических параметров вязкопластического бурового раствора. В дальнейшем разрабатывались модели и алгоритмы оптимального управления качеством технологического процесса промывки скважины и технические средства для реализации разработанных методик.

**Актуальность темы** определяется необходимостью обеспечения высокого качества промывки скважин при их строительстве методом

вращательного бурения. Как известно, основным фактором, влияющим на параметры бурения, является буровой раствор (БР). От качества и соответствия растворов геологическим условиям зависят скорость бурения, предотвращение аварий и осложнений, связанных с прихватами и устойчивостью стволов скважин, износостойкость бурового оборудования и инструмента, успешное цементирование и др. При этом БР выполняют следующие основные функции: обеспечение непрерывной очистки забоя и ствола скважины от обломков выбуренной породы; охлаждение долота и других трущихся поверхностей; оказание противодействия на стенки скважины, что препятствует их обрушению и притоку в скважину воды, нефти или газа; а при турбинном бурении – обеспечивается передача гидравлической мощности турбобуру.

Следует отметить, что условия, которые складываются внутри скважины (а следовательно, свойства и состав бурового раствора) меняются в процессе бурения, что может вызывать значительные изменения в функционировании системы промывки скважины. Помимо химического состава БР изменяются температура и давление в скважине, что также оказывает значительное влияние на свойства бурового раствора. Повышение температуры уменьшает вязкость жидкой фазы; повышение давления – увеличивает плотность жидкой фазы, а, следовательно, и вязкость. Поэтому возникает необходимость разработки специальных методов управления качеством промывки скважины посредством контроля и регулирования реологических характеристик БР.

В связи с вышеизложенным тема диссертационного исследования Шелковниковой Ю.Н. является актуальной.

### **Структура и содержание диссертации**

**Во введении** показаны актуальность и степень разработанности темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи диссертации, перечислены полученные результаты, продемонстрирована их научно-практическая ценность, обоснованность и достоверность, обозначен личный вклад автора, а также приведены положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** дан обзор буровых растворов, применяемых при промывке нефтяных скважин, приведена их классификация. Рассмотрены вопросы контроля и регулирования свойств буровых растворов при промывке нефтяных скважин. Приведен краткий обзор статей, описывающий как современное состояние исследуемой области, так и конкретное место, которое данная работа занимает в ней. Определены основные направления и сформулированы конкретные задачи исследований.

**Во второй главе** автором анализируются основные факторы, влияющие на состав буровых растворов, сформулированы требования к их качеству в зависимости от геологических условий и технических особенностей проходки скважин. Основное внимание уделяется глинистым БР, рассмотрена методика их приготовления. Разработаны методика определения типа БР, основанная на виде связи между касательным напряжением и скоростью сдвига раствора, а также методика одновременного измерения его вязкости и предела текучести. Следует отметить, что данные методики защищены патентами на изобретение.

**Третья глава** посвящена экспериментальным исследованиям реологических свойств вязкопластических БР. Рассмотрены различные типы вискозиметров, показано, что для решения задач течения раствора по кольцевым трубам целесообразно использовать капиллярные вискозиметры. Разработана конструкция капиллярного вискозиметра для определения вязкости и напряжения сдвига БР при высоких температурах и давлении. Рассмотрена методика проведения экспериментов по исследованию зависимостей реологических характеристик буровых растворов от температуры, приведены результаты экспериментальных исследований.

**В четвертой главе** исследуются вопросы специфики течения глинодержащих БР в типовых конструкциях нефтяной скважины. С применением вариационной постановки задачи о течении получены зависимости продольной скорости раствора глинистых БР для круглой трубы в ламинарном и турбулентном режимах. На основе решения оптимизационной задачи о течении получена зависимость градиента

скорости БР от пластичности в кольцевом пространстве и круглой трубе для турбулентного движения. С использованием вариационного подхода к решению задачи о неизотермическом осесимметричном течении БР в кольцевом пространстве и круглой трубе при турбулентном режиме получена зависимость перепада давления от реологических свойств раствора при распределении температуры по глубине нефтескважины при промывке.

