

На правах рукописи



КАЗАРЦЕВ ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРИЕВИЧ

**ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ СТРУЕИНЖЕКЦИОННОГО СМЕСИТЕЛЯ
С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДОЗИРОВАНИЯ ДЕЭМУЛЬГАТОРА ДЛЯ
ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОБЕССОЛИВАНИЯ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ**

Специальность: 05.02.13 - "Машины, агрегаты и процессы"

(нефтегазовая отрасль)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

У х т а - 2 0 2 0

Диссертация выполнена на кафедре «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» Ухтинского государственного технического университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник Республики Коми

Быков Игорь Юрьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
Пожарной и промышленной безопасности ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный нефтяной технический
университет»

Хафизов Ильдар Фанильевич

кандидат технических наук, доцент кафедры
Процессы и аппараты химических технологий ФГБОУ ВО
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

Алексеев Константин Андреевич

Ведущая организация: Институт "ТатНИПИнефть" ПАО "Татнефть"
им. В.Д. Шашина, г. Бугульма

Защита состоится «05» сентября 2020 г. в 12 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.291.02 в Ухтинском государственном техническом университете по адресу: ул. Первомайская, 13, г. Ухта, Республика Коми, 169300.

С авторефератом и диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», а также на сайте вуза по адресу www.ugtu.net в разделе «Наука→Диссертации».

Автореферат разослан « 22 » июля 2020 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.291.02,
кандидат технических наук



Д. А. Борейко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Эффективность нефтегазодобывающего предприятия определяется успешной реализацией технологических операций, среди которых обессоливание и обезвоживание нефти являются определяющими в формировании качества товарного продукта. Реализуется это специальным оборудованием, а эффективность оценивается его производительностью. С целью обеспечения качества товарного продукта несовершенства процессов необоснованно компенсируются дополнительными производственными ресурсами, включающие энергетическую и материальную составляющие, что является экстенсивным путем развития. Переход на интенсивный путь развития производства реализуется через совершенствование режима работы оборудования посредством его модернизации. Одним из направлений совершенствования режима подготовки нефти является создание и применение смесительных устройств, обеспечивающих интенсификацию процессов обессоливания и обезвоживания нефти. Устройства подачи, ввода и распределения деэмульгатора, промывной воды в нефти перед ступенями обессоливания и обезвоживания являются критически важными звеньями гидродинамической системы, и от их работы во многом зависит качество продукта и эффективность комплекса подготовки нефти. Существующие устройства имеют недостатки, снижающие эффективность процессов: для смесителей это низкая эффективность и ограниченность в регулировании смешения воды с нефтью при ее обессоливании, а для системы дозирования это излишний расход деэмульгатора из-за флуктуаций поступления нефти при ее обезвоживании, поэтому создание устройств для интенсификации процессов является актуальным, как и тема исследования, поскольку до настоящего момента данные исследования не проводились.

Степень разработанности темы. Тема настоящей диссертации затрагивает несколько областей и направлений в науке и технике. Исследованиями образования и разрушения эмульсий применительно к технологии и оборудованию для обессоливания и обезвоживания нефти занимались А. А. Петров, В. П. Тронов, Г. С. Лутошкин, Г. Н. Позднышев, Н. В. Бергштейн, Д. Н. Левченко, К. С. Каспарьянц, В. И. Логинов. Исследования показывают, что для ускорения процессов без дополнительных энергетических и материальных затрат требуются соответствующие гидродинамические режимы, характеризующиеся определенной структурой. Зарубежными и российскими учеными изучались методы смешения жидкостей в условиях турбулентности и использования струйных потоков. Исследования в данном направлении проводили О. Рейнольдс, Дж. Бэтчелор, Г. Шлихтинг, П. Майер, В. Г. Роуз, Л. И. Илизарова, В. П.

Солнцев, В. Е. Власов, А. С. Гиневский, В. И. Фурлетов, Д. Н. Ляховский, В. В. Богданов, А. Г. Лаптев и др. В исследованиях ученых отмечен высокий потенциал применения процесса смешения для интенсификации обессоливания и обезвоживания нефти, но существующие смесительные устройства имеют недостатки, поэтому создание более совершенного смесительного оборудования на основе турбулизации гидродинамической структуры смешиваемых потоков требует дополнительных исследований.

Цель работы заключается в разработке основ создания струеинжекционного смесителя с синхронизацией дозирования деэмульгатора для интенсификации обессоливания и обезвоживания нефти.

Непосредственными **задачами исследования** являются:

1. Анализ оборудования для интенсификации обессоливания и обезвоживания.
2. Формирование методологических основ исследования.
3. Моделирование гидродинамической структуры смешиваемых потоков.
4. Проведение экспериментальных исследований смесителя.
5. Разработка методики обоснования параметров смесителя.

Научная новизна:

1. Определен рациональный угол атаки струй воды $\alpha=135^\circ$ при противоточном тангенциальном направлении ввода в смеситель, в ходе промышленного эксперимента, при котором достигается практический максимум степени обессоливания, равный 95%.

2. Экспериментально определена зависимость степени обессоливания δ_c , %, в виде: $\delta_c = -0,00005 \alpha^2 + 0,0188\alpha - 0,5876$ от угла α , °, атаки струй в диапазоне от 45° до 135° при тангенциальном вводе промывной воды в смеситель, позволяющая определять необходимый угол атаки струй воды для требуемой степени обессоливания.

3. Установлена зависимость эффективности смешения потоков нефти и воды от величины турбулентной энергии, являющейся мерой интенсивности смешения при тангенциальном вводе с углом атаки струй воды 135° , в результате компьютерного моделирования, позволяющая определять рациональную геометрию смесителя.

4. Установлена длина активной зоны перемешивания равная длине зоны турбулентности между поперечными сечениями, позволяющая рационально расположить вводные отверстия для промывной воды по длине смесительного элемента.

Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании геометрических размеров смесительного элемента с оценкой диаметра, частоты и угловой ориентации вводных отверстий, размещенных друг от друга на удалении, равном длине активной зоны перемешивания и обеспечивающих тангенциальный противоточный ввод промывной воды

под углом 135° к потоку нефти, что позволяет достичь 95% степени обессоливания обрабатываемой нефти без ощутимых затрат энергии по сравнению традиционным смесителем.

Рассчитана эффективность разработанной схемы компоновки оборудования и принципа синхронизации системы дозирования позволяющая менять расход деэмульгатора пропорционально изменению объема обрабатываемой нефтяной фазы.

В ходе исследования также решены следующие теоретические вопросы:

- установлена зависимость эффективности смешения от турбулентной энергии потока в смесительном элементе рациональной конструкции с вводными отверстиями тангенциального ввода с углом 135° атаки струй воды против потока нефти;

- выявлена корреляция между эффективностью процесса смешения и разностью осевых составляющих скоростей смешиваемых потоков, позволяющая определить диапазон рациональной турбулентности.

Практическая значимость работы:

1. Предложены новая конструкция устройства для смешения воды в потоке нефти (RU 2643967) перед ступенями обессоливания и оригинальная схема компоновки с принципом работы системы синхронизации дозирования деэмульгатора (RU 2538186).

2. Внедрение в производство разработанного автором струеинжекционного смесителя с синхронизацией дозирования деэмульгатора позволяет обеспечить эффективность операций обессоливания и обезвоживания нефти:

- увеличить степень обессоливания нефти в два раза за счет заданной турбулизации потока воды в объеме обрабатываемой нефти;

- снизить потребление электроэнергии объектов подготовки нефти на 58,5 Вт·ч на тонну подготавливаемой нефти за счет снижения затрат на прокачку обрабатываемого сырья через смесительные устройства с низкими гидравлическими сопротивлениями;

- сократить потребление деэмульгатора на 4% за счет синхронизации его подачи с изменениями поступления нефтяной фазы в общем объеме флюида.

3. Разработанный аналитический и методический материал позволяет модернизировать системы смешения промывной воды и дозирования деэмульгатора в потоке сырой нефти перед ступенями обессоливания и обезвоживания на действующих и проектируемых объектах подготовки.

4. Показано, что по сравнению с традиционным оборудованием, разработанные устройства более эффективны с получением годовой экономии: для смешения промывной воды в потоке сырой нефти на 180 тыс. долларов США и для дозирования деэмульгатора на 120 тыс. долларов США, что подтверждается документами о внедрении.

