

УДК 622. 276

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТАТИЧЕСКОГО СМЕСИТЕЛЯ (НЕФТЬ – ВОДА) ДЛЯ ОБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ И ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПЫТАНИЕ

¹Сидоров Г.М., ²Яхин Б.А., ¹Ахметов Р.Ф.

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,

Уфа, e-mail: kaskad@ufanet.ru;

²ООО «НТ-ЦЕНТР», Уфа

Наличие минеральных солей в нефти вызывает коррозию нефтепромыслового оборудования, повышает устойчивость эмульсий и затрудняет ее переработку. Отложение хлористых солей в трубопроводах уменьшает их проходное сечение, повышает гидравлическое сопротивление и снижает пропускную способность. Существующие конструкции смесителей в процессах обессоливания нефти имеют недостаточную эффективность перемешивания и требуют большого расхода промывочной воды. Увеличение глубины обессоливания нефти возможно в таких аппаратах, как статические смесители. Высокая степень диспергирования воды в нефти в статических смесителях достигается турбулизацией и смешением двух жидкостей за счет особой конструкции аппарата. Поэтому разработка эффективных смесителей нефти с промывочной водой с использованием современных инженерных методов расчета является актуальной. В данной статье подводятся итоги моделирования работы статического смесителя с закручивающим устройством с использованием программного комплекса ANSYS/CFX. На основе данных моделирования процесса с использованием пакета CFD анализа была разработана конструкция высокоэффективного статического смесителя нефти с водой для процесса обессоливания нефти, проведено опытно-промышленное испытание на установке подготовки нефти. В ходе проведения ОПИ струйный гидравлический смеситель показал высокую эффективность работы даже в нестационарных режимных условиях.

Ключевые слова: нефть, статический смеситель, обессоливание, вода, эффективность, моделирование

MODELING PROCESS OF STATIC MIXERS (OIL-WATER) FOR DESALTING CRUDE OIL AND PILOT-INDUSTRIAL TESTING

¹Sidorov G.M., ²Yakhin B.A., ¹Akhmetov R.F.

¹State Educational Institution of Higher Professional Education «Ufa State Petroleum

Technological University», Ufa, e-mail: kaskad@ufanet.ru;

²The society with limited liability «NT-CENTRE», Ufa

The presence of mineral salts in oil is corrosive of oilfield equipment, increases stability of emulsions and hinders its processing. Deposition of chloride salts in the piping reduces their orifice increases the hydraulic resistance and lowers throughput. The existing design of faucets in the processes of desalting crude oil have insufficient mixing efficiency and require a large wash water consumption. Increase depth desalting crude oil possible in such devices as static mixers. High degree of dispersion of water-in-oil in the static mixer is achieved turbulizaciej and mixing two liquids due to the special design of the machine. Therefore, the development of effective water rinsing oil faucets using modern engineering methods of calculation is relevant. In this article the results of conducted modeling work static mixer with simple twist device using the bundled software ANSYS/CFX. On the basis of process modeling data using CFD analysis package design highly efficient static mixer oil with water for process desalting crude oil held experimental industrial oil preparation test. During the IRS Jet hydraulic mixer has showed a high efficiency of operation even in unsteady operating conditions.

Keywords: oil, static mixer, desalting, water, the effectiveness of the, modeling

Извлекаемая из нефтяных скважин жидкость представляет сложную смесь, состоящая из нефти, попутного нефтяного газа, воды и механических примесей. Наличие минеральных солей в нефти вызывает сильную коррозию нефтеперекачивающего и нефтеперерабатывающего оборудования, трубопроводов, повышает устойчивость эмульсий и затрудняет переработку нефти. Содержание солей в нефти обычно составляет 300–600 мг/л, но иногда достигает 2000–3000 мг/л, в отдельных случаях доходит до 0,4–0,3%.

Отложение хлористых солей, как правило, происходит на внутренней поверхности

трубопроводов и теплообменников, на контактных устройствах колонного оборудования. В змеевиках нагревательных печей и теплообменниках растворенные в воде соли выделяются в основном при испарении воды, при этом часть выкристаллизовавшихся солей прилипает к горячей поверхности, оседая на ней в виде прочной корки. В процессе работы эти соляные корки отламываются под воздействием потока нефти и воды, далее осаждаются в застойных зонах трубопровода, в емкостных и колонных аппаратах. Отложение солей в трубопроводах уменьшает их проходное сечение, повышает гидрав-

лическое сопротивление и снижает их пропускную способность.