**Пятая глава** посвящена вопросам управления чистотой забоя скважины путем контроля и регулирования реологических характеристик бурового раствора при неизотермическом режиме бурения. В качестве критерия эффективности промывки скважины предложено использовать максимальный вынос шлама на поверхность при бурении. На основе разработанной математической модели неизотермического режима бурения решена задача оптимального управления, которая обеспечивает максимум уноса породы. Разработана методика управления качеством бурения в процессе промывки скважины посредством контроля и регулирования параметров БР, позволяющая осуществлять эффективное бурение нефтяных скважин путем непосредственного контроля на месте реологических параметров раствора.

**Научная новизна** полученных результатов определяется проведенными комплексными исследованиями, направленными на создание и развитие средств и методик управления качеством промывки скважины посредством контроля и регулирования реологических характеристик БР.

Создана методика установления типа бурового раствора как неньютоновской жидкости при установившемся течении (защищенная патентом РФ на изобретение), позволяющая по виду кривой течения определить тип неньютоновской жидкости.

Разработаны способ и устройство для определения реологических характеристик вязко-пластического бурового раствора (защищенные патентом на изобретение), обеспечивающие одновременное нахождение по предложенным формулам вязкости и предела текучести при переменных

температурах и давлениях.

Предложена конструкция вискозиметра (защищена патентом РФ на полезную модель) для исследования реологических свойств глинистых буровых растворов на водной основе при переменных температурах и давлениях.

Создана математическая модель гидродинамики бурового раствора в скважине в неизотермических условиях бурения, учитывающая пластические свойства раствора и позволившая определить характеристики его течения при ламинарном и турбулентном режимах.

Разработана математическая модель и алгоритм оптимального управления качеством процесса промывки скважины на основе предложенного критерия – максимальной очистки забоя, обеспечиваемой контролем и регулированием значений реологических характеристик бурового раствора.

#### **Теоретическая значимость**

Предложена математическая модель гидродинамики бурового раствора в скважине в неизотермических условиях бурения, а также математическая модель и алгоритм оптимального управления качеством технологического процесса промывки скважины.

#### **Практическая значимость**

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили решить задачу управления и оптимального бурения скважин посредством контроля реологических характеристик БР.

Разработаны экспериментальная методика и устройство для определения вязкости и предела текучести неньютоновской жидкости, которые могут применяться для исследования реологических свойств вязкопластических буровых растворов при переменных температурах и давлениях.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке и совершенствовании программно-аппаратных средств и методов для изучения вязкопластических буровых растворов, а также в учебном процессе высшей школы при подготовке соответствующих специалистов.

## **Апробация работы**

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на: пятой Российской университетско-академической научно-практической конференции (Ижевск, 2001), на научно-технических конференциях «Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства» (Ижевск, 2015); «Виртуальные и интеллектуальные системы» (Барнаул, 2016, 2018, 2019), «Информационные технологии в науке, промышленности и образовании» (Ижевск, 2020).

### **По диссертации имеются следующие замечания:**

1. В первой главе дан недостаточно подробный обзор методов и средств контроля параметров буровых растворов, применяемых за рубежом.
2. В параграфе 2.2 не вполне обосновано подробное описание выбора, методики приготовления буровых растворов и основных видов глинопорошков для месторождений Удмуртии.
3. Отсутствует научное обоснование по выводу о том, что для обеспечения достаточно низкого уровня погрешностей определения вязкости бурового раствора на уровне  $3\div 5\%$  погрешность измерения датчиков давления должна быть не более  $0,1\%$ , а датчиков расхода жидкости не более  $2\%$ ;
4. На основе полученных экспериментальных данных диссертант утверждает, что им получена зависимость вязкости и предела текучести бурового раствора от температуры в виде уравнений регрессии с помощью метода наименьших квадратов. В то же время, после проведения корреляционно-регрессионного анализа этой зависимости не обнаружено.
5. Разработанный алгоритм оптимального управления качеством технологического процесса промывки скважины при регулировании реологических характеристик бурового раствора не имеет практического внедрения. В нем заложено экспериментальное определение реологических характеристик раствора по предложенной методике с применением разработанного вискозиметра и сравнение полученных экспериментальных

значений с теоретическими из допустимого диапазона значений. На наш взгляд, необходимы промышленные испытания и акт внедрения.

