

На правах рукописи



Беляева Евдокия Петровна

**КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ
СМЕСИ В ДИНАМИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ**

2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий,
веществ и природной среды

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Красноярск 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Безбородов Юрий Николаевич

Официальные оппоненты:

Земенкова Мария Юрьевна

доктор технических наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», кафедра транспорта углеводородных ресурсов, профессор

Тян Владимир Константинович

доктор технических наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра трубопроводного транспорта, профессор

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Защита диссертации состоится 22 ноября 2024 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.404.05, созданного на базе «Сибирского федерального университета» по адресу 660074, г. Красноярск. ул. Академика Киренского, 26, ауд. УЛК 112.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте «Сибирского федерального университета» www.sfu-kras.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Кайзер Юрий Филиппович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В Энергетической стратегии на период до 2035 г., утверждённой распоряжением правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г № 1523-р одним из основных направлений развития нефтегазовой отрасли России является обеспечения эффективности и безопасности процессов нефтегазодобычи, транспортировка и сбережение ресурсов без потерь или с минимальным расходом энергии, что в свою очередь является решением задач по обеспечению экологической безопасности окружающей среды от попадания нефтесодержащих отходов в природу, в результате порывов трубопроводов, перекачивающих водонефтяную смесь, в результате зачистки нефтепромыслового оборудования от нефтешлама, что требует разработки новых и модернизацию существующих технологий контроля характеристик добываемой нефтесодержащей жидкости.

Наиболее серьезными и распространенными осложнениями при добыче нефти является образование устойчивых эмульсий высокой вязкости.

В процессе перекачки скважинной продукции, образование высоковязких эмульсий сопровождается большими энергетическими затратами из-за неравномерности потока. Перекачивание неравномерного потока жидкости сопровождается скачками давления и появлением вибрации в трубопроводе.

В процессах подготовки, накапливаясь на границах разделов фаз (нефть/вода) эмульсии способствуют образованию промежуточных слоёв в аппаратах подготовки, и как следствие образование большого количества нефтешлама в резервуарах хранения нефти.

Образование высоковязких эмульсий обусловлено явлением инверсии - «обращение фаз» нефтяных эмульсий, которое имеет исключительно большое практическое значение. Эмульсия типа «нефть в воде», имеющая внешней фазой воду, транспортируется при меньших энергетических затратах, чем эмульсия типа «вода в нефти», имеющая внешней фазой нефть.

Результаты литературно-патентного анализа показали, что в процессах внутри промысловой перекачки и подготовки нефти контроль состояния водонефтяного потока осуществляется только по показателям, необходимым для коммерческого учёта нефти (массовый/объёмный расход, влагосодержание). Контроль реологических свойств потока ограничивается только определением плотности нефтяной фазы.

Большая часть научно-исследовательских работ и патентов направлены на создание новых методов контроля характеристик водонефтяных эмульсий по отдельности, а не в совокупности и без учета влияние явления инверсии на изменение реологических характеристик. Более того, исследования по изучению характеристик водонефтяных эмульсий проводятся в лабораторных условиях, где эмульсия находится в стационарном состоянии, а условия проведения экспериментов не соответствуют реальным условиям процессов нефтегазодобычи.

Вследствие этого **существует потребность** в разработке комплексного метода контроля состояния водонефтяной смеси в потоке.

Степень разработанности темы

Исследованиями в области поведения водонефтяных дисперсных систем в процессах перекачки занимались Медведев В.Ф., Кашаев Р.С., Калашникова Ю.В., Шестаков А.В., Дунюшкин И.И., Борисевич Ю.П., Евдокимов И.Н. и другие, российские и зарубежные ученые. Авторами предложены ряд эмпирических формул по расчёту характеристик водофнетяных эмульсий.

В работах Лутошкина Г.С., Евдокимова И.Н., Медведева В.Ф., Алвадани М.С., Муни М., Монсона Л.Т. встречаются результаты исследований закономерностей изменения характеристик водонефтяных дисперсных систем в различных условиях. Однако результаты исследования влияния технологических параметров нефтегазодобычи на состояние водонефтяной смеси в динамическом состоянии не выявлены.

Цель исследования: обеспечение стабильности технологического режима процессов нефтегазодобычи за счет совершенствования контроля физико-химических свойств водонефтяного потока.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. Разработать метод контроля состояния водонефтяной эмульсии на основе модифицированного приборно-измерительного комплекса «Система измерения количества жидких углеводородов и газа» и алгоритм контроля характеристик водонефтяного потока.

