ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ НА ПРОМЫСЛАХ ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СМЕШИВАЕМЫХ ПОТОКОВ НЕФТИ И ВОДЫ

IMPROVING OF OIL DESALINATION QUALITY IN FIELDS DUE TO THE RATIONAL
MOVEMENT AND INTERACTION ORGANIZATION OF THE MIXED OIL
AND WATER FLOWS

Технологический процесс обессоливания в электрообессоливающих установках (ЭЛОУ) предполагает наличие смесительных устройств, расположенных перед электродегидраторами, для смешения нефти с промывной водой. К промывной воде предъявляются особые требования: содержание в воде хлоридов не должно превышать 300 мг/л, сульфатов и карбонатов — 300 мг/л, сероводорода — 20 мг/л; среда должна быть нейтральной или слабощелочной.

Смесительные устройства турбулизируют смешиваемые потоки, глобулы промывной воды сталкиваются с глобулами минерализованной воды, присутствующими в нефти, дробятся и вновь сталкиваются, сливаясь с некоторыми из них. В коагулированной глобуле воды происходит только частичное выравнивание концентрации солей. Поэтому степень обессоливания не равна степени обезвоживания, промывную воду приходится подавать в нефть с большим избытком. Общее количество промывной воды для системы обессоливания с российскими и зарубежными смесителями составляет от 5 % до 20 % на обрабатываемую нефть.

В струйных гидравлических смесителях «нефть — вода» (СГС Н-В) организуется встречно направленное движение очищенной промывной воды в виде мелкодисперсной фазы и нефти. Дисперсность и скорость движения глобул промывной воды задаются конструктивными элементами смесителя и определяются гидростатическими напорами и расходами нефти и воды.

В данной работе объясняется механизм эффективного обессоливания нефти на промыслах при смешении с водой в смесителе СГС Н-В, установленном в трубе перед электродегидраторами в ЭЛОУ.

The technological process of desalting in electro-desalination plants presupposes the presence of mixing devices located in front of the electric dehydrators, for mixing oil with washing water. Special requirements are imposed on washing water: the chloride content in water should not exceed 300 mg/l, sulfates and carbonates — 300 mg/l, hydrogen sulfide — 20 mg/l; the medium must be neutral or slightly alkaline.

Mixing devices turbulize the mixed streams, wash water globules collide with globules of mineralized water present in the oil, break up and again collide, merging with some of them. In the coagulated globule of water, only a partial equalization of the salt concentration occurs. Therefore, the degree of desalting is not equal to the degree of dehydration, the rinsing water must be supplied to the oil with a large excess. The total amount of washing water for the desalination system with Russian and foreign mixers ranges from 5 % to 20 % for processed oil.

In the oil-water hydraulic jet mixers (SGS N-V), a counter-directed movement of the purified washing water in the form of a finely dispersed phase and oil is organized. Dispersity and speed of movement of wash water globules are set by the structural elements of the mixer and are determined by hydrostatic head and oil and water consumption.

This paper explains the mechanism of effective desalting of oil in fields when mixed with water in a mixer SGS N-V, installed in a pipe in front of the electrohydrators in electro-desalination plants.

**Галиакбарова Э.В.,
Бахтизин Р.Н., Гималтдинов И.К.,
Галиакбаров В.Ф.**
Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

**E. V. Galiakbarova, R. N. Bakhtizin,
I. K. Gimaltdinov, V. F. Galiakbarov**
Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Ключевые слова:
обессоливание, струйные
смесители, электрообессоливающие
установки, нефть, промыслы.

Key words:
desalination, jet mixers,
electro-desalting plants, oil, oil fields.

Технологический процесс обессоливания в электрообессоливающих установках (ЭЛОУ) предполагает наличие смесительных устройств, расположенных перед электродегидраторами [1–3], для смешения нефти с промывной водой.

Общее количество промывной воды для системы обессоливания с российскими и зарубежными смесителями составляет от 5 % до 20 % на обрабатываемую нефть [4].