6. Для реализации поставленной цели своей работы диссертант сформулировал решить 4 задачи и их соответственно вынес на защиту, но в выводах отмечено решение 8 задач.

7. Работа не лишена недостатков оформительского характера. В частности, на осях некоторых графиков не обозначены единицы измерений (рис.4.9-4.12), на рисунках отсутствуют обозначения приведенных элементов (рис.3.2, 4.1), присутствуют неточности в виде грамматических и стилистических ошибок.

Указанные замечания не снижают общего научного уровня и высокой значимости выводов и рекомендаций выполненной диссертационной работы.

#### **Соответствие диссертации научной специальности**

Рассматриваемая диссертационная работа соответствует шифру научной специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике) пунктам: 3. - Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; 5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

#### **Общее заключение**

Диссертация Шелковниковой Юлии Николаевны является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит научно-обоснованные технические разработки, направленные на создание методов и средств управления качеством бурения в процессе промывки скважины посредством контроля и регулирования параметров бурового раствора.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Полученные автором работы результаты достоверны, выводы и

положения подтверждены экспериментальными исследованиями. Учитывая актуальность темы диссертации, новизну и практическую значимость ее результатов, а также тот факт, что основные результаты работы в достаточной степени отражены в печатных работах, 8 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, считаем, что диссертационная работа соответствует требованиям предъявляемым к кандидатским диссертациям в пп. 9 - 11, 13 - 14 «Положение о присуждении ученых степеней» утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор Шелковникова Ю.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике).

Диссертационная работа Шелковниковой Ю.Н. обсуждалась на расширенном заседании кафедры кибернетических систем ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». По результатам обсуждения был утвержден отзыв на диссертационную работу Шелковниковой Ю.Н.

Присутствовало - 24 человека, с правом решающего голоса - 18 человек. Результаты голосования: «за» - 18 чел.; «против» - 0 чел.; «воздержались» - 0 чел.

Протокол № 2 от 26 октября 2020 года



*Кузнецов О.И., Овчинников В.И.*  
специалист общего отдела ТИУ  
*О.В. Бердюгина*  
03.11.2020

Заведующий кафедрой кибернетических систем, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», д-р техн. наук (по специальности 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления), доцент

Кузнецов  
Олег  
Николаевич

Профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин «Тюменский индустриальный университет», д-р техн. наук (по специальности 25.00.15 - Технология бурения и освоения скважин), профессор

Овчинников  
Василий  
Павлович



Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет».

Почтовый адрес: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Тел.: 8 (3452) 28-36-70 / Факс: 8 (3452)28-36-60

E-mail: [general@tyuiu.ru](mailto:general@tyuiu.ru)

### **Кузяков Олег Николаевич**

Зав. кафедрой кибернетических систем, доцент, д-р техн. наук по специальности 05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Адрес: 625000, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 70, каб. 322.

Телефон: 8(3452) 28-30-16.

E-mail: [kuzjakovon@tyuiu.ru](mailto:kuzjakovon@tyuiu.ru)

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку



О.Н. Кузяков

### **Овчинников Василий Павлович**

Профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин «Тюменский индустриальный университет», профессор, д-р техн. наук по специальности 25.00.15 - Технология бурения и освоения скважин.

Адрес: 625000, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 70, каб. 1612

Телефон: 8(3452) 28-36-79

E-mail: [ovchinnikovvp@tyuiu.ru](mailto:ovchinnikovvp@tyuiu.ru)



Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



В.П. Овчинников