2. Разработать структуру и алгоритм расчета зависимости состояния водонефтяного потока от технологических параметров процессов нефтегазодобычи.

3. Экспериментально установить зависимости изменения характеристик водонефтяного потока от технологических параметров процессов добычи, перекачки и подготовки.

4. Разработать рекомендации по практическому применению предложенного метода контроля для стабильного ведения процессов добычи, перекачки и подготовки нефти.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.2.8 Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды п.1 «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов, аппаратных средств и технологий контроля, диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, способствует повышению надежности изделий и экологической безопасности окружающей среды».

Объект исследования: водонефтяная смесь в динамическом состоянии.

Предмет исследования: изменение характеристик водонефтяной смеси и коэффициента гидравлического сопротивления в зависимости от технологического режима внутрипромысловой перекачки нефти.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовались фундаментальные положения гидродинамики течения жидкости в трубопроводе, а так же законы коллоидной химии дисперсных систем, методы

корреляционного анализа, аналитические и численные методы математического анализа, компьютерные программы вычислительной математики.

При выполнении экспериментальных расчётов использовались реальные данные о характеристиках водонефтяной смеси с Ванкорского месторождения.

В качестве информационной базы диссертационного исследования использованы фонды нормативной документации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, материалы периодической печати, электронные базы данных и периодические электронные издания в сети Интернет.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Впервые разработан новый комплексный метод контроля состояния водонефтяного потока и регулирования параметров технологического режима, отличающаяся от известных тем, что учитывает влияние явления инверсии фаз на реологию потока, что позволяет повысить эффективность управления процессами нефтегазодобычи.

2. Разработана новая схема контроля характеристик водонефтяной смеси в динамическом состоянии, в которой производится замер вязкости, расхода фаз в эмульсии, что позволяет комплексно контролировать состояние потока.

3. Впервые экспериментально установлены закономерности изменения характеристик водонефтяного потока в результате явления инверсии фаз и их зависимость от параметров ведения технологических процессов, что позволяет контролировать состояние потока в процессах перекачки.

4. Коэффициент гидравлического сопротивления, использующийся для оценки потерь давления на участках трубопровода, впервые введён, как критерий оценки состояния водонефтяного потока в процессах нефтегазодобычи, позволяющий комплексно оценить состояние водонефтяной смеси.

На защиту выносятся:

1. Комплексный метод контроля состояния водонефтяной эмульсии в потоке и параметров технологического режима для повышения эффективности процессов нефтегазодобычи.

2. Модернизированная измерительная схема комплексного контроля характеристик водонефтяной смеси в динамическом состоянии.

3. Экспериментально полученные зависимости изменения характеристик водонефтяного потока в результате явления инверсии фаз от технологических параметров процессов добычи, перекачки и подготовки.

4. Структура и алгоритм расчета зависимости характеристик водонефтяного потока от технологических параметров процессов нефтегазодобычи.

Теоретическая значимость работ: разработан новый комплексный метод контроля состояния водонефтяного потока и регулирования параметров технологического режима, отличающийся от известных тем, что учитывает влияние явления инверсии фаз на реологию потока, что позволяет повысить эффективность управления процессами нефтегазодобычи.

Практическая значимость работы: разработана новая схема контроля характеристик водонефтяной смеси в динамическом состоянии, в которой

производится замер вязкости водной и нефтяной фаз эмульсии, что позволяет комплексно контролировать состояние потока.

Впервые экспериментально установлены закономерности изменения характеристик водонефтяного потока в результате явления инверсии фаз и их зависимость от параметров ведения технологических процессов, что позволяет контролировать состояние потока в процессах перекачки.

В результате исследований получены инженерные методики расчета характеристик водонефтяных смесей в стационарном и динамическом состоянии.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволяют контролировать состояние водонефтяной смеси в процессах нефтегазодобычи, обеспечивая стабильное ведение технологического режима, посредством определения коридора критических показателей обводнённости, вязкости водонефтяного потока и диапазона изменения коэффициента гидравлического сопротивления без наступления явления инверсии фаз.

Реализация результатов работы. Результаты исследования использованы в учебном процессе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирского федерального университета» Институте нефти и газа при изучении процессов и механизмов изменений состояния водонефтяных потоков в процессах нефтегазодобычи и рекомендованы к реализации на нефтегазовых месторождениях, что подтверждается соответствующими актами.

