

На правах рукописи



ЯХИН БУЛАТ АХМЕТОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ НА
ПРОМЫСЛАХ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ
СТРУЙНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЕЙ С ВИХРЕВЫМИ
УСТРОЙСТВАМИ**

Специальность 2.8.4.

«Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Уфа 2022

Работа выполнена на кафедре «Разработка и эксплуатация нефтяных и газонефтяных месторождений» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Сидоров Георгий Маркелович

Официальные
оппоненты:

Хасанов Марс Магनावиевич
доктор технических наук, профессор
ПАО «Газпром нефть» / дирекция по
технологиям, директор

Мухамадеев Ришат Уралович
кандидат технических наук
ООО «Лукойл-Нижневожскнефть» /
отдел подготовки и реализации нефти и газа,
начальник отдела

Ведущая организация: Общество с ограниченной ответственностью
«Роснефть - Башкирский научно-
исследовательский и проектный институт
нефти» (г. Уфа)

Защита диссертации состоится «2» марта 2023 года в 16:00 на заседании диссертационного совета 24.2.428.03, созданного при ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» по адресу: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» и на сайте www.rusoil.net.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ш.Х. Султанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Подготовка нефти на промыслах использованием современных устройств обессоливания нефти связано с характерной особенностью современного этапа развития нефтяной и газовой промышленности России, в связи с переходом многих разрабатываемых крупных нефтяных месторождений в позднюю стадию разработки – в стадию падающей добычи.

В последние годы добыча нефти на старых месторождениях становится все труднее, поздняя стадия разработки характеризуется высокой выработанностью залежей нефти, максимальным снижением объема добычи и значительным обводнением продукции скважин, вследствие закачки в пласт воды для поддержания внутрипластового давления. Обводненность добываемой в нефти достигает более 80 % и высокое содержание хлористых солей в добываемой нефти. Кроме того, с каждым годом увеличивается доля тяжелых нефтей.

Водонефтяные эмульсии, в которой содержатся такие компоненты, как соли тяжелых металлов, природные эмульгаторы, диспергированные механические примеси (частицы глины, песка, известняка, металлов) являются весьма стойкими системами, и, как правило, под действием одной только силы тяжести не расслаиваются. Для их разрушения и разделения требуются определенные условия, способствующие столкновению и слиянию капелек воды, и выделению последних из нефтяной среды.

Современный технологический процесс обессоливания предполагает наличие специальных смесительных устройств для смешения нефти с промывной водой, расположенных перед ЭДГ. Одним из способов увеличения глубины обессоливания нефти является интенсификация ее промывки с водой. Эффективность и надежность работы блоков обессоливания нефти на установках ее промысловой подготовки в значительной мере определяется конструкцией смесителя нефти с пресной водой. Это возможно в специальных аппаратах, как струйные гидравлические смесители. Высокая степень диспергирования воды в

нефти в струйных смесителях достигается турбулизацией смешиваемых жидкостей за счет особой конструкции аппарата.

Одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность процесса обессоливания нефти, является процесс смешивания капель промывочной воды и нефтеэмульсий, который определяется способом закручивания потока нефти для максимально эффективной работы промывочной воды.

Разработка современных и усовершенствование струйных аппаратов подачи пресной промывочной воды, работающего с применением завихрителя рабочей среды (нефти), которая направлена на повышение глубины обессоливания нефти и уменьшение расхода промывочной воды, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить качество подготавливаемой нефти в соответствии с требованиями, предъявляемыми к дальнейшей её транспортировке и переработке.

В связи с этим особенно актуальными являются разработка и внедрение современных инновационных усовершенствованных струйных гидравлических смесителей с вихревыми устройствами.

Степень разработанности темы исследования

Проблеме совершенствования процессов подготовки нефти и аппаратурного оформления смесителей для обессоливания нефти, изучению структуры и гидродинамической устойчивости закрученных потоков, разработке инженерных методик расчета проточных смесителей с использованием средств вычислительной гидродинамики и модернизация применяемых смесителей посвящены работы многих российских и зарубежных учёных: Галиакбаров В.Ф., Хамидуллин Р.Ф., Шуров В.И., Булатов А.И., Голубев В.Ф., Лаптев А.Б., Позднышев Г.Н., Проселков Ю.М., Репин Н.Н., Шаманов С.А., Дунюшкин И.И., Садриев А.Р., Тронов В.П., Мищенко И.Т., Ахметов В.К., Вурзель А.Ф., Сахабутдинов Р.З., Губайдулин Ф.В., Хуторянский Ф.М., Сомов В.Е., Каминский Э.Ф., Ахмедов Р.Б., Балагула Т.Б., Рашидов Ф.К., Сакаев А.Ю., Ляховский Д.Н., Maier P, Theron F., Le Sauze N, GasparI., Tekic P., Koris A., Adel G.

Цель работы - совершенствования технологии подготовки нефти с применением усовершенствованных струйных гидравлических смесителей с вихревыми устройствами.

Основные задачи исследований

1. Анализ существующего состояния технологий и техники промышленной подготовки нефти на основе обзора литературных данных и собственных исследований процессов обезвоживания и обессоливания нефти на промыслах.

2. Моделирование процессов смешения нефтяных эмульсий с пресной водой в струйных аппаратах. Выявление зависимости изменения степени турбулизации потока и диспергации воды от закручивания смешивающихся потоков для интенсификации процесса отделения солей и воды из нефтеэмульсии в процессах обезвоживания и обессоливания нефти.

3. Определение способов повышения эффективности отделения минерализованной воды из нефтеэмульсии путем моделирования процесса смешения методом CFD-анализа смесителей различных конструкций смешения нефтеэмульсии с пресной водой.

4. Применение полученных результатов моделирования структуры движения потоков в разработке инновационного струйного гидравлического смесителя с вихревым устройством.

5. Проведение широкомасштабных опытно-промышленных испытаний усовершенствованных струйных гидравлических смесителей с вихревыми устройствами на промысловых объектах подготовки нефти.

Методология и методы исследования

Задачи исследования решались с применением теории моделирования, методов математической статистики. Моделирование процесса смешения выполнено методом CFD-анализа (Computational fluid dynamics–вычислительная гидродинамика) в программном комплексе ANSYS CFX. Двухфазное течение описывалось Эйлер-Эйлеровым методом (Eulerian- Eulerian method). Для исследований использовались статистические данные и информация, полученная с

помощью стандартных средств и методов измерений в условиях опытно-промышленных испытаний и промышленной эксплуатации смесителя.