5. Верификация результатов испытаний элементов разработанного смесителя на нефтяном промысле с результатами численного эксперимента и теоретических расчетов, свидетельствует о возможности применения результатов диссертационного исследования в промышленных условиях - гидродинамическая длина струи, найденная при компьютерном моделировании, близка с результатом расчета по эмпирической формуле с расхождением в 2 мм (7,7%).

Методология и методы исследований. Методология диссертации основана на комплексном подходе в применении традиционных методов научного исследования: системного анализа, методов планирования и проведения экспериментов, математического моделирования смешения, систематизации и формализации теоретических основ гидродинамики течения флюидов и поисковых методов рационального проектирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Струйноинжекционный смеситель тангенциального ввода струй воды с углом атаки 135° , позволяющий увеличить степень обессоливания нефти в два раза без ощутимых затрат энергии по сравнению традиционным смесителем.

2. Система синхронизации производительности насоса, пропорционально дозирующего деэмульгатор и позволяющая повысить эффективность обезвоживания на 4%.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, базируются на экспериментальных данных, полученных с применением современных методов исследований, имитационного и физического моделирования с использованием современной измерительной техники, научно-исследовательского оборудования и компьютерного обеспечения. Достоверность работы подтверждается согласованностью результатов численного моделирования с собственными экспериментальными данными и данными экспериментов и теоретическими расчетами из литературных источников. Результаты диссертационной работы и ее основные положения докладывались и обсуждались на: конференции посвященной 75-лет институту «ПечорНИПИнефть» «Проблемы освоения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции» (Ухта, 2012 г.); техническом совете по защите научно-исследовательских работ ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПечорНИПИнефть» в ООО "ЛУКОЙЛ-Коми" (г. Усинск, 2013 г.); конференциях в рамках научно-педагогической школы «Современные проблемы нефтепромышленной и буровой механики», кафедры «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» УГТУ (г. Ухта, 2012, 2013, 2015, 2017 гг); международных семинарах "Рассохинские чтения" УГТУ, (г. Ухта, 2013, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 гг); конференции «Проблемы эксплуатации и

разработки высоковязких нефтей и битумов» УГТУ, (г. Ухта, 2016, 2019); международном семинаре Севергеоэкотех-2020 (Ухта, 2020 г.); XXXXIV межрегиональном вебинаре им. профессора И. Н. Андропова "Актуальные проблемы транспорта нефти и газа" (Ухта, 2020 г.).

Соответствие паспорту специальности. Представленная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы» (нефтегазовая отрасль), а именно областям исследования: «Разработка научных и методологических основ проектирования и создания новых машин, агрегатов и процессов; механизации производства в соответствии с современными требованиями внутреннего и внешнего рынка, технологии, качества, надежности, долговечности, промышленной и экологической безопасности» (п. 1), «Теоретические и экспериментальные исследования параметров машин и агрегатов и их взаимосвязей при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов и операций» (п. 3), «Разработка научных и методологических основ повышения производительности машин, агрегатов и процессов и оценки их экономической эффективности и ресурса» (п. 5).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 17 печатных работах, в том числе в семи статьях изданий, рекомендованных ВАК РФ и в двух патентах на изобретения.

Объем и структура работы. Текст диссертационной работы изложен на 170 страницах машинописного текста, включая 20 таблиц, 79 рисунков. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения (основных выводов и рекомендаций), списка литературы из 114 наименований и восьми приложений на 67 страницах.

Диссертация основана на исследованиях, которые проводились автором в филиале ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПечорНИПИнефть» в г. Ухте, на объектах подготовки нефти ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» (2011-2013 гг.) и филиала ЛУКОЙЛ Мид-Ист Лтд. в г. Басра Республики Ирак (2013-2020 гг.).

Благодарности.

Автор выражает глубокую благодарность и признательность своему научному руководителю: профессору, доктору технических наук Быкову Игорю Юрьевичу за внимательное отношение и помощь в период работы над диссертацией.

Автор выражает благодарность исполнительному директору филиала ЛУКОЙЛ Мид-Ист Лтд. в г. Басра Рогачеву Вадиму Владимировичу за помощь и поддержку в проведении экспериментальных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В первой главе произведен подробный анализ существующего оборудования и технологий для обессоливания и обезвоживания нефти.

Рассмотрено основное оборудование для обессоливания и обезвоживания, а также протекающие в нем процессы. Установлено, что на хорошо известные (термическое, химическое и электрическое) воздействия, ускоряющие разделение эмульсии, определенное влияние оказывает гидродинамический режим смешиваемых потоков в оборудовании установок подготовки нефти (УПН), характеризующийся соответствующей структурой.

По результатам обзора оборудования УПН выделено два типа технических устройств, играющие ключевые роли в операциях: обессоливания – устройства ввода и смешения воды, и обезвоживания – системы дозирования и ввода деэмульгатора.

Характерный признак этих устройств – специализированные механизмы, не соединенные на предприятии - изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций (подготовка нефти товарного качества) позволил объединить их в один технологический комплекс, критически важный для интенсификации обессоливания и обезвоживания нефти (рисунок 1).

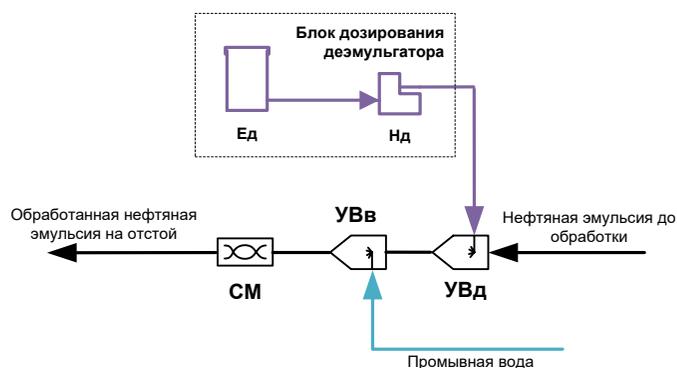


Рисунок 1 - Схема технологического комплекса: Нд- насос-дозатор; Ед – емкость деэмульгатора; УВд, УВв – устройство ввода деэмульгатора и воды; СМ- смеситель

Анализ конструктивных особенностей и результатов работы системы дозирования деэмульгатора и устройств ввода, диспергирования и смешения воды в обрабатываемом потоке нефти, функционально объединенных в один комплекс, привел к выводам:

- при сравнении конструкций устройств ввода, показано, что только инжекционные устройства обеспечивают низкое гидравлическое сопротивление основному потоку и нужную дисперсность компонента за счет формирования характерных струй;

- при рассмотрении различных конструкций смесительных устройств, выявлено их общее свойство – эффективность перемешивания напрямую зависит от потерь энергии обрабатываемого потока, идущих на формирование вихрей и рекомбинации струй потока, что в свою очередь повышает энергетическую нагрузку процесса, в то время как смеситель должен обеспечивать эффективное распределение компонентов в потоке при низких затратах энергии;

- при сравнении конструкций дозирующих насосов, показано, что наибольшей управляемостью по сравнению с другими конструкциями обладают мембранные (диафрагменные) насосы, позволяющие регулировать производительность без их остановки.

Рассмотрены методы контроля и оценки эффективности работы оборудования для интенсификации обессоливания и обезвоживания, основанные на мониторинге параметров работы и лабораторно-аналитических исследованиях.

Отмечено, что выявление потенциала сокращения степени химизации через турбулизацию гидродинамической структуры технологических потоков в оборудовании, создает принципиально новые возможности для интенсификации процессов.

Достижение полученных на основании расчетов параметров интенсифицированного режима обессоливания и обезвоживания является целью управления качеством процессов и эффективностью работы оборудования, а, соответственно, его недостижение указывает на несовершенства устройств и связанные с ними недостатки процессов.

Отмечено, что затраты на подготовку нефти неуклонно растут из-за объективного повышения стойкости нефтяных эмульсий от увеличения доли добычи трудно извлекаемых запасов, при этом недостатки процесса и несовершенства устройств являются субъективными причинами, чаще всего компенсирующиеся дополнительными энергетическими и материальными ресурсами, что увеличивает затраты. Оборудование, при котором в отстойник поступают уже подготовленные к разделению фазы, позволит улучшить качество и объем подготавливаемой нефти, повысить производительность и эффективность УПН, при этом выделены направления совершенствования:

- турбулизация потоков на этапах ввода и перемешивания промывной воды на блоке обессоливания, для сокращения энергетических затрат на подготовку за счет снижения мощности насосных агрегатов или перехода к безнасосной подаче сырья по технологической цепочке УПН, что позитивно скажется на подготовке за счет исключения диспергирования нефтяной эмульсии в рабочих колесах питающего насоса;

- синхронизация расхода деэмульгатора пропорционально поступлению сырой нефти, для сокращения его потребления, управлением работой дозирующего насоса.