Таким образом, подготовка нефти на промыслах необходима не только для обеспечения определенных показателей качества сырья для переработки на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях, но и для создания таких условий, при которых вредные компоненты в нефти не будут оказывать серьезного отрицательного влияния на срок службы емкостного и насосного оборудования нефтепромыслов, магистральных нефтепроводов [8, 9].

Подготовка нефти на промыслах занимает одно из важных положений среди процессов, связанных с добычей, сбором и транспортированием товарной нефти на нефтеперерабатывающие заводы или на экспорт. Эффективность и надежность работы магистральных трубопроводов, резервуарных парков и насосного оборудования также зависит от качества подготовленной нефти.

По литературным данным известно, что снижение содержания хлористых солей в нефти с 40–50 до 8–10 мг/л позволяет до 1,5 раза увеличить продолжительность работы установок подготовки, хранения и перекачки нефти, а также снизить требования к выбору материалов для изготовления аппаратуры.

Одним из способов увеличения глубины обессоливания нефти является интенсификация ее промывки с водой. Это возможно в таких аппаратах, как статические смесители. Высокая степень диспергирования воды в нефти в статических смесителях достигается турбулизацией и смешением двух жидкостей за счет особой конструкции аппарата.

Основная причина широкого распространения статических смесителей в процессах подготовки нефти заключается

в их простоте конструкции, низкой стоимости, отсутствии движущихся частей и безопасности эксплуатации.

На сегодняшний день статические смесители представлены различными конструкциями. Широкое распространение для гомогенизации жидкостей получили статические смесители с насадочными устройствами, работа которых основана на особой геометрии смесительных элементов. Неоднородный поток, попадая на смесительные элементы, многократно рассеивается на отдельные струи, которые впоследствии рассеиваются. В качестве насадок используются кольца Рашига, фирменные насадки Sulzer и т.д.

Несмотря на высокую эффективность при различных значениях числа Рейнольдса, применение статических смесителей с насадкой нежелательно при смешении сырой нефти и воды из-за возможного загрязнения, высокого гидравлического сопротивления [6].

На рис. 1 приведены фотографии статического смесителя для обессоливания нефти, на которых видно засорение посторонними включениями. Существующие традиционные гидродинамические способы и устройства для диспергирования промывочной воды в нефть в процессах обессоливания нефти: смесительные клапаны, задвижки и др., плохо управляемы, образуют грубодисперсные эмульсии и требуют большого перепада давления между жидкостями, что приводит к низкой эффективности перемешивания и большому расходу промывочной воды.

В последнее время широкое распространение получили струйные гидродинамические смесители особой конструкции, где с целью повышения эффективности смешения осуществляют встречное контактирование воды и нефти [4, 5, 7].



Рис. 1. Фотографии статического смесителя

Бурное развитие вычислительных мощностей персональных компьютеров и разработка современных программных комплексов в последние десятилетия позволяет проводить исследования сложных химико-технологических процессов посредством математического моделирования. Для оптимизации работы статических смесителей исследователи широко применяют CFD-анализ. Современные пакеты CFD-анализа позволяют моделировать процесс с высокой точностью как однофазные, так и многофазные потоки при различных режимах течения [1–3]. Использование мощных вычислительных комплексов и программных средств позволяет существенно сократить время и материальные ресурсы на разработку современных высокоэффективных статических смесителей нефти с водой и другими реагентами для процесса подготовки нефти.

Поэтому в настоящее время задача создания эффективных смесителей нефти с промывной водой с использованием со-

временных инженерных методов расчета является актуальной.

С этой целью проводилось моделирование работы статического смесителя с закручивающим устройством использованием программного комплекса ANSYS CFX. Двухфазное течение жидкости описывалось Эйлер-Эйлеровским методом (Eulerian-Eulerian method).

На рис. 2 приведена компьютерная модель смесителя и схемы движения потоков.