Научная новизна

1. Установлена зависимость степени диспергирования воды от изменения структуры потока рабочей среды (нефтеэмульсии), за счёт увеличения степени турбулизации потока и уровня генерации турбулентной энергии и как следствие, высокий уровень гомогенизации смеси, путём оснащения смесителей завихрителем потока нефти в процессе смешивания нефтеэмульсии в промывочной водой в технологии глубокого обезвоживания и обессоливания нефти.

2. Выявлены оптимальные геометрические размеры тангенциальных отверстий закручивающего устройства (завихрителя нефти) в струйных гидравлических смесителях, которые влияют на степень турбулизации потока нефти и интенсивность смешения нефтеэмульсии с промывочной водой. Установлено, что оптимальные соотношения длины к ширине отверстия закручивающего устройства, находятся в диапазоне от 7 до 10.

3. На основе моделирования закручивающего устройства нефти разработаны усовершенствованные струйные гидравлические смесители, позволяющие улучшить глубину обессоливания нефти за счёт интенсификации процесса отделения воды из нефтеэмульсии.

Положения, выносимые на защиту

1. Зависимость степени турбулизации потока и интенсивность смешения нефтеэмульсии с промывочной водой от закручивающего устройства (завихрителя нефти) в струйных гидравлических смесителях.

2. Выявленные оптимальные геометрические размеры соотношения длины и ширины тангенциальных отверстий закручивающего устройства нефти в струйных гидравлических смесителях с вихревыми устройствами.

2. Влияние размеров тангенциальных отверстий закручивающего устройства (завихрителя нефти) в струйных гидравлических смесителях на изменение кинетической энергии турбулизации и на степень диспергации воды.

3. Новые конструктивные решения в струйных гидравлических смесителях, обеспечивающие интенсификацию вихревого турбулентного потока и влияющие на процесс отделения воды из нефтеэмульсии.

4. Результаты практического совершенствования технологии промышленной подготовки нефти с использованием усовершенствованных струйных гидравлических смесителей с вихревыми устройствами.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют формуле специальности: 2.8.4. «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» – являющаяся областью науки и техники, которая занимается изучением, мониторингом, проектированием и управлением природно-техногенных систем в процессе извлечения углеводородов из недр земли (нефти и природного газа), а так же других компонентов на базе рационального недропользования: это- ресурсосберегающие, экологически безопасные и рентабельные технологии освоения недр, процессы подготовки скважинной продукции и геолого-технические системы длительного и безаварийного функционирования нефти-газодобывающих предприятий.

Область исследования являются технологии и технические средства подготовки скважинной продукции, диагностика промышленного оборудования и сооружений, которые обеспечивают промышленную подготовку нефти к дальнейшей её транспортировке, с применением научных разработок, лежащих в основе ресурсосбережения и использования современных комплексных методов подготовки нефти к дальнейшей переработке.

Теоретическая и практическая значимость работы.

1. Выявлена возможность максимального эффективного смешения потоков путём задания геометрических размеров прорезей закручивающего устройства (завихрителя нефти) струйного гидравлического смесителя при использовании средств вычислительной гидродинамики в среде Ansys Fluent; также возможность расчёта оптимальных конструктивных размеров при проектировании струйного гидравлического смесителя в целом.

2. Установлено влияние размеров тангенциальных отверстий закручивающего устройства (завихрителя нефти) в струйных гидравлических смесителях на изменение кинетической энергии турбулизации и зависимость степени диспергации воды влияющие на процесс отделения воды от нефтеэмульсии.

3. Разработаны усовершенствованные конструкции струйных гидравлических смесителей, призванные обеспечить эффективность операций глубокого обезвоживания, обессоливания и существенную экономию ресурсов на промышленной подготовке нефти.

4. Результаты внедрения более 100 усовершенствованных струйных смесителей с вихревым устройством в период с 1999 до 2021 год и масштабные опытно-промышленные испытания на установках подготовки нефти 12 крупных предприятий топливно-энергетического комплекса России показали высокую эффективность работы усовершенствованных струйных смесителей с вихревым устройством в сравнении с известными российскими и зарубежными аналогами. Степень обессоливания доведено до 95 % в зависимости от состава сырья и достигнут колоссальный экономический эффект за счёт сокращения ресурсов на подготовку одной тонны нефти, прежде всего расхода пресной воды до 40 % от существующей нормы расхода и снижения энергетических затрат.

Степень достоверности и апробация результатов работы

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на научных конференциях и семинарах: 68-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, г. Уфа, 2017; Нефтегазопереработка– 2017, Международная научно-практическая конференция, г. Уфа, ГУП ИНХП РБ, 2017; на 7 семинаре «Оптимизация систем сбора, подготовки и транспорта нефти, Утилизация попутного нефтяного газа, 2018» 23-25 октября 2018 г., г. Уфа; на 8 ежегодном Научно-техническом совете блока логистики, переработки и сбыта ПАО «Газпром нефть», 12.12.2018, Санкт-Петербург.

Основные положения и сформулированные выводы диссертационной работы обоснованы исследованиями с применением теории моделирования. Моделирование процесса смешения выполнено современным методом CFD-анализа (Computational fluid dynamics– вычислительная гидродинамика) в программном комплексе ANSYS CFX. Новизна разработанных конструкций струйных гидравлических смесителей подтверждена полученными патентами на изобретение и полезную модель. Эффективность и преимущество разработанных конструкций смесителей перед известными отечественными и зарубежными аналогами подтверждена внедрением на практике и широкомасштабными опытно-промышленными испытаниями.

Публикации

Автором опубликовано 19 научных трудов, том числе по теме диссертации 12 работ: 3 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 4 патента на изобретение и полезную модель, 5 статей и тезисов в других журналах и материалах конференций.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 182 наименований и приложений. Работа изложена на 165 страницах стандартного текста, содержит 16 таблиц, 58 рисунков.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности «Решение актуальных задач и исследование процессов в нефтехимических производствах, сопровождающихся течениями многофазных сред» FEUR - 2020 – 0004.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследований, представлены ее научная новизна, практическая значимость и апробация диссертационной работы.