В ЭЛОУ системы обессоливания на промыслах наибольшее распространение получили статические смесители марки Sulzer Salomix и произве-

денные в г. Самара смесители пресной воды (СПВ), представленные на рисунке 1.

Общим недостатком данных смесителей является быстрый переход в нерабочее состояние решеток или лопастей, применяемых для турбулизации смешиваемых потоков, приводящее к нерациональному использованию электроэнергии и промывной воды. Турбулизирующие элементы (решетки, лопасти) забиваются солями, смолами и механическими примесями, присутствующими в нефти. Излишняя турбулизация нефти и недостаточная дисперсность промывной воды приводят к

общей дороговизне и неэффективности процесса обессоливания, необходимости в использовании большого количества деэмульгаторов.

Струйный гидравлический смеситель «нефть — вода» (СГС Н-В), защищенный патентами на изобретение [5, 6] и полезные модели [7, 8], позволяет эффективно смешивать нефть и воду только за счет энергии потоков без использования добавок и нагрева воды. Опытные-промышленные испытания данных смесителей [9–16] в ЭЛОУ на промыслах ПАО «Татнефть», ПАО «Башнефть» показали, что эффективное смешение и обессоливание возможно без деэмульгаторов даже при нестационарном содержании солей в нефти от 200 до 2000 мг/л.

Модель СГС Н-В представлена на рисунке 2. Принцип работы СГС Н-В следующий. Смешиваемый компонент — нефть (эмульсия «вода в нефти») подается в корпус 1 смесителя через патрубок 7 и, проходя через каналы в виде щелей 4, поступает в камеру 2. Рабочий агент — вода (промывная, очищенная), подаваемая в корпус

1 смесителя через патрубок 9, проходя по каналам 5 в камере 3, также ускоряется, развивая скорость, в 5–7 раз превосходящую скорость ее движения в подводящей трубе. Специальная насадка 6, установленная на выходе из камеры 3, применена для получения мелкодисперсной фазы воды с характерным размером глобул порядка 5–50 мкм. В зоне, расположенной между камерами 2 и 3, происходит смешение нефти и воды, которое приводит к зацеплению глобул промывной и эмульгированной в нефти минерализованной воды. Скорость относительного движения глобул промывной воды в нефти в зоне смешения составляет 3–6 м/с. Выходной патрубок 8 смесителя соединен с технологическим трубопроводом, подводящим водонефтяную смесь к электродегидраторам.

Схема ЭЛОУ [15] со смесителем СГС Н-В представлена на рисунке 3. Нефть по трубопроводу подается во входной патрубок смешиваемого компонента смесителя 1. Промывная вода из резервуара 2 при открытой запорной арматуре крана 3,

Рисунок 1.

Смесители Sulzer Salomix и смеситель пресной воды СПВ (г. Самара)

Рисунок 2.

Схема смесителя СГС Н-В

движимая насосом 4, проходит через фильтр 5 и при открытом кране 6 достигает входного патрубка рабочего агента смесителя. Водонефтяная смесь из выходного патрубка смесителя по трубопроводу подается в горизонтальный электродегидратор 7. В электродегидраторе под действием переменного электрического поля глобулы воды приводятся в колебательное движение, испытывают деформации и разрываются в местах перенапряжения, сталкиваются и интенсивно слипаются. Переменное электрическое поле напряженностью 1–3 кВ/см используют для нефти, характеризуемой высокой электропроводностью с плотностью более 870 кг/м³. Нефть из электродегидратора 7 при открытой запорной арматуре крана 8 по трубопроводу попадает в пробозаборное устройство 9 и далее в товарный резервуар 10. Количество соли в ЭЛОУ в среднем на входе составляло 2000–500 мг/л, а на выходе 80–60 мг/л.

Рисунок 3.