Во второй главе описаны применяемые в работе методики исследований. Формирование методологических основ исследований производилось на основании представлений о процессах образования и разрушении эмульсий.

Для выявления несовершенств оборудования обессоливания и обезвоживания использовался апробированный в НИР «ПечорНИПИнефть» 2011-2013 гг. алгоритм, основанный на исследовании гидродинамической структуры смешиваемых потоков.

Разработка компоновок и конструкций разрабатываемых устройств основывалась на базовых принципах конструирования оборудования, а расчет основных параметров смесительного устройства выполнялся на основе известных геометрических и гидродинамических зависимостей. Результаты исследований гидродинамической структуры смешиваемых потоков рассмотрены с точки зрения эффективности смешения при изменении направления ввода и углов атаки струй воды в ламинарном потоке нефти.

В исследовании рассмотрено влияние составляющих полной скорости струи при изменении конструктивных параметров ввода струй воды на интенсивность и эффективность смешения. Полная скорость потока струи раскладывается на три составляющие: радиальную (нормальную), тангенциальную (касательную), аксиальную (осевую). Для полностью радиального ввода при $\beta=0^\circ$ (рисунок 2) характерно полное отсутствие тангенциальной составляющей скорости, в соответствии с выражением:

$$V_{Vt} = V_V \cdot \sin \beta (0^\circ) = 0 \quad (1)$$

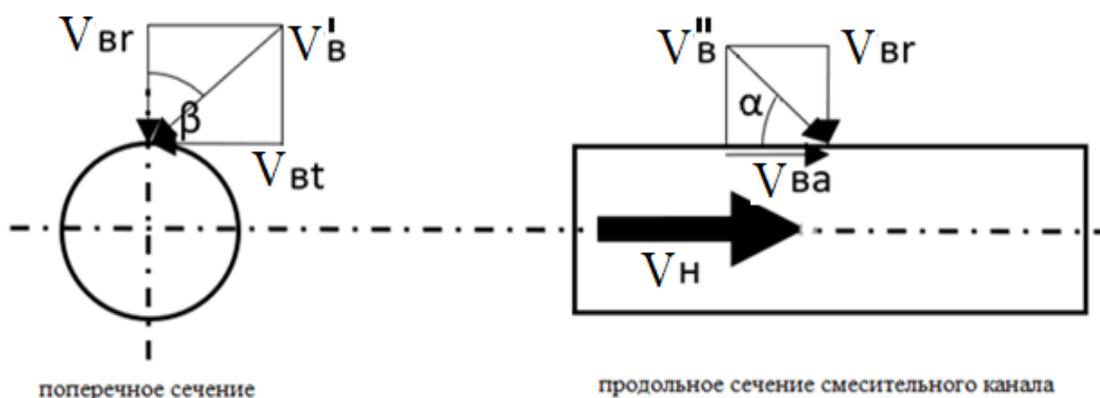


Рисунок 2 – Расчетная схема составляющих полной скорости струи:

V_V' – поперечная проекция скорости струи; V_V'' – продольная проекция скорости струи; V_{Vr} – радиальная составляющая скорости струи; V_{Vt} – тангенциальная составляющая скорости струи; V_{Va} – аксиальная составляющая скорости струи; V_H – скорость потока нефти; α – угол атаки; β – угол между вектором скорости V_V' и нормалью к окружности сечения

Для полностью тангенциального ввода (завихрения) при $\beta=90^\circ$ характерно полное отсутствие радиальной составляющей скорости, из выражения:

$$V_{Vr} = V_V \cdot \cos \beta (90^\circ) = 0 \quad (2)$$

Осевая составляющая скорости для обоих случаев зависит от угла атаки:

$$V_{Ba} = V_B \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

Как видно из выражений для радиального и тангенциального вводов струй при угле атаки $\alpha=90^\circ$ осевая компонента скорости отсутствует, при условии неподвижности среды.

При течении основного потока в смесительном канале, на струи воды дополнительно воздействует гидравлическое поле в виде ламинарного потока нефти, происходит искажение струй с образованием вихрей. При этом влияющим фактором на образование вихрей является разность осевых скоростей потоков воды и нефти:

$$\Delta V = V_H - V_{Ba} \quad (4)$$

На рисунке 3 представлены зависимости разности аксиальных скоростей смешиваемых потоков от угла атаки струй воды для различных случаев: скоростей потоков нефти и воды равных 3 м/с, рекомендованных при проектировании технологических трубопроводов для жидких сред; для сниженных на 50% от рекомендованной скорости; для скорости потока воды в 3 раза больше скорости потока нефти. Как видно из графика, все зависимости представляет собой часть синусоиды, но на участке от 45° до 135° их с достаточной степенью достоверности можно заменить линейным законом. Диапазон рационального угла атаки здесь ограничен 135° , являющийся максимальной точкой линейной зависимости, и 180° , при котором ΔV максимальный. Исследовательский интерес в работе представляло подтверждение гипотезы о влиянии направления ввода и угла атаки струй воды по отношению к потоку нефти на эффективность смешения и корреляция этой зависимости по отношению к разности осевых скоростей потока воды и нефти.

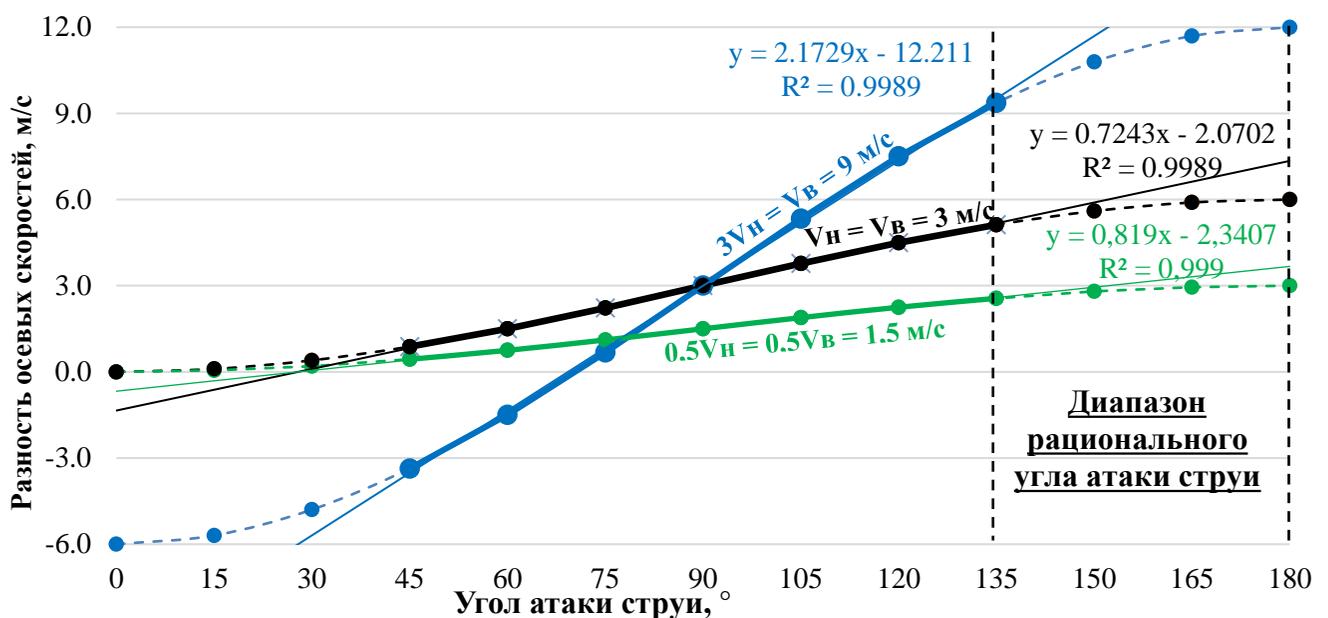


Рисунок 3 – Зависимость разности аксиальных скоростей потоков

- Разность аксиальных скоростей
- - - Участок синусоиды
- x — Аппроксимация на участке от 45° до 135°

Методология численного интегрирования уравнений в программном комплексе «FlowVision», описывающих течение несжимаемой жидкости основана на методе конечных объемов, предполагающая интегрирование уравнений движения жидкости с последующим переносом скалярных величин по объемам ячеек расчетной сетки.