В первой главе приведен анализ отечественных и зарубежных литературных источников по теме диссертации. Приведены основные параметры, влияющие на работу процессов обезвоживания и обессоливания нефти. Приведен анализ конструкций смесителей, показаны недостатки применяемых смесителей. Рассмотрены основные направления совершенствования технологии подготовки нефти на промыслах использованием струйных гидравлических смесителей особой конструкции, в которых смешение осуществляется встречным контактированием воды и нефти.

Во второй главе рассмотрены объекты исследования. Объектами исследования являлись статические смесители различных конструкций и твердотельные трехмерные модели закручивающего устройства нефти струйного гидравлического смесителя. Приведена экспериментальная часть – исследование глобул лабораторным способом с помощью отбора проб и фотографирования капель эмульсии нефти (Рисунок 1). Моделирование процесса смешения выполнено методом CFD-анализа (Computational Fluid Dynamics – вычислительная гидродинамика) в программном комплексе ANSYS CFX. Двухфазное течение описывалось Эйлер-Эйлеровым методом (Eulerian-Eulerian method). Приводятся основные уравнения используемой математической модели, результаты моделирования различных конструкций струйных гидравлических смесителей методом вычислительной гидродинамики для определения зависимости степени диспергирования воды от изменения структуры потока нефти и уровня генерации турбулентной энергии в них. Задачи исследования решались с применением теории моделирования, методов математической статистики. Для исследований использовались статистические данные и информация, полученная с помощью стандартных средств и методов измерений в условиях опытно-промышленных исследований и промышленной эксплуатации смесителя.

Для математического описания процесса обессоливания примем, что глобулы пресной и минерализованной воды – шарообразной формы, дисперсионная среда (нефть). Рассматривается движение глобул воды на

расстоянии нескольких микрометров, безразмерные числа Re и $La \gg 1$. Частицу пресной воды назовем частицей (0), а частицу минерализованной воды – (1).

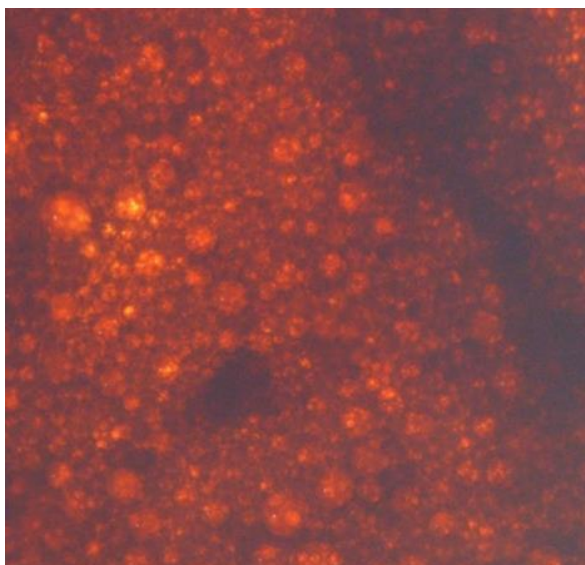


Рисунок 1 – После смесителя СГС при подаче 10 % воды

Среднее число N частиц (0) и (1), содержащихся в единице объема нефти, сравнительно мало, что позволяет рассмотреть только парное взаимодействие частиц. При движении частиц в потоке дисперсионной среды процессы зацепления могут происходить в результате диффузионного механизма встречи частиц либо инерционного. Оценки, приведенные выше, исключают проявление диффузионного механизма зацепления частиц. В силу существенного отличия по массе и размерам частиц (1) и (0) представляется возможным проявление инерционного механизма. Уравнение движения частицы (1) в идеальной жидкости при обтекании частицы (0) имеет вид:

$$m \frac{d\vec{v}_p}{dt} = \vec{f}_A + \vec{f}_C + \vec{f}_M, \quad (1)$$

где \vec{f}_A – силы Архимеда, \vec{f}_C – Стокса и \vec{f}_M – присоединенных масс, \vec{V}_p – скорость частицы (1).

Выражение для скорости частиц представляет собой известное решение задачи о потенциальном обтекании сферы потоком идеальной жидкости:

$$\vec{V} = \vec{V}_0 \varphi, \quad \varphi = -V_0 \cos \theta \left(r + \frac{R^3}{2r^2} \right), \quad (2)$$

где V_0 – скорость движения дисперсионной среды (нефти) в зоне взаимодействия потоков, r – радиус сферы, R – радиус произвольной точки, находящейся под углом θ от центра сферы.

В процессе численного моделирования используются способы, базирующиеся на решении уравнений Навье-Стокса. Метод моделирования крупных вихрей (LES) основан на аккуратном расчете переноса импульса и энергии только крупными структурами. В методе LES турбулентность маленького масштаба фильтруется из уравнений Навье-Стокса подсеточными моделями. Одной из наиболее распространенных подсеточных моделей является модель Смагоринского. Согласно этой модели подсеточная величина тензора сдвиговых напряжений равна:

$$\tau_{ij} = \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right), \quad (3)$$

где ν_t – турбулентная вязкость, u – составляющая скорости в координатных направлениях x, y, z .

Турбулентная вязкость выражается как:

$$\nu_t = (C_s \Delta)^2 |\bar{S}|, \quad (4)$$

где C_s – константа Смагоринского ($=0,1$), Δ – величина фильтра ($=0,06 \cdot 10^{-3}$) и S – величина локального напряжения, которая в цилиндрических координатах выражается как:

$$|\bar{S}| = \sqrt{2 \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_\theta}{r \partial \theta} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_\theta}{r \partial \theta} + \frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_\theta}{r \partial \theta} + \frac{\partial u_r}{\partial r} \right)^2} \quad (5)$$

Для решения большинства прикладных задач используются модели турбулентности, основанные на решении осредненных уравнений Рейнольдса (RANS). В отличие от вышеописанного метода в RANS моделируются все вихри.

В данном методе используется процедура осреднения по Рейнольдсу:

$$\bar{a}(t) = \frac{1}{2T} \int_{t-T}^{t+T} a(\tau) d\tau, \quad (6)$$

где \bar{a} – компонент скорости, T – период осреднения.

Применение осреднения к уравнениям Навье-Стокса приводит к получению незамкнутых уравнений Рейнольдса, замыкание которых (определение турбулентных напряжений $\tau_{ij}^T = \rho \overline{u'_i u'_j}$) производится с помощью полуэмпирических моделей турбулентности.