Апробация результатов работы. Основные результаты работы докладывались на: XVI Международной конференции УГТУ «Рассохинские чтения» (Ухта, 2024); XV Международном научно-техническом конгрессе студенческого отделения общества инженеров нефтегазовой промышленности Society of Petroleum Engineers (SPE) «Западно-сибирском нефтегазовом конгрессе 2023» (Тюмень, 2023); Форуме «Человек. Экономика. Технологии. Социум. HETS 2023» (Красноярск, 2023); V Международной конференции и VIII Всероссийском молодёжном научном форуме «Наука будущего-наука молодых» (Орёл, 2023); XIX Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектива — 2023» (Красноярск, 2023); XIII Региональной научно-технической конференции молодых специалистов ООО «РН-Ванкор», (Красноярск 2023); Региональной научно-технической конференции молодых специалистов ООО «РН-Сервис» 2023 года, (Красноярск, 2023); II Международной научно-практической конференции «NEW CHALLENGES IN NEW SCIENCE», (Петрозаводск, 2021 год); XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектива - 2021» (Красноярск 2021).

Достоверность результатов исследования: Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных лично автором, подтверждается удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных данных. Научные положения аргументированы, теоретические результаты работы и выводы подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями и их математической обработкой, с

использованием вычислительных компьютерных программ.

Личный вклад автора заключается в постановке, планировании и непосредственном проведении теоретических и экспериментальных работ, обобщении полученных результатов, подготовке научных статей.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 4 работы в изданиях ВАК, 6 работ в изданиях РИНЦ.

Объём и структура диссертации. Диссертация содержит 172 страницы машинописного текста, 24 рисунка, 4 таблиц. Состоит из введения, четырёх глав, основных выводов, списка литературы из 124 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель работы, поставлены задачи для её достижения, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость проведенных исследований, приведены методы исследования, представлены сведения об апробации результатов исследования.

В первой главе представлены теоретические методы контроля состояния водонефтяной эмульсии (ВНЭ). Установлена возможность расчёта характеристик водонефтяной смеси в динамическом состоянии через ряд эмпирических формул, в зависимости от обводнённости водонефтяных эмульсий, температуры и плотности водной и нефтяной фаз.

Инженерные расчеты Монсона Л.Т., Гужова А.И., Медведева В.Ф. показывают возможность расчёта вязкости водонефтяной эмульсии при обводнённости от 50% при известной температуре, что в свою очередь расширило уравнение Энштейна по определению вязкости эмульсий с обводнённостью до 15 %.

Зависимость характеристик гидравлического режима течения жидкости и вязкости водонефтяной смеси представлены математическими зависимостями Мищенко И.Т. и экспериментальным обоснованием Евдокимова Е.Н.

При анализе существующих методов контроля состояния водонефтяного потока в условиях добычи, транспортировки и подготовки нефти установлено, что в условиях перекачки нефти не учитывается и не контролируется соотношения водной и нефтяной фаз в водонефтяном потоке. А это необходимо, так как данный показатель влияет на гидродинамический режим течения потока. Показатель вязкости водонефтяного потока не контролируется в процессах перекачки.

Вторая глава посвящена разработке комплексного метода контроля состояния водонефтяной эмульсии в потоке и параметров технологического режима для повышения эффективности процессов нефтегазодобычи.

Анализ теоретических данных показал, что существует некоторая «обобщенная» зависимость вязкости эмульсии от содержания воды, с достаточно широким максимумом в «точке инверсии».

Известны экспериментальные данные по определению явления инверсии фаз. Например, изменения гидродинамики в процессе перекачки различных типов промысловых нефтяных эмульсий были проанализированы на установке Томса.

Экспериментальные данные показали, что пиковые значения гидравлического сопротивления приходятся на содержание воды от 50% до 80 % масс. Данный диапазон содержания воды относится к предполагаемому диапазону инверсии фаз. Это означает, что пиковые изменения гидравлического сопротивления связаны с изменением вязкости нефтяной эмульсии.

В начале транспортировки водонефтяной смеси происходит первичное перераспределение ее компонентов. В результате увеличения содержания водной фазы, за счет высокой скорости потока и давления процесса перекачки, происходит обращение фаз эмульсий – дисперсная фаза (вода) становится дисперсной средой, а дисперсная среда (нефть) – дисперсной фазой. Далее, участок потока из высоковязкой эмульсии частично разрушается, вследствие этого происходит резкий скачок вязкости потока, а так же снижение давления в трубопроводе. Однако, далее процесс повторяется.

Процесс обращения фаз описывается изменением коэффициента гидравлического сопротивления, который в свою очередь зависит от соотношения объёмных фаз, объёмной скорости потока и вязкости эмульсии.