Схема ЭЛОУ на Ново-Суксинской УПВСН в ПАО «Татнефть»

Проведены оценочные расчеты безразмерных гидродинамических параметров Рейнольдса Re и Лапласа La , времени смешения $\tilde{t}$ и характерного времени диффузии τ в зоне смешения СГС Н-В:

$$Re = \frac{v_{p(0)} \rho_0 2R}{\mu_0} \approx 4; La = \frac{\rho_0 \sigma_{ow} 2R}{\mu_0^2} \approx 4;$$

$$\tilde{t} = \frac{\zeta}{\Theta} \approx 4\text{с}; \tau = \frac{a^2}{\sqrt[3]{\alpha} D} \approx 10^4\text{с}; D = \frac{k T_o}{6\pi \mu_w R} \approx 10^{-14}\text{м}^2/\text{с}.$$

Значения физических параметров нефти и промысловой воды приняты из анализа данных по испытаниям смесителя СГС Н-В на Ново-Суксинской УПВСН в ПАО «Татнефть»: $\rho_o = 890\text{ кг/м}^3$, $\mu_o = 14 \cdot 10^{-3}\text{ Па} \cdot \text{с}$, $T_o = 333\text{ К}$, $\mu_w = 1 \cdot 10^{-3}\text{ Па} \cdot \text{с}$, $\sigma_{ow} = 29 \cdot 10^{-3}\text{ Н/м}$, $\Theta \approx 60\text{ м}^3/\text{ч}$, $\zeta \approx 0,06\text{ м}^3$, $\alpha = 0,9\%$, $v_{p(0)} = 4\text{ м/с}$, $R = 15 \cdot 10^{-6}\text{ м}$, $a = 10^{-6}\text{ м}$.

Сравнительно малое значение коэффициента диффузии в зоне смешения обуславливает достаточно длительность процесса броуновской диффузии, которая по времени сравнима с протеканием диффузии в твердых телах. А достаточно быстрое прохождение потоков зоны смешения исключает проявление диффузионного механизма зацепления глобул воды.

Более того, эффективность процесса зацепления глобул минерализованной воды с глобулами пресной

воды в зоне смешения будет определять эффективность всего процесса обессоливания в ЭЛОУ.

Для математического описания процесса зацепления примем следующие допущения: глобулы пресной и минерализованной воды — частицы шарообразной формы, дисперсионная среда (нефть) — идеальная жидкость.

Данные приближения могут иметь место в силу того, что рассматривается движение глобул воды на расстоянии нескольких микрометров, а кроме того, безразмерные числа Re и La достаточно большие, в несколько раз превосходящие 1.

Частицу пресной воды назовем частицей $_{(0)}$, а частицу минерализованной воды — $_{(1)}$.

Среднее число N частиц $_{(0)}$ и $_{(1)}$, содержащихся в единице объема нефти, сравнительно мало ($N_{(0)} \approx 10^{10}\text{ м}^{-3}$, $N_{(1)} \approx 10^{10}\text{ м}^{-3}$), что позволит рассмотреть только парные встречи частиц.

Введем следующие обозначения: R и $\vec{V}$ — радиус и скорость частицы $_{(0)}$; а $\vec{V}_p$ — радиус и скорость частицы $_{(1)}$.

Поместим начало отсчета в центр частицы $_{(0)}$, выберем прямоугольную систему координат на плоскости Oxz , а частицу $_{(0)}$ отметим темным цветом (рисунок 4). В силу симметрии частицы $_{(0)}$ на рисунке показана четвертая ее часть. Будем считать, что зацепление, установление непосредственного контакта частиц происходит, если траектория частицы $_{(1)}$ пересечет границу частицы $_{(0)}$.

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. А 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 [17]:

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

где $\vec{f}_A$, $\vec{f}_C$ и $\vec{f}_M$ — силы Архимеда, Стокса и присоединенных масс: $\vec{f}_A = -V_p \vec{\nabla} p$, $\vec{f}_C = 6\pi \mu_o a (\vec{V} - \vec{V}_p)$, $\vec{f}_M = \frac{2}{3} \pi a^3 \rho_o \left(\frac{d\vec{V}}{dt} - \frac{d\vec{V}_p}{dt} \right)$, $V_p = \frac{4}{3} \pi a^3$, $m = \zeta \rho_w$, $\vec{V}_p = v_p \vec{i} + w_p \vec{k}$.