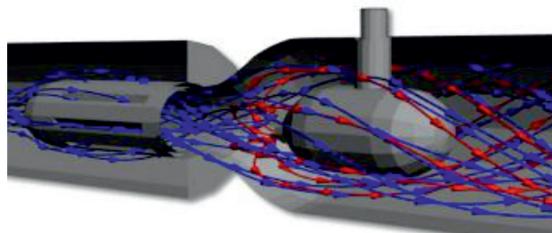


Рис. 2. Схема движения потоков нефти и воды в модели смесителя

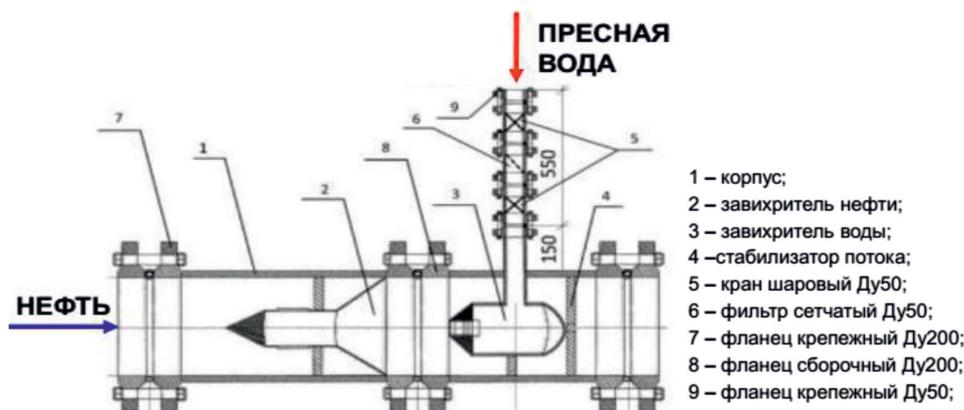


Рис. 3. Струйный гидродинамический смеситель с закручивающим устройством

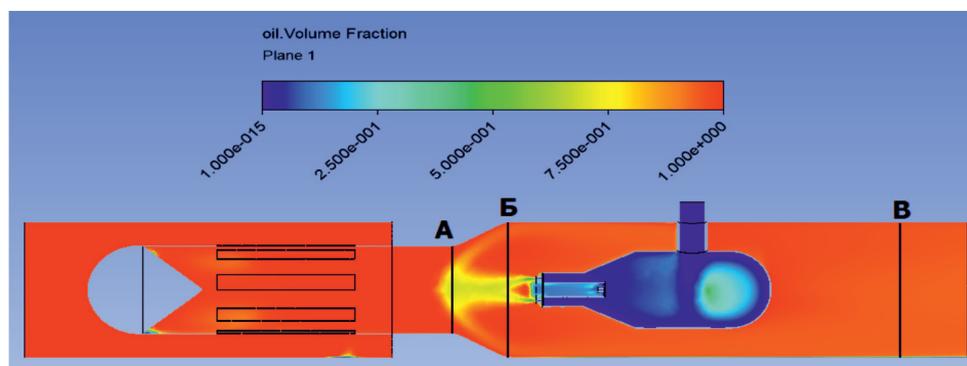


Рис. 4. Распределение объемной доли нефти в водонефтяном потоке в смесителе с закручивающим устройством

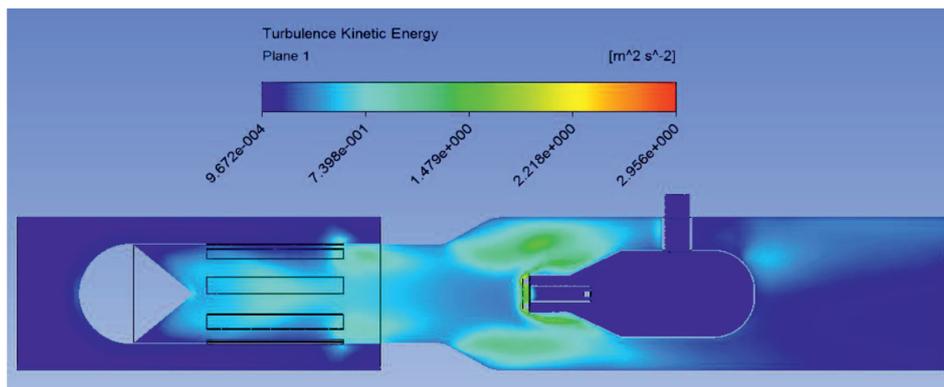


Рис. 5. Генерация турбулентной энергии в аппарате с закручивающим устройством

Встречное контактирование потоков нефти и воды реализовано как в струйном гидродинамическом смесителе, описанном в литературе [4, 5, 7]. Конструкция смесителя предусматривает дополнительную турбулизацию потока нефти в закручивающем устройстве (рис. 3).