Вторая глава посвящена разработке принципиально нового и универсального метода контроля характеристик водонефтяной смеси и момента наступления явления инверсии фаз водонефтяных эмульсий.

В условиях перекачки нефти не учитывается и не контролируется соотношения водной и нефтяной фаз в ВНЭ, а так же вязкость. Отсутствуют методы и приборы контроля состояния ВНЭ, которые бы определяли коэффициент гидравлического сопротивления и определяли момент наступления инверсии фаз ВНЭ в потоке при ведении технологического режима.

В результате полученных данных, был разработан комплексный метод контроля состояния водонефтяной смеси в потоке (рисунок 1).

Зная показатели характеристик ВНЭ в стационарном и динамическом состоянии возможно определение явления инверсии фаз эмульсии, через рассчитанный коэффициент гидродинамического сопротивления.

Необходима дополнительная приборная база для получения данных о плотности, вязкости потока и соотношения фаз в эмульсии.

На основе базы данных фонда месторождения о плотности, вязкости ВНЭ и объёмном содержании водной и нефтяной фаз строится алгоритм расчета процесса наступления инверсии фаз, который будет заложен в работу прибора контроля.

Далее проводится анализ данных для выявления коридора критических значений вязкости, плотности ВНЭ и соотношения фаз для наступления явления инверсии.

После проведенного анализа определяются оптимальные условия ведения технологического процесса без наступления инверсии фаз.

На нефтегазовых месторождениях для контроля характеристик водонефтяного потока применяется измерительная установка Система измерения количества жидких углеводородов и газа. Следовательно, для применения метода необходима модернизация существующую схема контроля характеристик

водонефтяной смеси.

Модернизированная схема отличается от существующей тем, что в ней дополнительно происходит замер:

- расхода фаз (нефтяной и водяной) в эмульсии (расходомер гамма-измеритель);
- вязкость смеси динамическая (вискозиметр ротационный).

Дополнительно рассчитывается средняя скорость течения жидкости, характера течения жидкости (критерий Рейнольдса), и коэффициента гидравлического сопротивления.

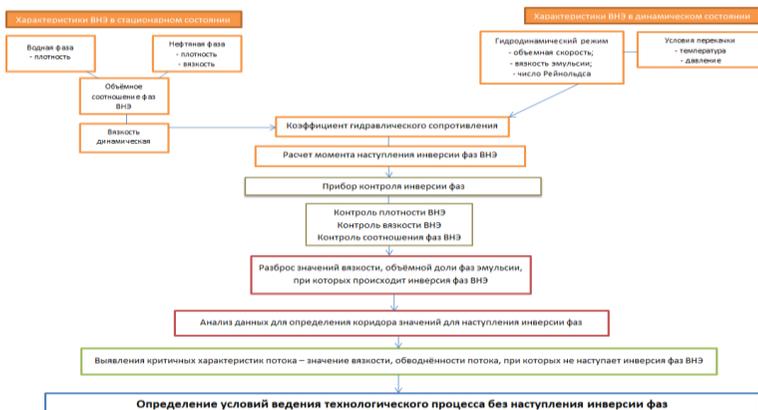


Рисунок 1 – Комплексный метод контроля состояния водонефтяной смеси в потоке

Третья глава посвящена разработке структуры и алгоритма (рисунок 2) зависимости технологических параметров процессов нефтегазодобычи в условиях нестабильного течения водонефтяного потока, а так же исследованию закономерностей влияния вязкости, обводнённости водонефтяного потока на появление явления инверсии фаз в процессах внутрипромысловой перекачки.

Для подтверждения теоретических предположений о зависимости величины коэффициента гидродинамического сопротивления от колебаний обводненности водонефтяного потока и о явлении инверсии фаз в пределах водосодержания от 50-70%, был проведён расчет характеристик водонефтяного потока в промысловых трубопроводах на различных кустовых площадках Ванкорского нефтегазового месторождения.

Расчет характеристик потоков в рассматриваемых трубопроводах показал, что водосодержание потока относительно стабильно, вследствие этого изменение коэффициента гидродинамического сопротивления будет происходить без резких перепадов по величине.