Выражение для скорости $\vec{V}$ представляет собой известное решение задачи о потенциальном обтекании сферы потоком идеальной жидкости [18]:

$$\vec{V} = \vec{\nabla} \phi, \quad \phi = -V_o \cos \theta \left(r + \frac{R^3}{2r^2} \right), \quad (2)$$

где V_o — скорость движения дисперсионной среды (нефти) в зоне взаимодействия потоков.

Начальные условия для уравнения (1) с учетом (2) запишем в виде

$$\begin{aligned} x(0) &= x_{(0)}, z(0) = z_{(0)}, \\ \dot{x}(0) &= v_{p(0)}, \dot{z}(0) = w_{p(0)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Будем рассматривать линии тока частицы $_{(1)}$ с расстояния $3R$ $x_{(0)} = 3R$ от частицы $_{(0)}$.

Частица $_{(1)}$ должна бы следовать за линией тока, обтекающей частицу $_{(0)}$, и не смогла бы достигнуть этой частицы, как показано на рисунке 4. Здесь линии тока представлены тонкими сплошными линиями и получены из уравнения (2) с начальными условиями

$$x(0) = x_{(0)}, z(0) = z_{(0)}. \quad (4)$$

На рисунке 4 представлены кроме линий тока, которые обтекают частицу $_{(0)}$ размера $R = 15$ мкм, также спрямленные траектории частицы (1) размера $a = 1$ мкм, движущейся с начальной скоростью $v_{p(0)} = -4$ м/с с различных прицельных расстояний $z_{(0)}$, обозначенные утолщенными сплошными линиями. Приняты значения физических параметров воды и нефти $\rho_w = 1000$ кг/м³, $\rho_o = 890$ кг/м³, $\mu_o = 14 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $V_0 = 1$ м/с.

Инерция частиц приводит к отклонению от линии тока, спрямляя траекторию частицы $_{(1)}$ в тех точках течения, в которых происходит изгиб линии

тока. При некоторых значениях прицельного расстояния спрямленная траектория частицы $_{(1)}$ пересекает границу частицы $_{(0)}$ (линии 1, 2 и 3). В этом случае считаем, что произошло зацепление частиц $_{(1)}$ и $_{(0)}$. Можно найти предельное значение прицельного расстояния R_* , при котором траектория частицы $_{(1)}$ касается границы частицы $_{(0)}$ (линия 4). При $z_{(0)} \leq R_*$ происходит зацепление частиц. При $z_{(0)} > R_*$ отклонение траектории частицы (1) от соответствующей линии тока не существенно (линия 5).

Определим коэффициент зацепления E частицы $_{(1)}$ на частице $_{(0)}$ как отношение площади поперечного сечения трубки тока, образованной предельными траекториями, к миделевому сечению частицы $_{(0)}$:

$$E = \frac{\pi R_*^2}{\pi R^2}. \quad (5)$$

Рисунок 5 показывает зависимость коэффициента зацепления E частицы (1): ($a = 1$ мкм, $V_0 = 1$ м/с, $v_{p(0)} = -4$ м/с) от радиуса R частицы $_{(0)}$. Величина E имеет некоторое постоянное значение. Это показывает, что определяющим фактором на процесс зацепления частиц в зоне смешения является соотношение размеров частиц $_{(0)}$ и $_{(1)}$.

Рисунок 4.

Линии тока нефти и траектории частицы $_{(1)}$ вблизи частицы $_{(0)}$ с прицельных расстояний $z_{(0)}$ (кривые 1–5 соответствуют $z_{(0)} = 2$ мкм, 4 мкм, 6 мкм, 7.5 мкм, 10 мкм)

Рисунок 5.