Для оценки эффективности смесителей применялись стандартные методы определения содержания воды и хлористых солей в пробах нефти. Так как основные показатели качества нефти достигаются в ходе процесса деэмульсации, для оценки устойчивости нефтяной эмульсии и параметров отстоя применен метод «Bottle Test».

Экспериментальные методы исследования процесса смешения промывной воды с нефтью при использовании образцов смесительных элементов основывались на ее известных критериях оценки: эффективности и интенсивности смешения.

Повышение интенсивности процесса смешения жидкостей позволяет повысить производительность оборудования, но это всегда связано с повышением энергетических затрат, а технологический эффект от интенсификации смешения ограничен. Поэтому интенсивность определяется исходя из условий достижения максимального технологического эффекта при минимальных энергозатратах. Интенсивность смешения, I , Вт представляет собой энергию, затрачиваемую на перемешивание единицы объема ($N_{п}/V$) или массы ($N_{п}/\rho Q$) жидкости в единицу времени для достижения нужного качества смеси.

Выигрыш в энергозатратах обеспечен за счет меньшего - 6% расхода компонента по отношению к расходу основного потока, поэтому более показательным критерием количественной оценки работы инжекционных смесителей являются энергозатраты, где гидравлическая мощность смесителя складывается из энергозатрат потоков нефти и воды:

$$N_{п} = \Delta P_{н} \cdot V_{н} + \Delta P_{в} \cdot V_{в}, \quad (5)$$

где $\Delta P_{н}$, $\Delta P_{в}$ – перепады давления нефтяного и водяного потоков, Па;

$V_{н}$, $V_{в}$ – объемные расходы нефтяного и водяного потоков, м³/с.

Под эффективностью смешения понимают технологический эффект, характеризующий качество проведения процесса, и так как в каждом конкретном случае требуется достижение определенного эффекта, то и мера оценки эффективности должна быть индивидуальна, поэтому в рассматриваемом случае эффективность смешения оценивалась по конечному показателю технологической эффективности процесса – по степени обессоливания, которая определяется как отношение концентрации хлористых солей в нефти до и после обессоливания:

$$\delta c = 1 - \frac{M_{свых}}{M_{свх}}, \quad (6)$$

где $M_{с_{вх}}$, $M_{с_{вых}}$ – содержание хлористых солей в воде на входе и на выходе, кг.

Для проведения исследований эффективности смесительных элементов различных конструкций потребовалось создать промышленную экспериментальную установку.

Третья глава посвящена моделированию гидродинамической структуры смешиваемых потоков.

На основании исходных данных, практического опыта испытаний и используя апробированный алгоритм исследования оборудования на существующем объекте, определены несовершенства оборудования – повышенный перепад давления в 1 кгс/см^2 на смесителях блока обессоливания и избыточное потребление деэмульгатора в 4% системы дозирования из-за флуктуаций нефти при ее обезвоживании, относительно обоснованного расхода.

Разработаны схема компоновки и принцип работы оборудования системы дозирования (Рисунок 4), учитывающая гидродинамические параметры входного потока продукции скважин и позволяющая синхронизировать изменение расхода дозируемого деэмульгатора относительно постоянно меняющегося расхода нефтяной фазы входящего флюида с целью поддержания перманентной дозировки за счет применения насосов диафрагменного типа с исполнительными механизмами фирмы OBL (Италия) или фирмы REGADA (Словения), меняющими производительность насоса в автоматическом режиме без его останова.

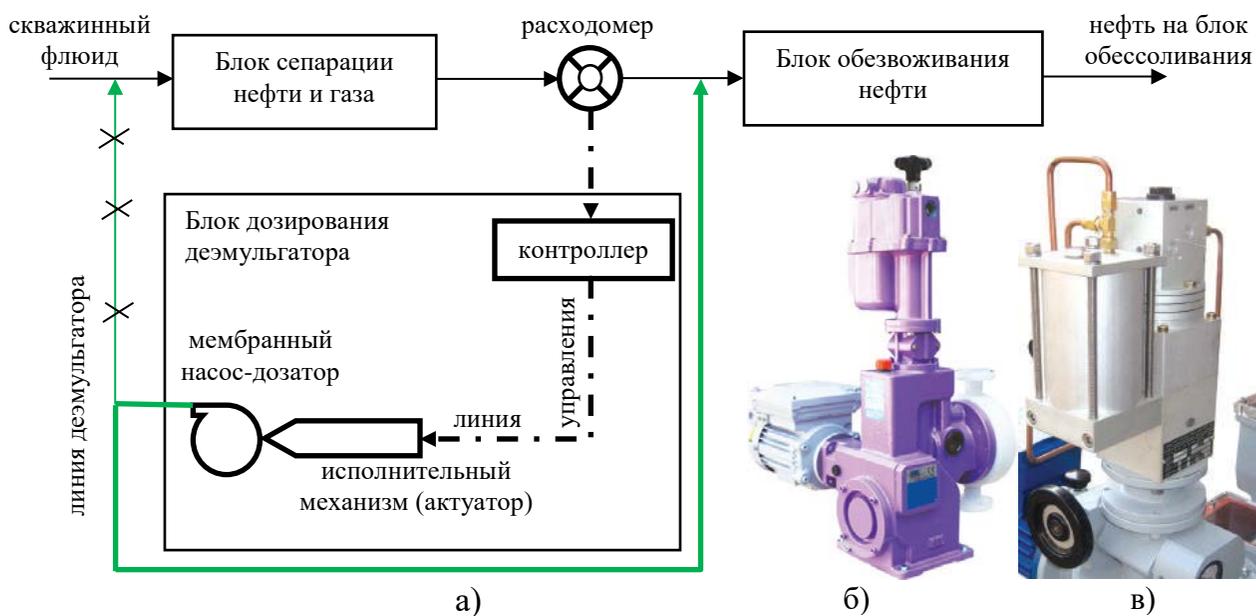


Рисунок 4 - Схема компоновки, принцип работы и внешний вид оборудования системы дозирования деэмульгатора: а – функциональная схема; б – мембранный насос-дозатор в сборе с актуатором фирмы OBL; в – пневматический актуатор фирмы REGADA

Данные о мгновенном расходе нефти поступающий на блок обезвоживания после отделения основного объема попутного газа фиксируются расходомером и передаются в контроллер системы управления, где формируется управляющий сигнал который

поступает на исполнительный механизм (актуатор) для автоматического регулирования производительности насоса-дозатора с целью поддержания постоянной дозировки деэмульгатора (мл реагента на м³ нефти).

Разработана конструкция струеинжекционного смесителя на основе применения подхода к организации диспергирования вводимого компонента отдельными струями, формируемыми вводными отверстиями (Рисунок 5).