Устройство работает следующим образом: нефть закручивается в закручивающем устройстве с тангенциальными соплами, закрученная струя расширяется в диффузоре и соударяется со струей пресной воды, подаваемой из распылительных сопел, расположенных соосно с закручивающим устройством. Встречное соударение закрученной струи нефти и струи пресной воды способствует хорошей диспергации воды в нефти.

По результатам моделирования были получены поля распределения объемной доли нефти в водонефтяном потоке и генерации турбулентной энергии.

Численный анализ устройства показал достаточно хорошее перемешивание потоков нефти и воды (рис. 4). Средняя генерация турбулентной энергии почти в 100 раз выше, чем в статических смесителях без закручивающего устройства, и равна 0,46 Дж/кг (рис. 5).

На основе данных моделирования процесса при различных режимах использованием пакета CFD-анализа была разработана конструкция высокоэффективного статического смесителя нефти с водой для процесса обессоливания нефти.

С целью определения эффективности работы струйного гидравлического смесителя (нефть – вода) и достижения интенсивного перемешивания нефти с промывочной водой для эффективного

обессоливания нефти в рамках опытно-промышленного испытания (ОПИ) нами были изготовлены и смонтированы смесители на первой и второй ступенях обессоливания установки подготовки высокосернистой нефти, производительностью 3500 тонн в сутки. На установке перерабатывают нефть (смесь девон и карбон) из более 20 различных скважин. Схема установки смесителей приведена на рис. 6.

Необходимость проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ) вызвало недостаточное обессоливание нефти в процессе подготовки нефти по существующей технологии. Остаточное содержание солей в товарной нефти составляло более 100 мг/л, что превышало допустимую норму для первой группы нефти, при условии подачи промывной воды более 10 % на нефть.

Несмотря на постоянное изменение содержания солей в нефти в течение суток в несколько раз (от 350 до 4000 мг/л) за счет использования нового смесителя, достигнуто 15–40 кратное уменьшение содержания солей в товарной нефти.

В процессе проведения ОПИ было достигнуто содержание солей в нефти на выходе из электродегидратора второй ступени менее 50 мг/л при значении содержания солей в исходной нефти 350–2000 мг/л. При этом расход воды составил 5–7 % на нефть. Кроме этого, использование в смесителях закручивающих устройств для нефти и воды, эффективной диспергации смешиваемых потоков, за счет использования центробежной силы удалось достичь снижения остаточного содержания воды в товарной нефти с 0,20–0,35 до 0,09–0,15 %.