Описание двухфазных течений производится с помощью решения дифференциальных уравнений Навье-Стокса по методу Эйлер-Эйлера. Уравнение неразрывности фазы i (газа и жидкости) записывается так:

$$\frac{\partial(\varepsilon_i \rho_i)}{\partial t} + \bar{\nabla}(\varepsilon_i \rho_i \bar{u}_i) = 0, \quad (7)$$

где ε – объемная доля каждой фазы, ρ – плотность фазы.

В данном исследовании для моделирования процесса смешения нефти и воды в смесителях использовалась k - ε модель турбулентности.

Моделирование статических смесителей различных конструкций методами вычислительной гидродинамики показало прямую зависимость степени диспергации воды от структуры потока нефти и уровня генерации турбулентной энергии в них. Для достижения высокой степени турбулентной энергии необходимо оптимальные геометрические параметры закручивающего устройства нефти.

Рассмотрена эффективность различных конструкций смесителей для гомогенизации системы нефть-вода в процессе обессоливания нефти.

Например, струйные гидродинамические смесители типа СНВ-200 (Рисунок 2а), где встречное контактирование воды и нефти увеличивают интенсивность их перемешивания. Встречное контактирование потоков нефти и воды так же реализовано в струйных гидродинамических смесителях (Рисунок 2, б). В работе проводится сравнительный анализ различных конструкций смесителей, с целью определения оптимальных параметров для разработки новой конструкции смесителя. В качестве объектов исследований были выбраны проточные части смесителей типа СНВ-200 и смесителя с закручивающим устройством.

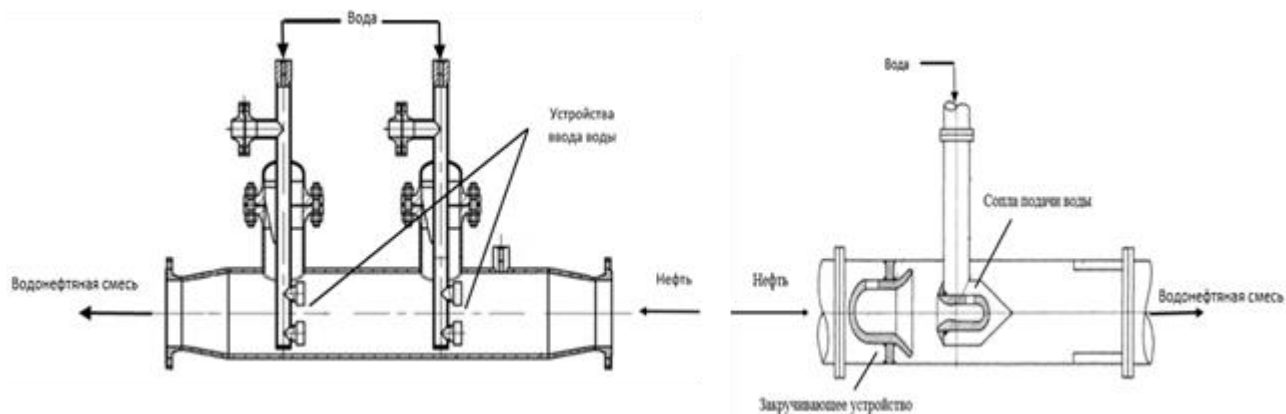


Рисунок 2 – а) статический смеситель типа СНВ – 200, б) струйный гидродинамический смеситель

При моделировании статического смесителя типа СНВ-200 были изучены поля распределения объемной доли нефти в водонефтяном потоке (Рисунок 3 а), генерации турбулентной энергии (Рисунок 3 б).

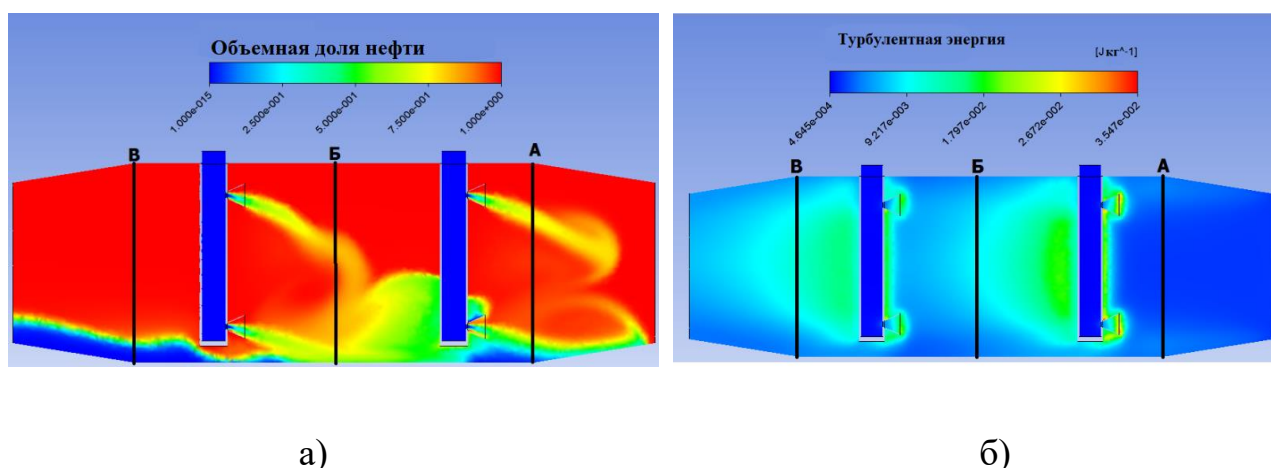


Рисунок 3 – а) распределение объемной доли нефти в водонефтяном потоке в статическом смесителе типа СНВ-200, б) генерация турбулентной энергии в центральном сечении смесителя

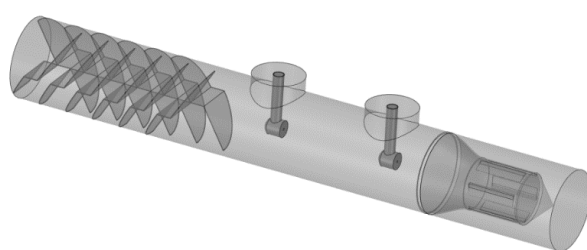
Несмотря на довольно хорошую степень диспергирования воды в потоке нефти за счет использования форсунок, вследствие низкой турбулизации потока промывочная вода плохо перемешивается с нефтью и скапливается в нижней части смесителя. Средний уровень генерации турбулентной энергии в центральном сечении устройства составляет 0,0066 Дж/кг.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что для интенсивного перемешивания необходима высокая степень турбулизации потока нефти, которая может быть достигнута путем изменения структуры потока различными перемешивающими устройствами.