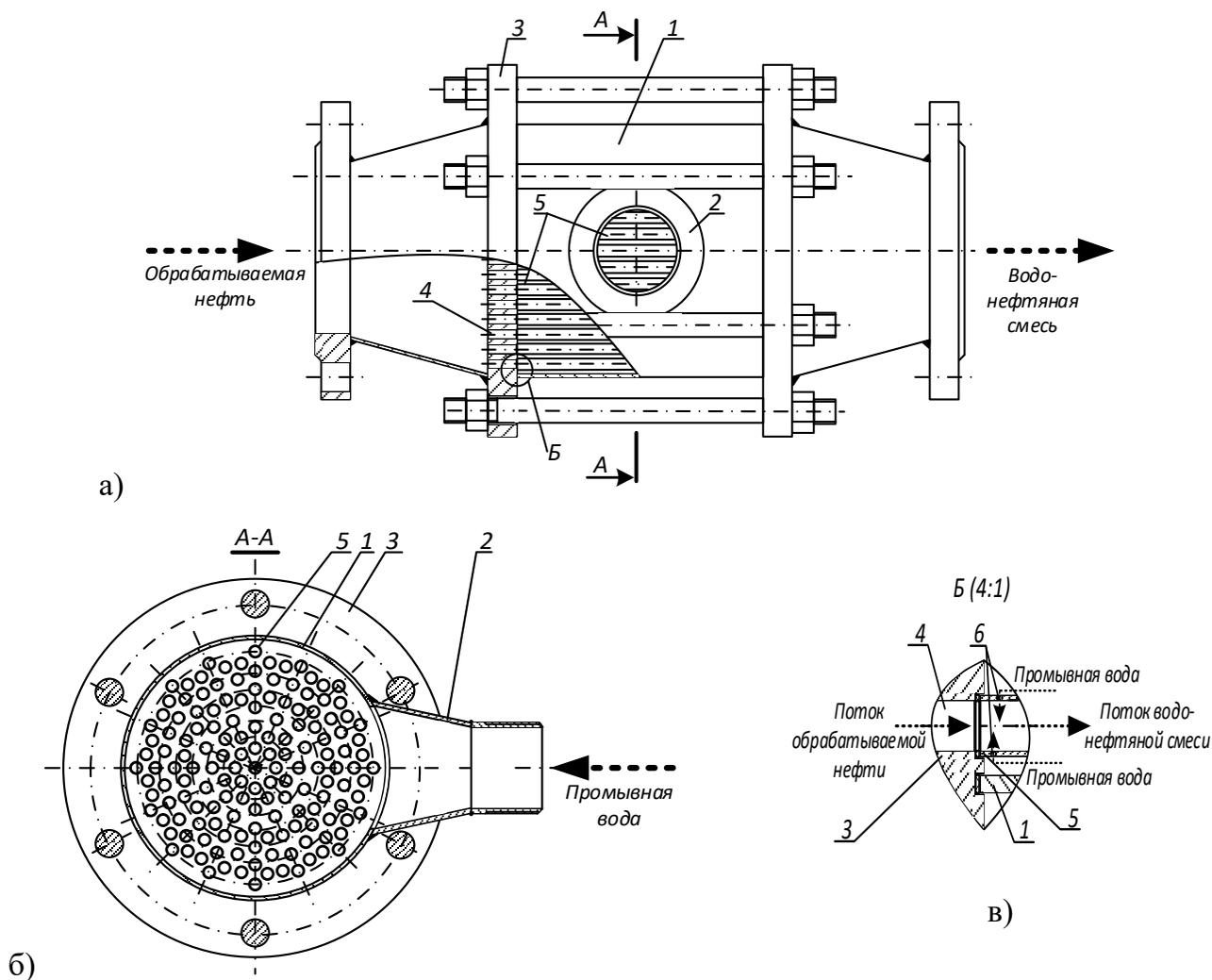


Рисунок 5 - Струеинжекционный смеситель: а–общий вид; б–разрез; в–элемент в масштабе 1 – корпус; 2 – патрубок; 3 – крышки; 4 – отверстия; 5 – трубки; 6 – вводные отверстия

Конструкция смесителя сборная, состоит из цилиндрического корпуса 1, с внешней стороны которого монтируется патрубок 2 для подвода промывной воды. Корпус герметизируется с торцов крышками 3, имеющими сквозные отверстия 4, количество и диаметр которых соответствует количеству и диаметру смесительных трубок 5, выполняющих роль струевыпрямляющих и смесительных каналов для потока обрабатываемой нефти. Между смесительными трубками 5 имеется пространство, достаточное для подвода воды, а сами смесительные трубки имеют вводные отверстия 6 для формирования струи с заданной гидродинамической структурой, определяемой в ходе численного моделирования.

Количество, диаметр, толщина стенок и длина смесительных трубок определяют из условий обеспечения максимальной степени дисперсности смеси, ламинарного режима течения потока нефти, суммарной площади поперечных сечений, равной или большей площади поперечного сечения подводящего нефтепровода, а их расположение относительно друг друга из условий равномерного охвата всей площади внутренней поверхности крышек и межтрубного пространства, достаточного для свободного прохода промывной воды.

Поток обрабатываемой нефти поступает в смеситель через входной фланец, попадает в диффузор распределительной камеры, распределяется по отдельным смесительным каналам, выполненным из смесительных трубок, с рассчитанной геометрией. Режим течения в трубках меняется на более спокойный, что создает условия послойного, невозмущенного течения, обеспечивающего малую скорость сдвига при смешении потока нефти с промывной водой, подаваемой в смеситель через патрубок, которая попадая в межтрубное пространство корпуса и, омывая наружную поверхность смесительных трубок, инжектируется через вводные отверстия в виде струй и смешивается с нефтью. Потоки из каналов попадают в конфузор сборной камеры, и водонефтяная смесь покидает смеситель.

Количество, диаметр, форма и взаимное расположение вводных отверстий в смесительных трубках рассчитывают исходя из необходимого расхода промывной воды, что, зависит, в свою очередь, от расхода обрабатываемой нефти. Давление подачи добавочного компонента устанавливается больше давления потока обрабатываемой нефти.

Рассмотрены возможные варианты исполнения вводных отверстий смесителя по форме (цилиндр или конус), по ориентации относительно оси смесительной трубки (радиально или тангенциально) и по направлению ввода струй (попутно, перекрестно и противоположно потоку нефти). На основе теоретических основ гидродинамики струйных потоков обоснована цилиндрическая форма вводных отверстий с тангенциальной ориентацией для закрутки струи с углом ввода против течения потока нефти в 135° .

Проведено компьютерное моделирование в программном комплексе «FlowVision» водонефтяного потока в смесительном элементе, показанном на рисунке 6, с различными вариантами исполнения вводных отверстий в твердотельных моделях.

Геометрия расчетной области, на основе которой разрабатывался проект, создавалась вне программного комплекса FlowVision в системе геометрического моделирования «Компас-3D».

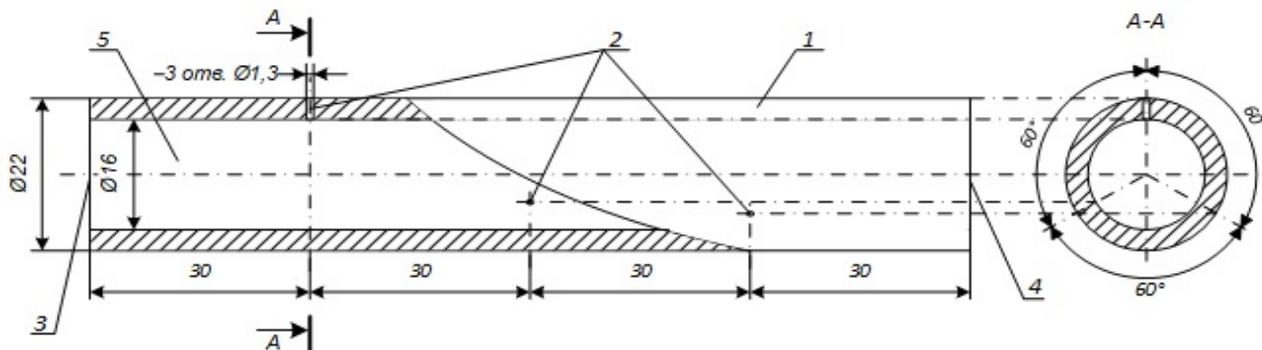


Рисунок 6 – Эскиз смесительного элемента для радиального ввода под углом 90°:

1 – смесительная трубка; 2 – вводные отверстия для воды; 3 – отверстие входа нефти; 4 – отверстие выхода смеси; 5 – смесительный канал

Последовательность действий при работе с пакетом FlowVision состояла из шагов: 1) загрузка геометрии; 2) задание параметров задачи; 3) задание параметров расчета; 4) запуск на рас чет; 5) отображение результатов.

В ходе численного эксперимента моделировалась гидродинамическая структура во фрагментах смесительных каналов для шести вариантов ввода промывной воды: радиального (R) и тангенциального (T) ввода с углами атаки 45°, 90°, 135° основных для процесса смешения параметров: турбулентной энергии, являющейся мерой интенсивности, и концентрации промывной воды в нефти - меры эффективности.

В ходе численного моделирования процесса смешения определены: вид, преимущества, способ создания струи и тип завихрителя; основные гидродинамические характеристики закрученной струи; зависимости конструктивных параметров завихрителя и гидродинамических характеристик формируемого им закрученного потока;

В результате компьютерного моделирования гидродинамики течения смешиваемых потоков определен рациональный вариант исполнения вводных отверстий T-135 струеинжекционного смесителя, характеризующийся максимальной эффективностью смешения нефти с водой (Рисунок 7), и расстояние между вводными отверстиями, соответствует длине зоны турбулентности по оси смесительной трубки (Рисунок 8).