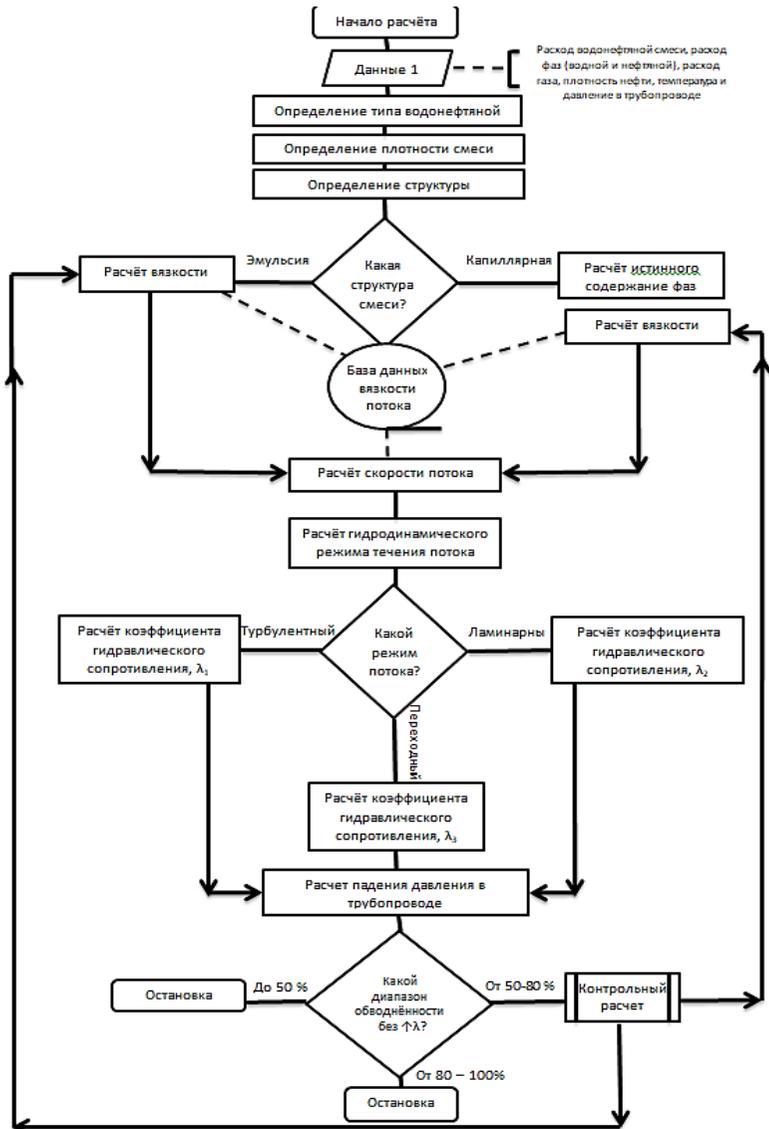


Рисунок 2 – Алгоритм расчёта характеристик водонефтяной смеси

Так как внутрипромысловые трубопроводы питаются от большого количества кустовых площадок и скважин, то было принято решение рассмотреть процесс смешивания потоков более детально.

Был произведён расчет характеристик потоков при смешении потоков, выходящих со скважин на кустовых площадках.

- 1) Жидкость поступает с куста № 5 БИС и по трубопроводу $\varnothing 219 \times 14$

$L=1141\text{м}$ поступает в коллектор, где смешивается с водонефтяным потоком с куста № 5.

В результате расчетов было установлено, что поток с этих кустов имеет капельную структуру, дисперсной фазой является пластовая вода – средняя объёмная доля воды $\beta_v=0,74$, средняя объёмная доля нефти $\beta_n=0,26$, тип водонефтяной смеси – «нефть в воде».

Следовательно, вязкость такого потока равна вязкости дисперсной среды, в данном случае пластовой воды, так как $\beta_v > 0,5$

Установлено, что коэффициент достоверности аппроксимации равен $R^2=0,003$, коэффициент корреляции равен $A=0,23$ (рисунок 3).

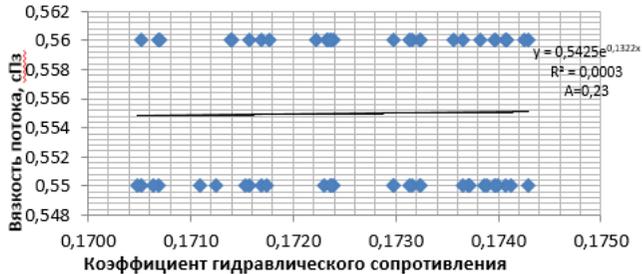


Рисунок 3 – Корреляционная зависимость величины коэффициента гидравлического сопротивления от вязкости потока с кустов № 5 БИС и № 5

Следовательно, возможно сделать заключение о том, что зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от вязкости для данного потока минимальна.