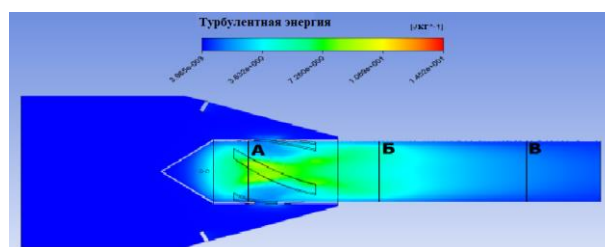
Для повышения эффективности работы струйного гидравлического смесителя разработано закручивающее устройство нефти со спиралевидными прорезями, позволяющее как ускорять скорость потока нефти, так и создавать в нем вихревые структуры.

Результаты моделирования работы смесителя с усовершенствованной конструкцией закручивающего устройства нефти показали высокую степень диспергации воды в нефти. В усовершенствованной конструкции смесителя диспергация воды происходит как путем встречного контакта потока нефти и струй воды, так и дальнейшим перемешиванием в развитой вихревой структуры, возникающей в закручивающем устройстве. Данная вихревая структура состоит из пяти связанных вихрей – четырех периферийных и одного центрального, причем периферийные вихри движутся по окружности. Результаты моделирования показали высокую степень диспергации воды в нефти.

Трехмерная твердотельная модель смесителя с закручивающим устройством представлена на Рисунке 4 а. Генерация турбулентной энергии в сечении смесителя составила $0,96 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^2$ (Рисунок 4 б). Твердотельная модель закручивающего устройства с прорезями представлена на Рисунке 5.



а)



б)

Рисунок 4 – а) твердотельная модель смесителя, б) генерация турбулентной энергии в сечении смесителя

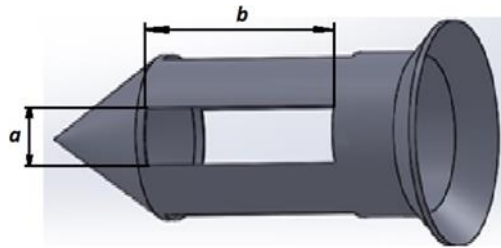


Рисунок 5 – Твердотельная модель закручивающего устройства

В гидродинамических расчетах была использована полуэмпирическая $k-\varepsilon$ модель турбулентности, где k учитывает кинетическую энергию турбулентности и ε скорость диссипации турбулентности. Высокая степень диспергирования воды в нефти при обессоливании достигается за счет турбулизации потока. Поэтому моделирование процесса турбулизации проводилось при скорости потока жидкости, поступающей в смеситель, равной 2,5 м/с. Анализировались показатели турбулизации потока и перепада давления в смесителе в зависимости от соотношения сторон a/b в закручивающемся устройстве.

Результаты симуляции работы статического смесителя приведены на Рисунке 6. На Рисунке отображено сравнение скорости потока при разных соотношениях сторон a и b в закручивающемся устройстве.

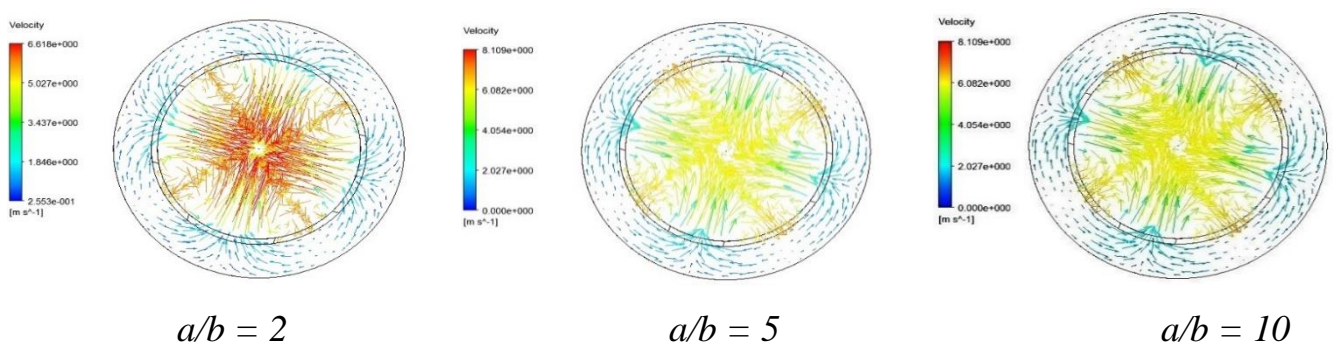


Рисунок 6 – Распределение скорости потока в закручивающемся устройстве при разных соотношениях a/b

При увеличении соотношении сторон прорези закручивающего устройства нефти a/b с 2 до 10 распределение скорости потока в смесителе повышается, что положительно влияет на интенсивность перемешивания нефти и пресной воды.

Анализ экспериментальных данных, показывает, что с увеличением соотношения сторон a/b прорези закручивающего устройства нефти с 2 до 5 кинетическая энергия турбулизации увеличивается с 0,1636 до 0,2577 Дж/кг (на 57,5 %), при увеличении с 2 до 10 – до 0,4344 Дж/ч, т. е. в 2,65 раза.

Это оказывает положительное влияние на процесс обессоливания нефти, но при соотношении сторон прорези a/b равным 10, повышается и перепад давления в закручивающем устройстве до 19500 Па, выше которого не рекомендуется для обеспечения условия сохранения допустимого перепада давления в системе подготовки нефти от сырьевого насоса до концевых сепарационных устройств.

Таким образом, итоги данных моделирования показывают, что использование современных методов вычислительной гидродинамики для проведение сравнительного анализа влияния соотношения сторон прорезей закручивающего устройства в смесителе на турбулизацию потока позволяет моделировать процессы смешения нефти и воды с высокой точностью, значительно сокращает время и материальные ресурсы на разработку высокоэффективных смесителей для обессоливания нефти.