Зависимость коэффициента зацепления E от радиуса R частицы $_{(0)}$

Выводы

Оптимальное соотношение размера глобул пресной воды относительно размеров глобул минерализованной воды, эмульгированных в нефти, предусмотрено конструкцией смесителя СГС Н-В. Процесс обессоливания в ЭЛОУ со смесителями

СГС Н-В на промыслах можно эффективно проводить без перерасхода пресной воды.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (соглашение № 17-41-020244).

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Юшков И.Р. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений: учеб.-метод. пособие / И.Р. Юшков, Г.П. Хижняк, П.Ю. Илюшин. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. 177 с.
- 2 Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М.: Химия, 2011. 568 с.
- 3 Жолобова Г.Н. Повышение эффективности процесса обессоливания нефти: дис. ... канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2010. 122 с.
- 4 Волков А.А., Балашова В.Д., Коновальчук О.Ю. К вопросу разрушения стабильных водонефтяных эмульсий // Нефтепромышленное дело. 2013. № 5. С. 40–42.
- 5 Состав для обезвоживания и обессоливания нефти и способ его применения в устройстве для разрушения водонефтяных эмульсий / В.Ф. Галиакбаров, М.Ф. Галиакбаров, И.Ф. Лопатин, А.Ю. Хмельник, В.С. Безмельничин, А.Ю. Шильников, Л.П. Максимчик: пат. Рос. Федерация. 2178449, заявл. 07.08.2000; опубл. 20.01.2002. БИ 2.
- 6 Струйный гидравлический смеситель / В.Ф. Галиакбаров, Э.В. Галиакбарова, Б.А. Яхин: пат. Рос. Федерация. 2600998; заявл. 25.08.2015; опубл. 27.10.2016. БИ 30.
- 7 Струйный гидравлический смеситель / В.Ф. Галиакбаров, Э.В. Галиакбарова, Б.А. Яхин: пат. Рос. Федерация. 159236; заявл. 25.08.2015; опубл. 10.02.2016. БИ 4.
- 8 Струйный гидравлический смеситель / В.Ф. Галиакбаров, Э.В. Галиакбарова, К.М. Мустафин: пат. Рос. Федерация. 169527; дата подачи 4.10.2016; опубл. 22.03.2017. БИ 9.
- 9 Галиакбаров В.Ф., Галиакбарова Э.В., Валявин Г.Г. Применение усовершенствованного смесителя СГС для улучшения процессов хранения, подготовки и переработки нефти // Международный независимый институт Математики и Систем «МиС». 2014. № 8. С. 10–11.
- 10 Галиакбаров В.Ф., Галиакбарова Э.В., Валявин Г.Г. Совершенствование процессов хранения и подготовки нефти к переработке // Информационные технологии. Проблемы и решения: матер. Междунар. науч.-практ. конф. / редкол.: Ф.У. Еникеев и др. Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2014. Доп. сб. С. 27.
- 11 Галиакбарова Э.В., Галиакбаров В.Ф., Шварева Е.Н. Интенсификация процессов обезвоживания, обессоливания и зашлачивания нефти при внедрении вихревых устройств в смесительных аппаратах ЭЛОУ // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа:

матер. науч.-практ. конф. 20-23 мая 2015 г. Уфа, 2015. С. 97–99.

12 Галиакбаров В.Ф., Галиакбарова Э.В., Шварева Е.Н., Белозеров А.Е., Жолобова Г.Н. Повышение эффективности процессов обезвоживания, обессоливания и зашлачивания нефти в смесительных аппаратах ЭЛОУ // Информационные технологии. Проблемы и решения: матер. Междунар. науч.-практ. конф. / редкол.: Ф.У. Еникеев и др. Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2015. Т. 1. С. 188–190.