Однако, высока зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от средней скорости смеси, в свою очередь она зависит от площади поперечного сечения трубопровода и расхода жидкости. Коэффициент корреляции равен $A=0,88$, коэффициент достоверности аппроксимации равен $R^2=0,77$ (рисунок 4).

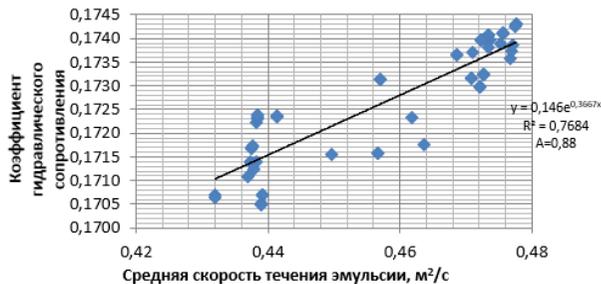


Рисунок 4 – Корреляционная зависимость величины коэффициента гидравлического сопротивления от средней скорости течения потока

2) Расчет куста 216 показал, что структура водонефтяной смеси эмульсионная, тип водонефтяной смеси – «нефть в воде», дисперсной фазой является нефть – средняя объёмная доля воды $\beta_v=0,36$, средняя объёмная доля нефти $\beta_n=0,64$, тип водонефтяной смеси – «вода в нефти».

При расчетах коэффициента гидравлического сопротивления и вязкости потока, установлено, что зависимость этих величин высока, так как коэффициент достоверности аппроксимации равен $R^2=0,70$, коэффициент корреляции равен $A=0,99$ (рисунок 5).

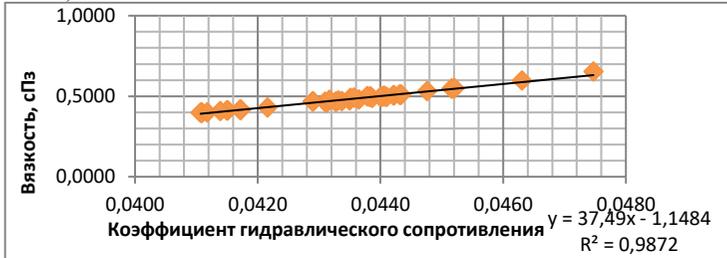


Рисунок 5 – Корреляционная зависимость величины коэффициента гидравлического сопротивления от вязкости потока с куста № 216

Так же, корреляционный анализ показал, что зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от вязкости эмульсии выше, чем зависимость от средней скорости течения эмульсии, так как коэффициент достоверности аппроксимации равен $R^2=0,49$, коэффициент корреляции равен $A=0,70$ (рисунок 6).

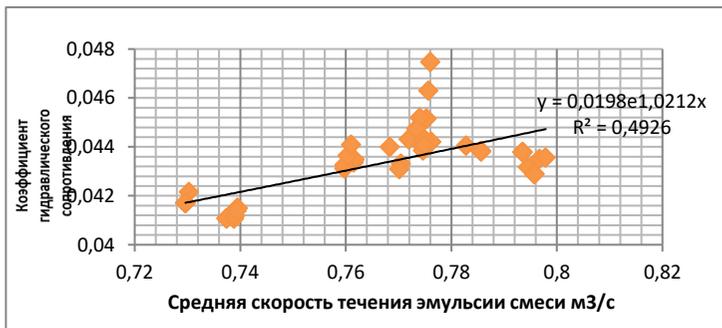


Рисунок 6 – Корреляционная зависимость величины коэффициента гидравлического сопротивления от средней скорости течения потока с куста № 216

Проведённые расчеты показывают, что степень соответствия выбранной трендовой модели исходным данным высока и теоретическое распределение описывает реальное распределение величин.

Далее были проведены расчеты по определению зависимостей распределения величины коэффициента гидравлического сопротивления от изменения объёмной доли воды и вязкости потока.

Так же был проведён графический анализ зависимости коэффициента

гидродинамического сопротивления от изменения объёмной доли воды.

Согласно 3-х мерному распределению величин основных характеристик водонефтяного потока (рисунок 7) в диапазонах объёмной доли воды от 0,56-0,73 наблюдаются скачки по величине вязкости и коэффициента гидродинамического сопротивления, что подтверждает наличие явления инверсии фаз в водонефтяном потоке.

