

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУЙНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ К ПЕРЕРАБОТКЕ

USE JET HYDRAULIC MIXER FOR INTENSIFICATION OF THE PROCESS PREPARATION OF OIL TO PROCESSING

В статье показывается, что повышение эффективности работы установок подготовки нефти к переработке возможно за счет интенсификации массообменных процессов в струйных гидравлических смесителях с завихрителями потоков при низких удельных энергозатратах. Научно-производственное предприятие «НТ-Центр» и УГНТУ разрабатывает, изготавливает и внедряет струйные гидравлические смесители, использующие гидродинамическую энергию потоков жидкостей, например, нефти и воды с добавками, для интенсификации таких процессов подготовки нефти к переработке, как обессоливание и защелачивание. Лучшее качество смешения нефти и воды с добавками (демульгаторами, щелочными реагентами или другими компонентами) достигается взаимодействием вихревых потоков в струйных гидравлических смесителях. Это позволяет экономить электроэнергию, промывочную воду с добавками, минимизировать коррозию и износ оборудования не только установок подготовки нефти к переработке, но и оборудования систем транспорта, хранения и переработки нефти. Анализируется преимущество использования данных струйных гидравлических смесителей по сравнению с отечественными и зарубежными смесителями в установках подготовки нефти к переработке. Преимуществами струйных гидравлических смесителей научно- производственного предприятия «НТ-Центр» являются:

1. Высокая скорость и качество смешения при отсутствии потребления дополнительной электроэнергии; работают за счет части потенциальной энергии потока подводящей трубопроводной системы; могут устанавливаться на потоке любой производительности.
2. Конструкции смесителей характеризуются отсутствием подвижных, вращающихся частей, надежны, просты в монтаже и обслуживании, имеют длительный срок службы. Эксплуатация смесителей в установках подготовки нефти к переработке не вызывает дополнительных вибраций.

Increasing of the unit operation efficiency for oil processing, probably at the expense of the mass-exchanging process intensification in jet hydraulic mixers with flow energizer at a low specific power consumption is shown in the article. Research and manufacturing enterprise «RT-Centre» and USPTU work out, produce and introduce jet hydraulic mixers, using hydrodynamical energy of fluid flows, for example, oil and water with additives for intensification such processes of oil processing preparation as desalting and overcalinity. The best quality of oil and water mixture with additives (demulsification agents, alkaline agents and others components) is achieved with the help of the turbulent flows interaction in jet hydraulic mixers. This allows to save energy, drilling water with additives, to minimize corrosion and wearing out of the equipment not only of units for oil processing preparation, but also equipment of transporting system, storage and oil preparation. The benefits of the jet hydraulic mixers in comparison with the home and foreign mixers in the units of the oil processing preparation are analyzed here. The benefits of the jet hydraulic mixers of research and manufacturing enterprise «NR Centre» are:

1. High velocity and quality of the mixture in the absence of the additional energy of consumption; work at the expense of the part of gravitation energy of the supply main flow; may be installed on the flow of any productivity.
2. Mixer designs are characterized by the absence of moveable, rotating parts, they are reliable, simple in mounting and servicing, have long service life. Mixer operation in the units of the oil processing operation doesn't give rise to the additional vibration.

Галиакбарова Э. В., Бахтизин Р. Н.,
Галиакбаров В. Ф.
ФГБОУ ВПО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет», г. Уфа,
Российская Федерация
ООО НПП «НТ-Центр»,
г. Уфа, Российская Федерация

E. V. Galiakbarova, R. N. Bakhtizin,
V. F. Galiakbarov
FSBEI HPE «Ufa State Petroleum
Technological University»,
Ufa, the Russian Federation
RPE «ST-Centre» LLC,
Ufa, the Russian Federation

Ключевые слова: процессы смешения, установки подготовки нефти к переработке, струйные гидравлические смесители.

Key words: mixture, units of the oil processing preparation, jet hydraulic mixers.

Большинство месторождений России находятся на поздней стадии разработки, из которых добываются тяжелые и высоковязкие нефти, с высоким содержанием асфальтенов, нафтенов, смол а также механических примесей – частиц глины, песка, известняка и металлов. При существующих способах добычи нефти пластовая вода диспергируясь в нефти, образует с ней эмульсии. Пластовая вода минерализована хлоридами натрия, магния и кальция, составляющими до 4000 мг/л.