При конструировании струйного гидравлического смесителя соотношение размеров прорезей закручивающего устройства нефти необходимо выбирать между показателями наибольшей кинетической энергии турбулизации и допустимым перепадом давления в технологической цепочке с учетом конкретных условий работы установки подготовки нефти. Расчетные исследования показывают, что оптимальное соотношение длины к ширине прорези закручивающего устройства находится в интервале 7-10.

В третьей главе приведены конструкции инновационных смесителей СГС. Описаны их внутренние элементы, рассмотрены принципы работы.

Разработан струйный смеситель со спиралевидными прорезями турбулизатора потока нефти для смешивания потоков жидкости. Смеситель позволяет повысить интенсивность диспергирования взаимодействующих фаз и равномерность их распределения для получения гомогенной структуры смеси без дополнительных энергозатрат.

Конструкция и принцип работы разработанного струйного смесителя поясняется на примере перемешивания нефти с водой (Рисунок 7).

Струйный смеситель состоит из цилиндрического корпуса – 1, в котором последовательно по направлению движения потока установлены соосно вихревая камера – 2 смешиваемого компонента – нефти, вихревая камера – 3 рабочего агента – воды, и успокоительная камера – 4 в виде радиальных колец. Вихревая камера – 2 нефти представляет собой параболоид вращения, снабженный тангенциальными спиралевидными каналами – 5. Вихревая камера воды – 3 с тангенциальными каналами – 6 выполнена в виде усеченного эллипсоида вращения, т.е. более вытянутой формы, чем параболоидная вихревая камера – 2 нефти. Тангенциальные каналы – 5 и – 6 вихревых камер – 2 и – 3 имеют одинаковое направление закрутки потока. Вихревая камера – 2 нефти снабжена конусообразной перегородкой – 7, вершина которой направлена навстречу потоку нефти. Входной патрубок – 8 нефти и выходной патрубок – 9 смеси расположены на центральной оси корпуса – 1 смесителя, а входной патрубок – 10 воды перпендикулярно ей. Внутри вихревая камера – 2 нефти снабжена направляющими поток перегородками – 11.

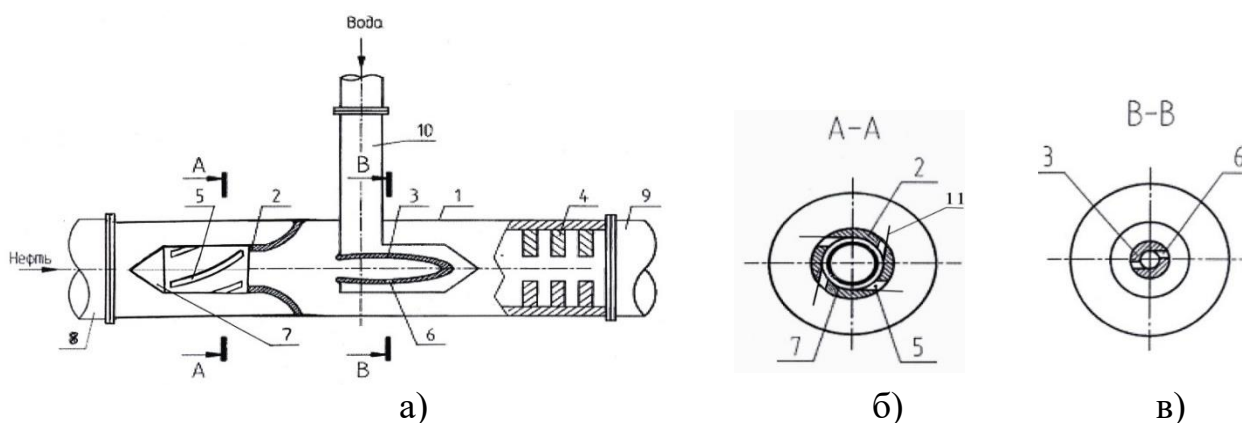


Рисунок 7 – Струйный смеситель: а) – общий вид струйного смесителя, б) – расположение тангенциальных спиралевидных каналов в вихревой камере, (сечение А-А), в) – расположение тангенциальных каналов (сечение В-В); 1 – корпус СГС; 2 – завихритель нефти; 3 – завихритель воды; 4 – коалесцирующий блок; 5 – спиральные отверстия; 6 – тангенциальное отверстие; 7 – конус; 8, 9 – трубопровод; 10 – трубопровод подачи воды

Работа струйного смесителя осуществляется следующим образом. Смешиваемый компонент - поток нефти, подается в корпус – 1 смесителя через патрубок – 8 и за счет конусообразной перегородки – 7, вершина которой направлена навстречу потоку, направляется к периферии корпуса – 1. Нефть, проходя по тангенциальным спиралевидным каналам – 5, закручивается, образуя периферийные и центральный вихри в вихревой камере – 2. Рабочий агент – поток воды, подаваемый в корпус – 1 смесителя через патрубок – 10, проходя по тангенциальным каналам – 6 в вихревую камеру – 3, закручивается в том же направлении, что и поток нефти. В эллипсоидной вихревой камере – 3 воды, имеющей меньший диаметр и вытянутую форму, поток воды закручивается сильнее, способствуя созданию акустического волнового поля. Активизированные потоки из вихревых камер – 2 и – 3 устремляются навстречу друг другу. При соударении закрученных в одну сторону и направленных друг к другу струй происходит дополнительная усиленная раскрутка двух потоков, обеспечивающая интенсификацию процесса с равномерным распределением воды в нефти и гомогенным смесеобразованием. Затем жидкость устремляется к выходу из смесителя, где, ударяясь о радиальные кольца успокоителя – 4 до смешивается при стабилизации потока и выводится через выходной патрубок – 8.

Разработаны смесители и других конструкций, например, смеситель, приведённый на Рисунке 8.