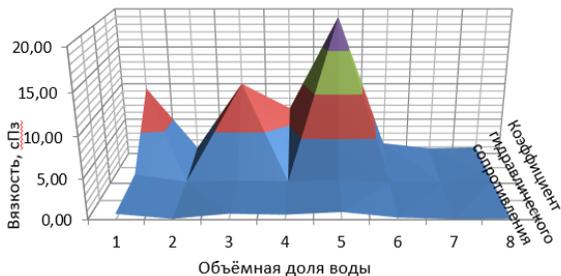


Рисунок 7 – Изменение вязкости и коэффициента гидродинамического сопротивления от объёмной доли воды в потоке с куста №216

Согласно графической зависимости падения давления в трубопроводе от вязкости потока (рисунок 8) падение давление на участке трубопровода с кустовой площадки 216 в промысловый трубопровод в среднем составляет 0,4 МПа, однако в момент повышения вязкости до 18,98 сПз (точка инверсии фаз) наблюдается падение давления 12,09 МПа.



Рисунок 8 – Графическая зависимость падения давления в трубопроводе от вязкости потока, сПз

В четвёртой главе приводятся рекомендации по практическому применению предложенного метода и схемы контроля для стабильного ведения процессов добычи, перекачки и подготовки нефти.

Разработанный метод контроля состояния водонефтяной эмульсии применим как на уже существующих технологических комплексах, так и при введении в эксплуатацию новых нефтегазовых месторождений.

На существующих производственных участках требуется модернизация измерительных установках в коллекторах на кустовых площадках. В блок обработки информации необходимо установить предложенный алгоритм расчета

характеристик водонефтяного потока.

С помощью алгоритма рассчитывается диапазон обводнённости при котором возможны скачки вязкости водонефтяного потока и как следствие явление инверсии.

Так как на кустовых площадках существуют системы задвижек и коллекторов, то необходимо регулировать направление потоков, в зависимости от обводненности после смешения. Так же, при критических значениях обводненности - снижения расхода жидкости по трубопроводу будет способствовать «сглаживанию» перепадов обводненности в смеси потоков, тем самым предотвращать явление инверсии фаз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, на основании выполненных автором исследований, решена задача по разработке комплексного метода контроля водонефтяной эмульсии в динамическом состоянии для обеспечения стабильного ведения технологических режимов процессов нефтегазодобычи за счет совершенствования контроля физико-химических свойств водонефтяного потока. Отрасль знаний – дисперсные нефтяные системы, исследование физико-химических явлений, имеющих место при процессах перекачки и подготовки нефти, процессы и механизмы изменений характеристик водонефтяных потоков в процессах нефтегазодобычи. Основные выводы, научные и практические результаты, полученные и представленные в диссертации, заключаются в следующем:

1. Установлено, что существующие приборы контроля позволяют определять характеристики водонефтяной смеси по отдельности, а некоторые характеристики определяются только лабораторными методами в стационарном состоянии, что не позволяет оценить состояние потока комплексно. В процессах перекачки нефти не учитывается и не контролируется соотношения водной и нефтяной фаз в потоке, вязкость водонефтяной смеси. Определение данных характеристик водонефтяной смеси необходимо, так как данные показатели влияют на гидродинамический режим течения потока.

В процессе анализа теоретических предположений о расчете характеристик водонефтяных смесей установлена возможность расчёта характеристик в динамическом состоянии, так как подтверждена взаимосвязь вязкости, плотности водонефтяных смесей, а так же объёмной доли воды с гидродинамическим режимом течения потока.

2. Разработан комплексный метод контроля состояния водонефтяной эмульсии в потоке и параметров технологического режима для повышения эффективности процессов нефтегазодобычи. Метод учитывает характеристики водонефтяных смесей, как в стационарном, так и в динамическом состоянии. Коэффициент гидравлического сопротивления введён как критерий оценки состояния водонефтяного потока в процессах нефтегазодобычи, позволяющий комплексно оценить состояние водонефтяной смеси. Так же, метод учитывает необходимость дополнительной приборной базы для получения данных о

плотности, вязкости потока и соотношения фаз в эмульсии.

Метод предполагает анализ данных о характеристиках водонефтяных смесей, рассчитанных с помощью определённой структуры и алгоритма, для выявления коридора критических значений вязкости, плотности ВНЭ и соотношения фаз для наступления явления инверсии. После проведенного анализа определяются оптимальные условия ведения технологического процесса без наступления инверсии фаз.

3. Модернизирована существующая измерительная схема контроля характеристик водонефтяной смеси в динамическом состоянии.