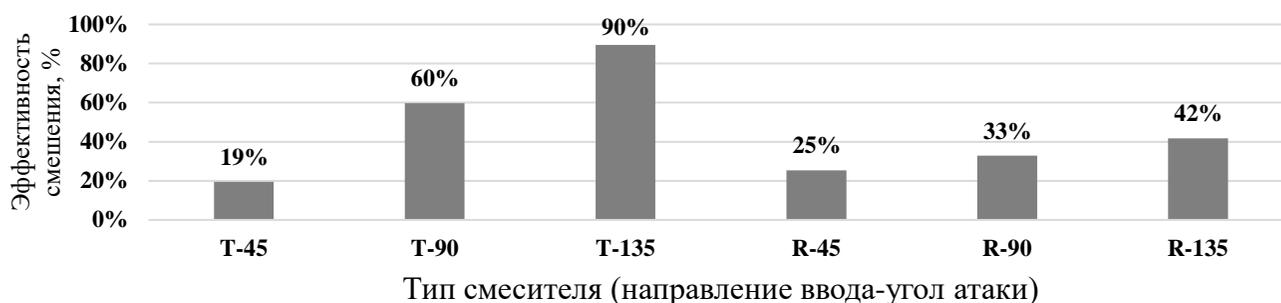


Рисунок 7 - Результаты моделирования эффективности смешения

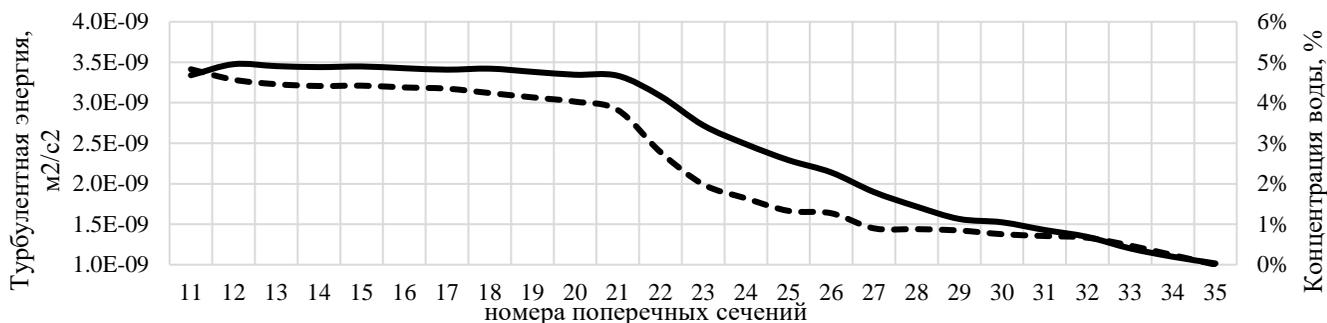


Рисунок 8 - Распределение показателей смешения по длине:

--- Турбулентная энергия, м²/с²

Длины активной зоны перемешивания, полученные с помощью численного моделирования - 25 мм и теоретического расчета - 27 мм, оказались близки, расхождение в 2 мм (7,7%) объясняется погрешностями методов расчета и интерпретации результатов.

Определена зависимость эффективности E , % от интенсивности I , м²/с² смешения (Рисунок 9), позволяющая управлять этим процессом, для смесительного элемента с вводными отверстиями тангенциального ввода с углом атаки струй воды против потока нефти (Т-135) и имеющая вид: $E = -2 \cdot 10^{17} \cdot I^2 + 10^9 \cdot I - 1,2675$.

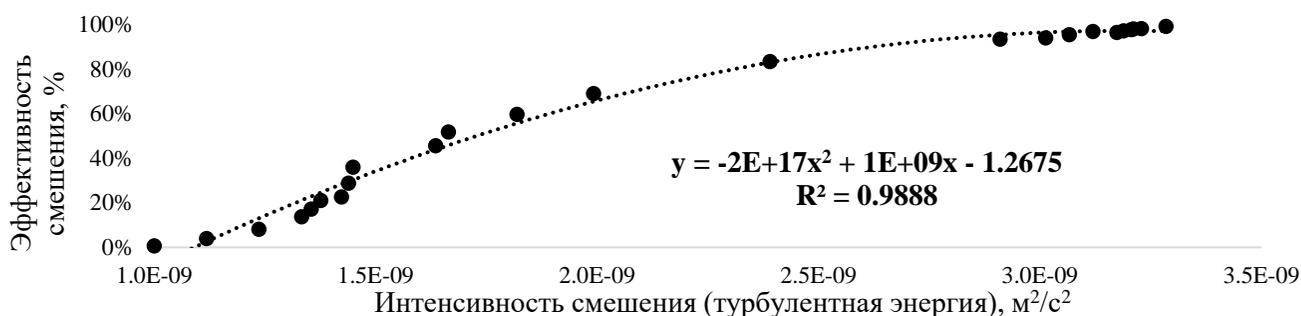


Рисунок 9 - Зависимость эффективности от интенсивности для смесителя Т-135

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям.

В результате промысловых испытаний системы дозирования деэмульгатора в схеме с дополнительным дозированием деэмульгатора на кустах скважин получен положительный эффект, выражающийся повышении и стабилизации качества нефти после блоков обессоливания и обезвоживания, что подтверждает возможность переноса точки подачи деэмульгатора после ступени сепарации высокого давления без ухудшения качества нефти.

Результаты лабораторных исследований нефтяной эмульсии с целью оценки необходимого времени для ее разделения (10 минут) подтвердили возможность использования модернизированной системы дозирования деэмульгатора и компоновки дозирочной установки, так как времени прохождения продукции скважин по промысловым нефтесборным трубопроводам (два часа) оказалось вполне достаточно для путевой внутритрубной деэмульсации. Тестирование блока обессоливания при изменении интенсивности промывки нефти водой подтвердило ограниченность регулирования обес-

соливания штатными смесителями, выявляя недостатки данного вида оборудования.

Экспериментальные промысловые исследования эффективности смешения проводились на основании утвержденной программы опытно-промышленных испытаний на действующем оборудовании УПН филиала ЛУКОЙЛ Мид-Ист Лтд. в г. Басра, с использованием сырой нефти формации Мишриф месторождения Западная Курна-2.

Основным элементом конструкции, формирующим определенную гидродинамическую структуру смешиваемых потоков, являются смесительные трубки с вводными отверстиями. При этом допускается, что процесс объединения потоков, выходящих из смесительных трубок в конфузоре сборной камеры, нисколько не ухудшает качество смеси, усредняя ее. Так как все смесительные трубки устройства имеют одинаковую конструкцию, принято, что и условия смешения в трубках одинаковы, поэтому достаточно было рассмотреть в качестве экспериментального образца одну смесительную трубку, заключенную в корпусе. На рисунке 10 представлен сборочный чертеж экспериментального образца смесителя. Каждая смесительная трубка имеет каналы, выполненные для радиального или тангенциального ввода промывной воды под углами атаки по потоку (45°), с перекрестным током (90°) и противотоком (135°) к обрабатываемому потоку.

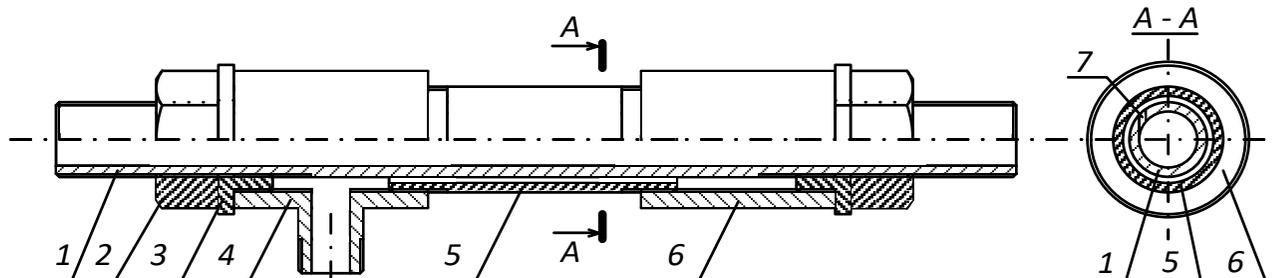


Рисунок 10 – Конструкция экспериментального образца смесителя: 1 – смесительная трубка; 2 – контргайка; 3 – переходник; 4 – тройник; 5 – сгон; 6 – муфта; 7 – отверстие

В соответствии с конструкцией изготовлены четыре экспериментальных образца смесительных трубок под разные углы атаки струй промывной воды для радиального и тангенциального ввода. Экспериментальный стенд был выполнен на базе 1-й ступени блока обессоливания технологической линии (ТЛ) №7 УПН, выведенной из работы и находящейся в резерве (Рисунок 11). Конструктивные размеры основного элемента – смесительной трубки соответствуют его экспериментальному образцу, масштабный переход здесь не требовался, была необходима только адаптация параметров работы ступени обессоливания к гидродинамическим характеристикам потоков в одной трубке.