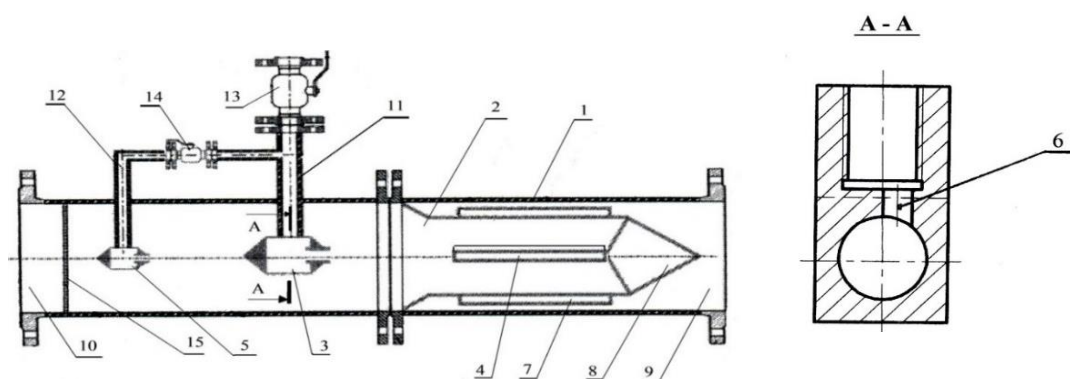


Рисунок 8 – Смеситель с двумя диспергаторами воды: 1 – корпус СГС, 2 – завихритель нефти, 3, 5 – завихрители воды, 4 – тангенциальное отверстие, 7 – лопатка, 8 – конус, 9, 10 – фланцы, 11,12 – трубопровод подачи воды; 13, 14 – шаровые краны

В четвёртой главе рассмотрен технологический аудит установок подготовки нефти и результаты практического использования смесителя СГС. Приведены графики и таблицы сравнения результатов внедрения смесителей СГС. На графиках (Рисунки 9, 10) представлены результаты внедрения смесителей СГС на УППН «Аксеновская» и УППН «Радаевская».

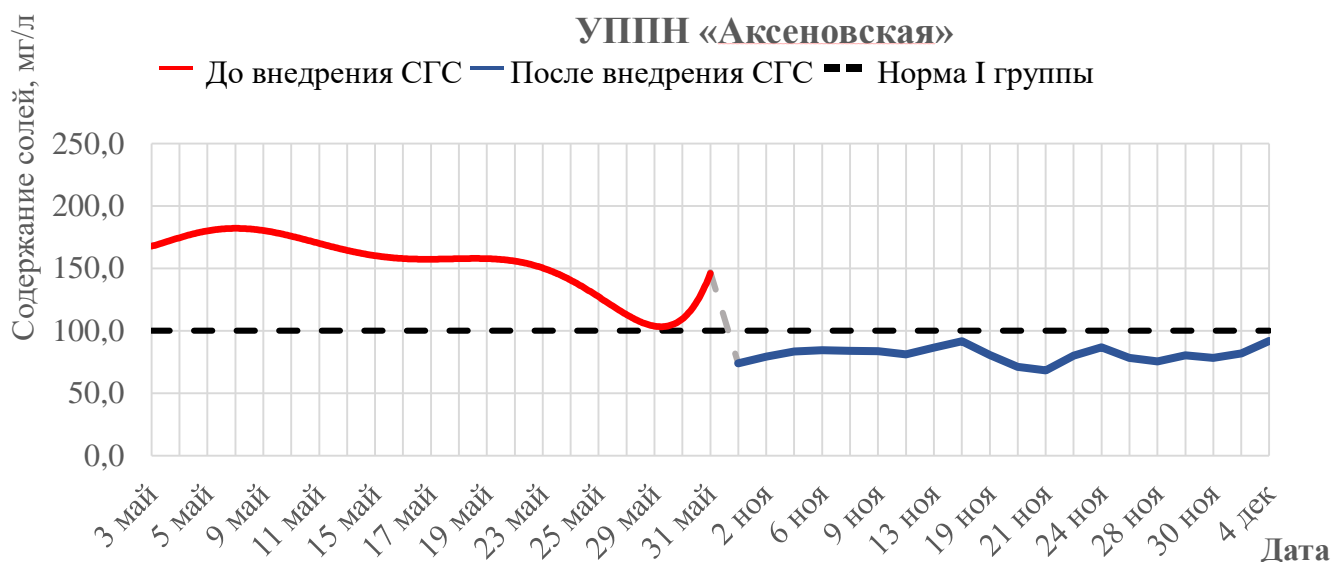


Рисунок 9 – График изменения содержания хлористых солей на УППН «Аксеновская»

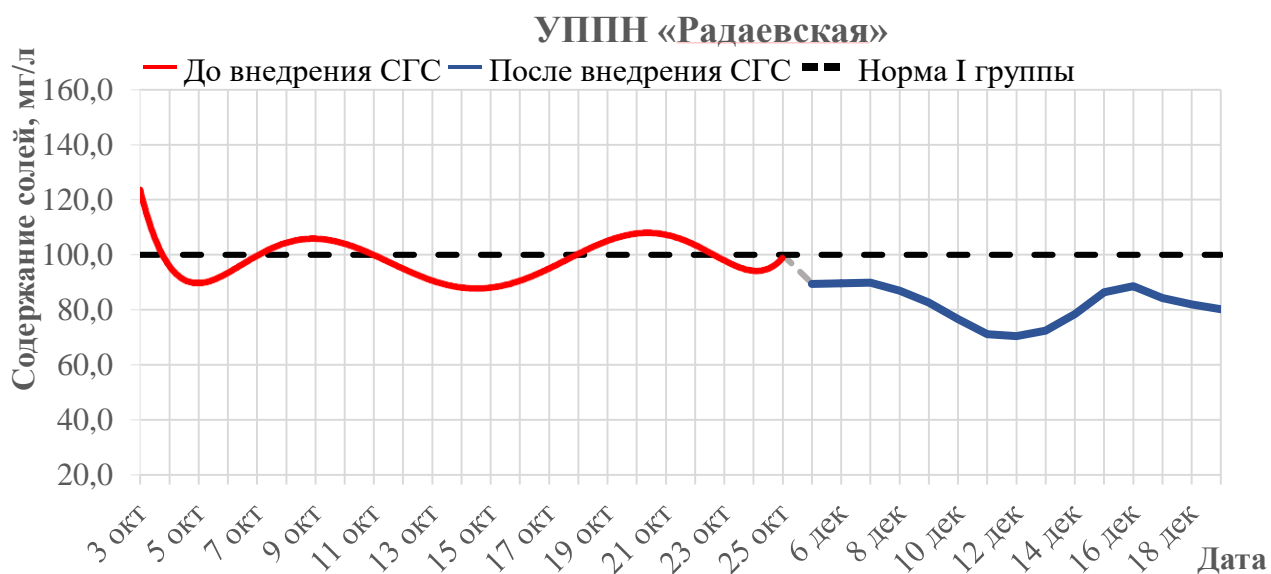


Рисунок 10 – График изменения содержания хлористых солей на УППН «Радаевская»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа литературных данных существующего состояния технологии и техники промышленной подготовки нефти и исследований процессов обезвоживания и обессоливания нефти соискателем установлено, что основным недостатком в процессе обессоливания нефти с помощью подачи промывочной воды в используемых смесителях является недостаточное смешивание потоков. В результате проведенного автором технологического аудита более 30 УПН ведущих нефтяных компаний России выявлено, что используемые на установках устройства смешения нефтеэмульсии с пресной водой и реагентами работают с недостаточной эффективностью.