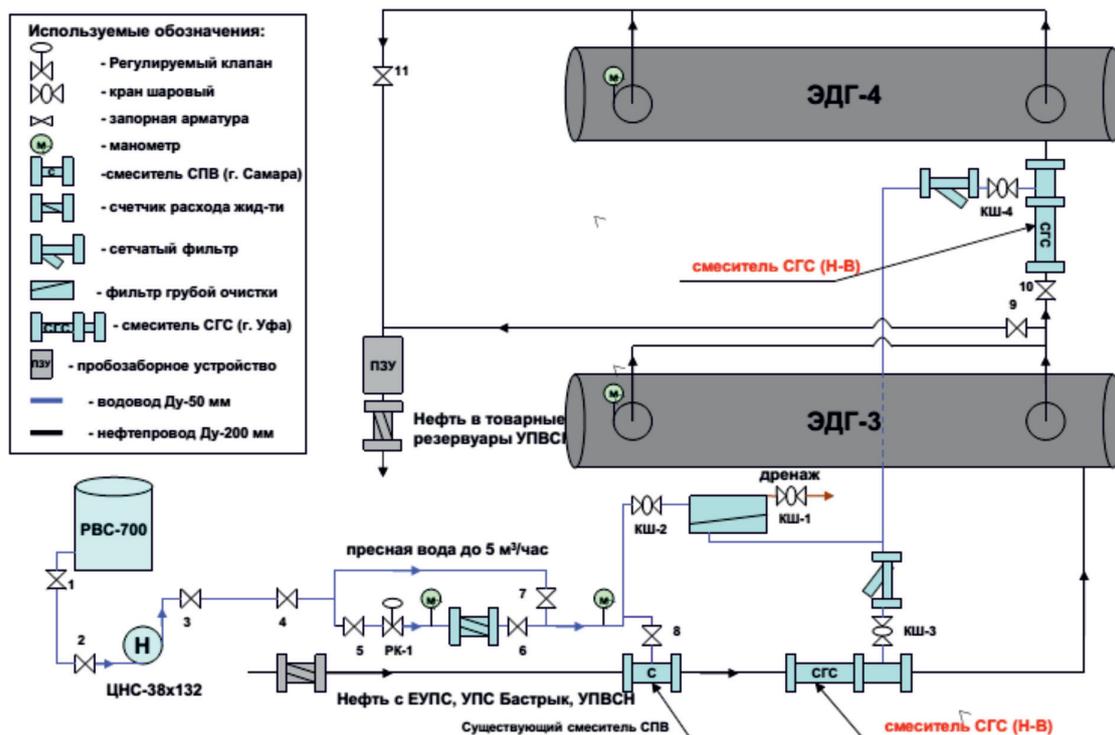


Рис. 6. Схема установки смесителя перед электродегидраторами

В ходе проведения ОПИ струйный гидравлический смеситель показал высокую эффективность работы по сравнению с существующими смесителями даже в нестационарных режимных условиях. Смеситель обеспечивает: интенсивное перемешивания нефти с промывочной водой и эффективное обессоливание нефти; снижение удельного расхода электроэнергии за счет уменьшения объема рециркуляции дренажей внутри установки; увеличение производительности установки подготовки нефти на 40–45 %.

Список литературы

1. Ахметов Р.Ф., Сидоров Г.М., Рахимов М.Н., Беркань В.О. Совершенствование конструкции винтового закручивающего устройства методом CFD-анализа // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 11–4. – С. 647–653.
2. Ахметов Р.Ф., Зайцев Ю.Н., Сидоров Г.М., Ахметов А.Ф. Моделирование процесса смешения нефти и воды в статических смесителях методом CFD анализа // Нефтегазопереработка-2016: Международная научно-практическая конференция (Уфа, 24 мая 2016 г.): Материалы конференции. – Уфа: Издательство ГУП ИНХП РБ, 2016. – С. 177.
3. Ахметов Р.Ф., Сидоров Г.М. Влияние длины закрутки винтового закручивающего устройства на эффективность

сепарации трехпоточной вихревой трубы // Актуальные проблемы науки и техники-2015. Материалы VIII Международной научно-практической конференции молодых ученых. Том I. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2015. – С. 370–373.

4. Жолобова Г.Н., Хисаева Е.М., Сулейманов А.А., Галиакбаров В.Ф. Теоретические основы движения жидкости в вихревых устройствах // Нефтегазовое дело. – 2010. – С. 1–6.
5. Жолобова Г.Н., Хисаева Е.М., Сулейманова А.А., Галиакбаров В.Ф. Анализ конструкций смесителей для обессоливания нефти // Нефтегазовое дело. – 2010. – С. 1–7.
6. Николаев Е.А. Статические и динамические смесители для компаундирования нефтепродуктов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2011. – № 3. – С. 29–35.
7. Пат. 2178449 Российская Федерация, МПК7, С10 G33/04,33/06. Состав для обезвоживания и обессоливания нефти и способ его применения в устройстве для разрушения водонефтяных эмульсий / Галиакбаров В.Ф., Галиакбаров М.Ф., Лопатин И.Ф., и др. (РФ) 2000121188/12; Заявлено 07.08.2000; Опубл. 20.01.2002.
8. Хафизов Н.Н. Разработка технологии обессоливания нефти на промыслах: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Уфа: УГНТУ, 2009. – 143 с.
9. Хуторянский Ф.М. Современное состояние и варианты совершенствования установок подготовки нефти. Основные направления перспективных научно-исследовательских работ в области глубокого обессоливания нефти // Технологии нефти и газа. – 2010. – № 6. – С. 33–39.