На входе в сепаратор устанавливается поточный ротационный вискозиметр, для замера вязкости смешанного потока и нефтяной и водной фаз в отдельности. На жидкостной линии измерительной схемы устанавливается расходомер гамма-измеритель, для определения расхода нефтяной и водной фаз в эмульсии. В устройстве обработки информации дополнительно вычисляются:

- объёмная доля фаз в эмульсии т/ч;
- плотность эмульсии кг/м^3 ;
- коэффициент гидравлического сопротивления;
- критический диапазон обводнённости и значений вязкости потока для наступления явления инверсии фаз.

4. Экспериментально установлены зависимости изменения характеристик водонефтяного потока в результате явления инверсии фаз от технологических параметров процессов добычи, перекачки и подготовки.

5. Разработана структура и алгоритм расчета зависимости характеристик водонефтяного потока от технологических параметров процессов нефтегазодобычи.

В первую очередь, определяется тип и структура водонефтяной смеси в потоке. Далее производится расчёт плотности и вязкости водонефтяной смеси. Далее рассчитывается средняя скорость течения эмульсии и гидродинамический режим течения потока жидкостей через рассчитанный критерий Рейнольдса.

В зависимости от его величины определяют – ламинарный, переходный и турбулентный режим течения жидкости. Так как, формула определения коэффициента гидравлического сопротивления связана с критерием Рейнольдса, то коэффициент гидравлического сопротивления рассчитывается в соответствии с режимом течения потока.

Дальнейшие исследования планируется вести в следующих направлениях:

- интеграция схемы контроля явления инверсии фаз в водонефтяных эмульсиях в уже существующие технологические системы объектов нефтегазодобычи;
- разработка программного обеспечения на основе искусственного интеллекта, для полного контроля смешения водонефтяных потоков на кустовых площадках нефтегазовых месторождений.

Работы, опубликованные автором по теме диссертации

- а) статьи в российских журналах, включенные в текущий перечень ВАК:

1. Беляева Е.П. Технология комплексного контроля состояния водонефтяной эмульсии в потоке / Е.П. Беляева, Ю.Н. Безбородов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, том 27, №4. – 2024 – С. 30-38.

2. Беляева Е.П. Методы и приборы контроля свойств и состояния водонефтяных эмульсий / Е.П. Беляева, Ю.Н. Безбородов // Альманах современной метрологии. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды. –2023. – № 4 (36). – С. 73-78.

3. Беляева Е.П. Анализ методов разделения водонефтяных эмульсий // Е.П. Беляева, М.А. Ковалёва, Т.Н. Виниченко // Южно-Сибирский научный вестник. - 2022. № 6 (46). - 3-7.

4. Беляева Е.П. Предложение метода по снижению объемов нефтешлама на Ванкорском нефтегазовом месторождении / Е.П. Беляева, М.А. Ковалёва // Транспортное горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2020,. – № 9. – С. 73-80.

б) работы в других изданиях:

5. Беляева Е.П. Контроль свойств водонефтяных эмульсий в динамическом режиме / Е.П. Беляева, Ю.Н. Безбородов // Материалы XV Международного научно-технического конгресса студенческого отделения общества инженеров нефтегазовой промышленности Society of Petroleum Engineers (SPE) «Западно-сибирский нефтегазовый конгресс 2023, 2024. – с. 142-144.

6. Беляева Е.П. Контроль свойств водонефтяных эмульсий в динамическом режиме / Е.П. Беляева // Материалы XVI Международной конференции «Рассохинские чтения». Ухта, 2024.

7. Беляева Е.П. Контроль свойств водонефтяных эмульсий в динамическом режиме / Международный журнал гуманитарных и естественных наук, - 2023. – №8-2. – 62-66.

8. Беляева Е.П. Комплексный метод контроля и прогнозирования состояния водонефтяной эмульсии в процессах нефтегазодобычи / Е.П. Беляева // Материалы форума «Человек. Экономика. Технологии. Социум. NETS 2023». Красноярск. 2023.

9. Беляева Е.П. Комплексный метод контроля и прогнозирования состояния водонефтяной эмульсии / Е.П. Беляева, Ю.Н. Безбородов // Материалы XIX Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективны – 2023». Красноярск, 2023.

10. Беляева Е.П. Предложение метода по снижению объемов нефтешлама на Ванкорском нефтегазовом месторождении / Е.П. Беляева. Ю.Н. Безбородов // Материалы XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективны – 2021». Красноярск, 2021.

в) Патенты:

11. Пат. 2820792 Российская Федерация, G01N 24/081 (2024.01) Способ комплексного контроля характеристик водонефтяной смеси в динамическом состоянии / Беляева Е.П., Безбородов Ю.Н.; № 2024109497: заявл. 09.04.2024: опубл. 10.06.2024 – 17с.