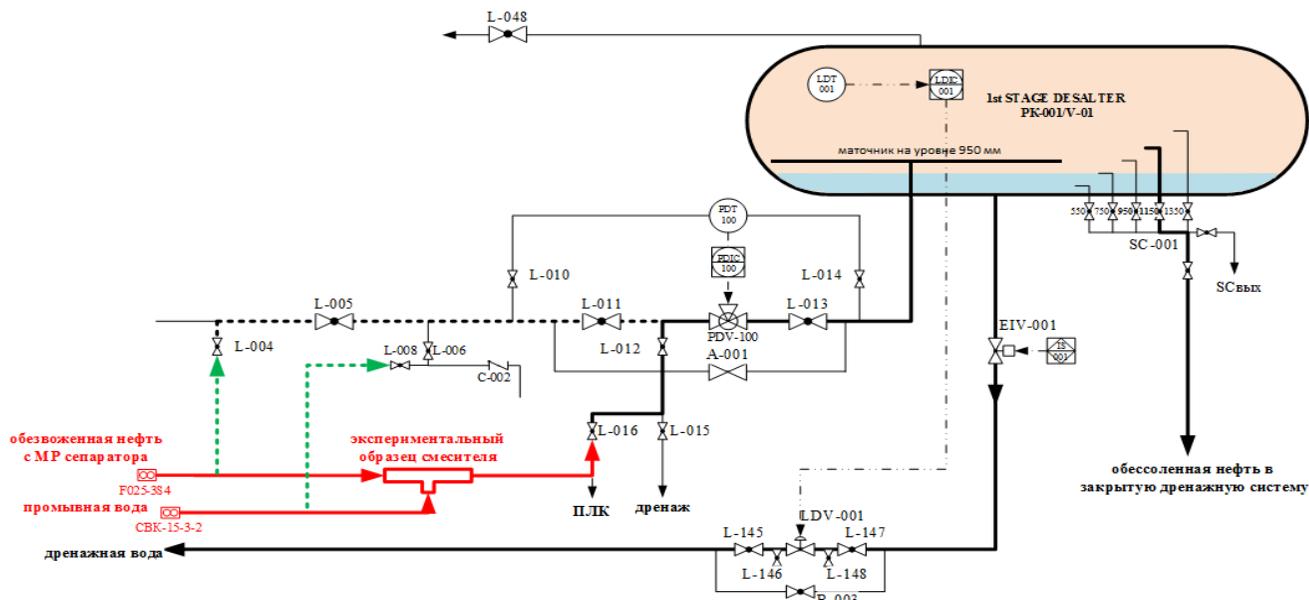


Рисунок 11 – Схема интеграции экспериментального смесителя:

----- существующие линии и оборудование; - - - - - тестовые линии и оборудование; Lotстоя – высота зоны отстоя нефти; Lводы – межфазный уровень воды

Для переноса фактических параметров УПН произведен пересчет геометрических и гидравлических характеристик рабочих параметров экспериментального стенда.

Управляемым параметром в эксперименте были конструктивные геометрические размеры вводных отверстий смесительного элемента, контролировались параметры:

- входные параметры – содержание хлористых солей и воды в нефти на входе смесителя, регистрировались и поддерживались на одном уровне за счет использования одного объема нефти с целью снижения погрешности в измерениях из-за изменения свойств исследуемой среды (сырой нефти);

- выходные параметры – регистрировалось содержание хлористых солей и воды в нефти на выходе смесителя.

В соответствии с планом проведения эксперимента были проведены этапы испытаний для штатного смесительного клапана; образцов смесительных элементов с тангенциальным и радиальным вводами воды с перекрестным, противотоком и по потоку. Полученные результаты, представленные на рисунке 12, где эффективность смешения оценивалась по степени обессоливания, проходили обработку с целью исключения заведомо ложных результатов (промахов) и их интерпретации. Достоверность результатов эксперимента, показана достаточной сходимостью и отклонениями в пределах суммарной доверительной погрешности метода.

Наиболее технологически эффективным как по сравнению со штатным (PDV-100), так и среди экспериментальных образцов, оказался смеситель с тангенциальным вводом

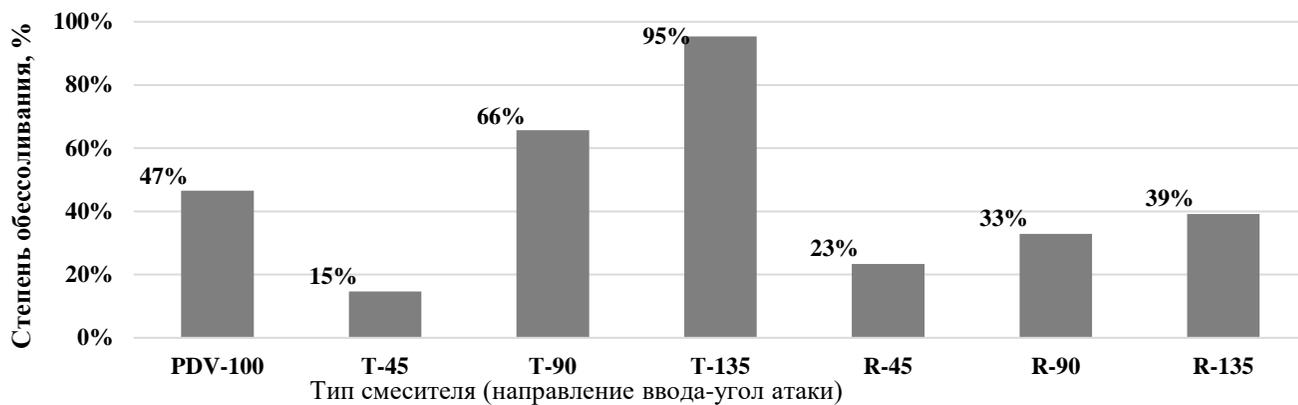


Рисунок 12 - Технологическая эффективность смесителей:

■ Степень обессоливания, %

струй в противоток течению нефти (Т-135), с максимальной степенью обессоливания 95%, что в два раза выше эффективности штатного смесителя. Применение конструкции экспериментального смесителя с тангенциальным вводом струй воды в противоток течению нефти позволяет устранить несовершенства существующего оборудования и повысить эффективность процесса обессоливания через использование принципиально нового способа промывки с помощью струйного смесителя, таким образом конструкция образца Т-135 является эффективной и рациональной.

Выявлено что тангенциальный ввод струй промывной воды технологически более эффективен для процесса обессоливания по сравнению с радиальным вводом при одинаковых углах атаки, а также то, что увеличение угла атаки приводит к повышению степени обессоливания для обоих (тангенциального и радиального) способов ввода.

При оценке количественного показателя - интенсивности сравнивалась гидравлическая мощность на смешение при использовании штатного смесителя PDV-100 и струейно-инжекционного смесителя, при этом гидравлические характеристики для всех типов смесительных элементов приняты одинаковыми, так как конструктивные параметры, определяющий перепад давления потока воды – количество и диаметр отверстий у всех образцов одинаков $n_{отв} = 3$; $D_{отв} = 1,3$ мм.

Гидравлическая мощность определялась по формуле (5), из чего следует, что применение полноразмерного образца смесителя позволит сократить гидравлическую мощность на 12,5 кВт на каждую ступень ТЛ, снизить мощность питающего насоса ТЛ на 25 кВт, а в пересчете на восемь ТЛ сократить электроэнергию на 200 кВт·ч.