13 Галиакбарова Э.В., Шварева Е.Н., Белозеров А.Е., Бахтизин Р.Н., Жолобова Г.Н., Галиакбаров В.Ф. Расчет параметров смесительного аппарата с вихревыми устройствами методами математической статистики и распознавания образов для качественного обессоливания нефти в ЭЛОУ // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2015. № 2. С. 230–265. URL: http://www.ogbus.ru/issues/2-2015/ogbus-2-2014_p230-265_GaliakbarovaEV_ru.pdf.

14 Галиакбарова Э.В., Бахтизин Р.Н., Галиакбаров В.Ф. Использование струйных гидравлических смесителей для интенсификации процессов подготовки нефти к переработке // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 1. С. 145–149.

15 Сидоров Г.М., Яхин Б.А., Ахметов Р.Ф. Моделирование работы статического смесителя (нефть — вода) для обессоливания нефти и опытно-промышленное испытание // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 152–156.

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

17 Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 1959. 699 с.

18 Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 2. М.: Наука, 1970. 568 с.

REFERENCES

- 1 Yushkov I.R., Khizhnyak G.P., Ilyushin P.Yu. *Razrabotka i ekspluatatsiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii: ucheb.-metod. posobie* [Development and operation of oil and gas fields: guidance manual]. Perm, Izd-vo Perm. nats. issled. politexn. un-ta, 2013. 177 p. [in Russian].
- 2 Manovyan A.K. *Tekhnologiya pervichnoi pererabotki nefti i prirodnogo gaza: ucheb. posobie dlya vuzov* [Technology of primary oil and natural gas processing: manual for high schools]. 2nd ed. Moscow, Khimiya, 2011. 568 p. [in Russian].