2. Получены результаты, позволяющие составить научное обоснование улучшения технологии глубокого обезвоживания и обессоливания нефти:

– установлена зависимость изменения степени турбулизации потока нефти, а также диспергации воды путём конструирования в смесителях закручивающего устройства (завихрителя нефти), влияющие на процесс отделения воды из нефтеэмульсии

– установлена зависимость изменения кинетической энергии турбулизации потока и интенсивности смешивания нефтеэмульсии и промывочной воды от соотношения длины к ширине тангенциальных отверстий закручивающего устройства (завихрителя нефти): с увеличением соотношения сторон прямоугольных прорезей закручивающего устройства нефти с 2-х до 5-ти кинетическая энергия турбулизации увеличивается на 57,5 %, при увеличении до 10-ти – повышается в 2,65 раза. В одном месте процент в другом раза

3. Методом CFD-анализа выявлены оптимальные геометрические размеры тангенциальных отверстий закручивающего устройства (завихрителя нефти) в струйных гидравлических смесителях. Оптимальные соотношения длины к ширине отверстия закручивающего устройства, находятся в диапазоне от 7 до 10.

4. На основе данных моделирования и анализа данных, разработаны усовершенствованные струйные гидравлические смесители с вихревым

устройством позволяющие повысить степень обессоливания до 95% и существенно сэкономить ресурсы на промышленной подготовке нефти.

5. В период с 1999 по 2021 год внедрены более 100 струйных смесителей с вихревым устройством. С применением данных смесителей успешно проведены опытно-промышленные испытания на 32 установках подготовки нефти 12 крупных предприятий топливно-энергетического комплекса России. Усовершенствованные струйные гидравлические смесители с вихревым устройством показали высокую эффективность обессоливания в сравнении с известными российскими и зарубежными аналогами. Применение смесителей СГС с вихревым устройством позволяет эффективно проводить процесс обессоливания и обеспечивает гарантированное получение товарной нефти, соответствующую качеству в требованиям ГОСТ Р 51858-2002. Достигнуто снижение расхода пресной воды до 40 % от существующих норм расходов, снижен удельный расход реагентов на 12-15 %, удельные энергозатраты на 7-10%.

Основные положения диссертационной работы изложено в **12 научных трудах**, в том числе:

– в ведущих рецензируемых научных журналах и печатных изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ:

1. Сидоров, Г.М. Моделирование работы статического смесителя (нефть-вода) для обессоливания нефти и опытно-промышленное испытание / Сидоров, Г.М., Яхин Б.А., Ахметов Р.Ф.//Успехи современного естествознания. № 2. – 2017. – С. 152-156.URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?i=36378> (дата обращения: 02.04.2019).

2. Рябова, В.И. Исследование эффективности реагентов для проведения деэмульсации водо -нефтяных эмульсий / Рябова, В.И., Филатов А.К., Яхин Б.А. и др. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2017.– №2. –С.48-54.

3. Ахметов Р.Ф. CDF- моделирование статического смесителя для обессоливания нефти / Ахметов Р.Ф., Мухаметьянова А.Х., Сидоров Г.М., Яхин

Б.А., Набиева А.Р., Кондратьев Р.Ю. Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2020, №1. – С. 231-249. DOI: <http://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2020-1-231-249>

– патенты на изобретение и полезную модель:

4. Патент на изобретение 2600998 Российская Федерация, МПК В01F 5/00. Струйный гидравлический смеситель / Галиакбаров В.Ф., Галиакбарова Э.В., Яхин Б.А. (РФ); заявка 2015136071 25.08.2015г., опубл. 27.10.2016, Бюл. №30.

5. Патент на полезную модель 159236 Российская Федерация, МПК В01F 5/00, В01F 3/08. Струйный гидравлический смеситель/ Галиакбаров В.Ф., Галиакбарова Э.В., Яхин Б.А.(РФ); заявл.25.08.2015г., опубл.10.02.2016, Бюл. №4.

6. Патент на полезную модель 180014 Российская Федерация. МПК В01F 5/06. Струйный смеситель / Сидоров Г.М., Бахтизин Р.Н., Яхин Б.А., Нургалеев Р.З. (РФ). Заявка 2018106628 от 21.02.2018. Опубл. 30.05. 2018. Бюл. №16

7. Патент на полезную модель 198301 Российская Федерация, МПК В01F 5/06. Струйный смеситель с вихревыми устройствами / Сидоров Г.М., Яхин Б.А., Галиакбаров В.Ф., Яхин Я.Б.(РФ); заявка 201928355 от 09.09.2019. Опубл. 30.06.2020, Бюл. № 19

–в других изданиях:

8. Галиакбаров В.Ф., Теляшев Г.Г., Яхин Б.А. и др. Опыт использования струйных гидравлических смесителей на пунктах подготовки нефти ОАО «Башнефть» // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2015. – № 10. – С. 35-37.

9. Яхин Б.А., Галяутдинова Л.С., Сидоров Г.М. Струйный смеситель для обессоливания нефти // В книге: 68-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых // Сб. матер. конф. – Кн.2. –Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. – С.152

10. Кашапова Л.А., Марушкин А.Б., Сидоров Г.М., Яхин Б.А. Опыт использования струйных гидравлических смесителей при подготовке нефти на промыслах Татарстана. Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2017. №11. –С.37-39.

11. Марушкин А.Б., Сидоров Г.М., Кашапова Л.А., Яхин Б.А. Влияние растворяющей способности воды на процесс обессоливания нефти на промыслах // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2018. №11. – С.18-21.

12. Сидоров Г.М., Яхин Б.А. Преимущество применения струйных гидравлических смесителей с вихревым устройством при подготовке нефти // Инженерная практика. – 2019. – № 7. – С. 74-79.