По результатам эксперимента, построен экспериментальный график (Рисунок 13) и получена выражение (7) для расчета степени обессоливания нефти от угла атаки струй воды для тангенциального направления ввода, имеющая линию тренда в виде полинома второй степени с величиной достоверной аппроксимации $R^2 = 0,9987$:

$$\delta_c = -0,00005\alpha^2 + 0,0188\alpha - 0,587 \quad (7)$$

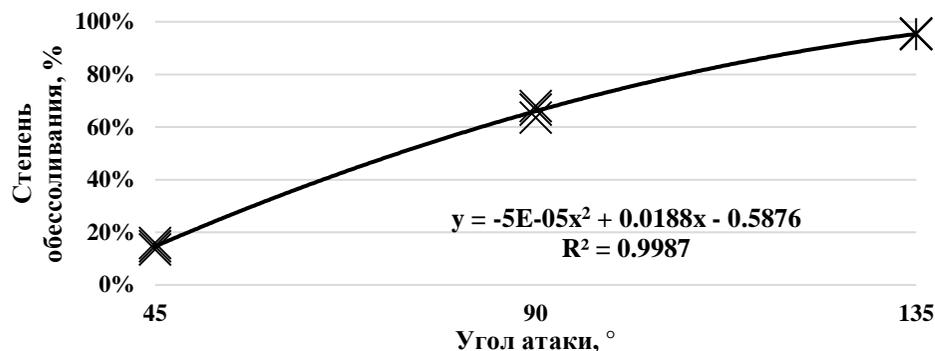


Рисунок 13 - Зависимость степени обессоливания нефти от угла атаки струй воды

Сходимость критериев качества смешения полученного с помощью численного моделирования – увеличения концентрации воды в эмульсии типа «вода в нефти» и полученного в эксперименте - степени обессоливания нефти после ее промывки пресной водой и деэмульсации показал приемлемое расхождение, составляющее 6% для Т-135.

В пятой главе описано применение результатов исследования на производственном объекте - УПН «Мишриф» филиала ЛУКОЙЛ Мид-Ист Лтд. в г. Басра, Республики Ирак.

Проведен анализ технологической схемы обессоливания и обезвоживания нефти на месторождении «Западная Курна-2» с выявлением несовершенств процесса и оборудования. Аналитическая и методическая документация по обоснованию параметров и характеристик разрабатываемого оборудования для интенсификации обессоливания и обезвоживания нефти утверждена и рекомендована к применению на действующем производстве филиала ЛУКОЙЛ Мид-Ист Лтд в г. Басра.

Расчет экономической эффективности создаваемого оборудования, включающего в себя струйный смеситель на блоке обессоливания нефти и дозировочную установку с системой регулирования расхода деэмульгатора синхронно флуктуациям потока нефти на блоке обезвоживания нефти и, показал годовой экономический эффект от сокращения производственных затрат на деэмульгатор на 120 тыс. долларов США и на электроэнергию на 180 тыс. долларов США, что увеличивает рентабельность проекта.

Основные выводы

1. В результате анализа оборудования для интенсификации обессоливания и обезвоживания нефти выявлены несовершенства которые устраняются для смесителей усреднением концентрации воды за счет ее многоструйной инъекции при многоканальном распределении потока нефти и для систем дозирования постоянной дозировкой деэмульгатора за счет синхронного изменения производительности дозирующего агрегата пропорционально изменению расхода нефти.

2. Сформированы методологические основы исследований, позволяющие обеспечить создание струеинжекционного смесителя с системой синхронизации дозирования.

3. В результате компьютерного моделирования смешиваемых потоков определен рациональный вариант исполнения вводных отверстий струйного смесителя с тангенциальным вводом струй воды с углом атаки 135° против потока нефти, характеризующийся максимальной эффективностью смешения нефти с водой и обосновано расстояние между вводными отверстиями в проекции на ось смесительной трубки, равное длине зоны турбулентности.

4. Лабораторные и опытно-промышленные испытания, показали эффективность струеинжекционного смесителя повышением степени обессоливания нефти в 2 раза, и системы синхронизации дозирования деэмульгатора интенсификацией обезвоживания нефти на 4%. Результаты, полученные в ходе численного и промыслового экспериментов смесительного устройства, коррелируют между собой и согласуются с результатами работ других исследователей.

5. Разработанная методика по обоснованию параметров позволила создать и внедрить на месторождении Западная Курна - 2 струеинжекционный смеситель с системой синхронизации дозирования деэмульгатора, обеспечивающих получение экономического эффекта от сокращения потребления электроэнергии на 180 тыс. долларов и деэмульгатора на 120 тыс. долларов.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Пути повышения эффективности термохимической деэмульсации на нефтяных промыслах // Инженер-нефтяник. – 2013. - №1. - С. 21 - 26.
2. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Управление процессом промысловой деэмульсации на основе модернизации технологического оборудования // Инженер-нефтяник. – 2013. - №2. - С. 34 - 40.
3. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Модернизация оборудования как метод управления эффективностью промысловой деэмульсации // Нефтяное хозяйство. – 2015. - № 12.- С. 138-142.
4. Быков И. Ю., Казарцев Е. В., Ланина Т. Д. Обоснование конструкции смесительного устройства для повышения эффективности обезвоживания и обессоливания // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. - №2. - С. 68 - 77.
5. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Исследования проточного струеинжекционного смесителя для обессоливания нефти // Инженер-нефтяник. – 2018. - № 1. - С. 36 - 43.
6. Быков И. Ю., Борейко Д. А., Казарцев Е. В. Результаты промысловых испытаний проточного струеинжекционного смесителя для обессоливания нефти // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2019. - №7-8. - С. 30 - 42.

7. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Реализация результатов исследования при совершенствовании оборудования для интенсификации обезвоживания и обессоливания тяжелой нефти // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2020. - №3. - С.27 - 32.

Авторские свидетельства и патенты:

8. Пат. 2538186 Российская Федерация, МПК F17D 3/12. Автоматическое устройство дозирования деэмульгатора /Сидоров Д. А., Казарцев Е. В., Коротков Ю. В., заявитель и патентообладатель ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг». – №2013111898/06. заявл. 15.03.2013, опубл. 10.01.2015, Бюл. №1. – 6 с.

9. Пат. 2643967 Российская Федерация, МПК B01F 5/04. Способ струеинжекционного смешения текучих сред и устройство для его осуществления / Быков И. Ю., Цхадая Н. Д., Казарцев Е. В., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «УГТУ». – № 2015122686 /А. заявл. 11.06.2015, опубл. 06.02.2018, Бюл. №04. – 1 с.

Статьи в научно-технических сборниках и других изданиях:

10. Казарцев Е. В. Совершенствование процесса промышленной деэмульсации // Рассохинские чтения: материалы международного семинара (8-9 февраля 2013 г., Ухта): в 2 ч. ч. 2/под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2013. – С. 159 - 166.

11. Казарцев Е. В. Совершенствование устройств для интенсификации деэмульсации в условиях повышенных требований качества подготовки нефти к транспорту // Рассохинские чтения: материалы международного семинара (5-6 февраля 2015 г., Ухта): в 2 ч. ч. 2 / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2015. – С. 30 - 37.

12. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Комплекс оборудования для интенсификации подготовки нефти на основе оптимизации гидродинамической структуры технологических потоков // Проблемы геологии, разработки и эксплуатации высоковязких нефтей и битумов: материалы международного семинара (2-3 ноября 2016 г., Ухта) / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2017. – С. 134 - 144.

13. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Перспектива совершенствования смесительных устройств для повышения эффективности обезвоживания и обессоливания нефти // Рассохинские чтения: материалы международного семинара (2-3 февраля 2017 г., Ухта): в 2 ч. ч. 2 / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2017. – С. 205 -213.

14. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Теоретические и экспериментальные исследования проточного струеинжекционного смесителя // Рассохинские чтения: материалы международного семинара (1-2 февраля 2018 г., Ухта): в 2 ч. ч. 2 / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2018. – С. 246 - 258.

15. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Программа экспериментальных исследований проточного струеинжекционного смесителя для обессоливания нефти на УПН // Рассохинские чтения: материалы международного семинара (7-8 февраля 2019 г., Ухта): в 2 ч. ч. 2/под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта: УГТУ, 2018. – С. 187 - 193.
16. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Применение усовершенствованного комплекса оборудования для обезвоживания и обессоливания тяжелой нефти // Проблемы геологии, разработки и эксплуатации месторождений и транспорта трудноизвлекаемых запасов углеводородов: материалы международного семинара (7-8 ноября 2019 г., Ухта) / под ред. Р. В. Агиней. – Ухта: УГТУ, 2020. – С. 257 - 264.
17. Быков И. Ю., Казарцев Е. В. Основы создания проточного струеинжекционного смесителя с синхронизацией дозирования деэмульгатора для обезвоживания и обессоливания нефти // Рассохинские чтения: материалы международного семинара (6-7 февраля 2020 г., Ухта): в 2 ч. ч. 2 / под ред. Р. В. Агиней. – Ухта: УГТУ, 2020. – С. 266 -277.