- 3 Zholobova G.N. *Povyshenie effektivnosti protsessy obessolivaniya nefii. Dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Increasing the efficiency of the desalting process of oil. Cand. Tech. Sci.]. Ufa, UGNTU, 2010, 122 p. [in Russian].
- 4 Volkov A.A., Balashova V.D., Konoval'chuk O.Yu. *K voprosu razrusheniya stabil'nykh vodoneftyanykh emul'sii* [Some aspects relating to breaking of stable water-in-oil emulsions]. *Neftepromyslovoye delo — Oilfield Engineering*, 2013, no. 5, pp. 40–42. [in Russian].
- 5 Galiakbarov V.F., Galiakbarov M.F., Lopatin I.F., Khmel'nik A.Yu., Bezmel'nitsyn V.S., Shil'nikov A.Yu., Maksimchik L.P. *Sostav dlya obezvozhivaniya i obessolivaniya nefii i sposob ego primeneniya v ustroistve dlya razrusheniya vodoneftyanykh emul'sii* [Composition for dehydration and desalting of oil and the method of its use in the device for the destruction of water-oil emulsions]. Pat. RF no. 2178449, 2002. [in Russian].
- 6 Galiakbarov V.F., Galiakbarova E.V., Yakhin B.A. *Struiny gidravlicheskiy smesitel'* [Inkjet Hydraulic Mixer]. Pat. RF no. 2600998, 2016. [in Russian].
- 7 Galiakbarov V.F., Galiakbarova E.V., Yakhin B.A. *Struiny gidravlicheskiy smesitel'* [Inkjet Hydraulic Mixer]. Pat. RF no. 159236, 2016. [in Russian].
- 8 Galiakbarov V.F., Galiakbarova E.V., Mustafin K.M. *Struiny gidravlicheskiy smesitel'* [Inkjet Hydraulic Mixer]. Pat. RF no. 169527, 2017. [in Russian].
- 9 Galiakbarov V.F., Galiakbarova E.V., Valyavin G.G. *Primenenie usovershenstvovannogo smesitelya SGS Iya uluchsheniya protsessov khraneniya, podgotovki i pererabotki nefii* [Use advanced jet hydraulic mixer for improvement processes storage, preparation and petroleum refining]. *Mezhdunarodnyi nezavisimiy institut Matematiki i Sistem «MiS» — International Independent Institute of Mathematics and Systems «M&S»*, 2014, no. 8, pp. 10–11. [in Russian].
- 10 Galiakbarov V.F., Galiakbarova E.V., Valyavin G.G. [Improving the storage and processing of oil for refining]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Informatsionnye tekhnologii. Problemy i resheniya»* [Materials of International Scientific and Practical Conference «Information Technologies. Problems and Solutions»]. Ufa, Vostochnaya pechat' Publ., 2014, Add. Vol., pp. 27. [in Russian].
- 11 Galiakbarova E.V., Galiakbarov V.F., Shvareva E.N. [Intensification of dehydration, desalting and alkalization of oil during the introduction of vortex devices in ELOU mixing equipment]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy i metody obespecheniya nadezhnosti i bezopasnosti system transporta nefii, nefteproduktov i gaza» 20–23 maya 2015 g.* [Materials of international scientific and practical conference «Problems and ways of ensuring safety and reliability of oil/product/gas transporting systems». 20–23 May 2015]. Ufa, 2015, pp. 97–99. [in Russian].
- 12 Galiakbarov V.F., Galiakbarova E.V., Shvareva E.N., Belozero A.E., Zholobova G.N. [Increasing the efficiency of dehydration, desalting and alkalization of oil in ELOU mixing equipment]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Informatsionnye tekhnologii. Problemy i resheniya»* [Materials of International Scientific and Practical Conference «Information Technologies. Problems and Solutions»]. Ufa, Vostochnaya pechat' Publ., 2015, T. 1, pp. 188–190. [in Russian].
- 13 Galiakbarova E.V., Shvareva E.N., Belozero A.E., Bakhtizin R.N., Zholobova G.N., Galiakbarov V.F. [The calculation of parameters of the mixing apparatus with a vortex devices by methods of mathematical statistics and pattern identification for the quality oil desalting in CDU]. *Neftegazovoye delo — Oil and Gas Business*, 2015, no. 2, pp. 230–265. Available at: http://www.ogbus.ru/issues/2-2015/ogbus-2-2014_p230-265_GaliakbarovaEV_ru.pdf. [in Russian].
- 14 Galiakbarova E.V., Bakhtizin R.N., Galiakbarov V.F. [Use jet hydraulic mixer for intensification of the process preparation of oil to processing]. *Neftegazovoye delo — Petroleum Engineering*, 2016, T. 14, no. 1, pp. 145–149. [in Russian].
- 15 Sidorov G.M., Yakhin B.A., Akhmetov R.F. [Modeling process of static mixers (oil-water) for desalting crude oil and pilot-industrial testing]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Advances in current natural sciences*, 2017, no. 2, pp. 152–156. [in Russian].
- 16 Galiakbarov V.F., Telyashev G.G., Yakhin B.A., Marushkin A.B., Gerasimov A.A., Alekseev R.A. [Experience jet hydraulic mixer for oil at OJSC «BASHNEFT»]. *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanykh kompanii — World of Oil Products. The Oil Companies' Bulletin*, 2015, no. 10, pp. 35–37. [in Russian].
- 17 Levich V.G. *Fiziko-khimicheskaya gidrodinamika* [Physico-chemical hydrodynamics]. Moscow, Izd-vo fiz.-mat. literatury, 1959, 699 p. [in Russian].
- 18 Sedov L.I. *Mekhanika sploshnoi sredy* [Continuum mechanics]. T. 2. Moscow, Nauka Publ., 1970. 568 p. [in Russian].

Галиакбарова Э. В., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры математики ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация
E. V. Galiakbarova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of Mathematics Chair, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation
e-mail: emi.galiakbar@yandex.ru

Бахтизин Р. Н., доктор физико-математических наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация
R. N. Bakhtizin, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Rector, FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Гималтдинов И. К., доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация
I. K. Gimaltidinov, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Chair «Physics», FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation

Галиакбаров В. Ф., доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и инженерная кибернетика» ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа, Российская Федерация
V. F. Galiakbarov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Computer Engineering and Engineering Cybernetics», FSBEI HE «USPTU», Ufa, Russian Federation