Наличие в нефти данных веществ и механических примесей оказывает вредное влияние на работу оборудования систем транспорта, хранения, подготовки и переработки нефти. Актуальной темой исследования является разработка оборудования для улучшения качества очистки нефти с минимальными энергозатратами.

Обессоливание нефти первичное проводят на нефтяных промыслах [8], преимущественно в электродегидраторах. Качество товарной нефти по ГОСТу определяется содержанием в ней солей: I группа качества соответствует содержанию солей не более 100 мг/л; II группа качества – 300 мг/л; III группа качества – 1800 мг/л. Обессоливание нефти вторичное проводят в несколько ступеней на

электрообессоливающих установках при нефтеперерабатывающих заводах. Содержание солей в нефти после установок подготовки нефти к переработке снижается до 3-4 мг/л.

Процесс обессоливания нефти заключается в тщательном перемешивании (промывки) ее определенным количеством пресной воды (расход пресной промывочной воды колеблется в зависимости от качества исходной нефти от 3 до 10%), в сочетании с деэмульгаторами. При этом происходит слияние мелких капель минерализованной пластовой воды с каплями промывочной пресной воды. Затем осуществляется деэмульсация полученной водонефтяной эмульсии, например, электрическим методом, в электродегидраторах.

Щелочная обработка нефти на установках подготовки нефти [9] к переработке производится введением в обессоленную нефть (или частично обессоленную нефть) щелочного раствора. Защелачиванием нефти достигается снижение хлористоводородной коррозии, уменьшение содержания хлоридов в продуктах, поступающих на риформинг. В процессе защелачивания устанавливается оптимальная дозировка щелочных реагентов по результатам опытных пробегов установки. Фактический расход щелочи намного выше технологически обоснованного, в основном, из-за трудностей обеспечения тщательного смешения водного раствора щелочного реагента с нефтью. Излишнее количество щелочных реагентов приводит к побочным последствиям:

1) щелочное коррозионное растрескивание металла и увеличение вероятности прогара печных труб;

2) повышение содержания Na в мазуте и гудроне, что нежелательно для дальнейшей глубокой переработки нефти, и, в частности, обуславливает повышенное коксообразование в технологическом оборудовании процесса висбрекинга.

Для эффективной обработки нефти водным раствором щелочи необходимо обеспечить многократное дробление капель водного раствора и их распределения в объеме нефти для осуществления контакта, как с глобулами остаточной воды в объеме нефти (с растворенными в ней хлоридами), так и с находящимися в нефтяной фазе молекулами хлорорганических соединений. При недостаточном диспергировании водного раствора щелочного реагента значительно уменьшается площадь взаимодействия его с нефтью, а также повышается расход воды и щелочного реагента.

Процессы обессоливания или защелачивания нефти в установках подготовки нефти к переработке предполагают смешение нефти и воды с добавками (деэмульгатором, щелочным реагентом или другими компонентами) [6, 7, 8, 9].

Научно-производственное предприятие

«НТ-Центр» и УГНТУ ведет разработку и производство струйных гидравлических смесителей (СГС) для интенсивного смешения жидкостей [1, 2, 3]: 1) Смесители «нефть-вода», условное обозначение СГС (Н-В), которые предназначены для смешения нефти и воды с деэмульгаторами, приводят к повышению эффективности работы оборудования по обессоливанню нефти; 2) Смесители «нефть-щелочь», условное обозначение СГС (Н-Щ), которые предназначены для смешения нефти и щелочного реагента или других компонентов, приводят к повышению эффективности работы оборудования по защелачиванию нефти в установках подготовки нефти к переработке. Данные смесители устойчивы к воздействию климатических факторов внешней среды, пожаробезопасны, надежны и эффективны.

В смесителях СГС (Н-В) и СГС (Н-Щ) происходит интенсификация массообменных процессов, без дополнительных энергозатрат, за счет активации турбулентной диффузии в сталкивающихся закрученных потоках нефти и воды с добавками.

На рисунке 1 представлены смесители СГС (Н-В) и СГС (Н-Щ).



Рисунок 1. Смесители СГС (Н-В) и (Н-Щ)

Составлена стохастическая расчетная модель геометрических и гидродинамических параметров смесителей СГС (Н-В), СГС (Н-Щ) на основе [10, 11, 13]. Для оценки эффективности очистки нефти использовался безразмерный показатель $P_{эф}$, равный отношению содержания очищаемой примеси в нефти до и после установки подготовки нефти к переработке

$$P_{эф} = \frac{C_{вх} - C_{вых}}{C_{вх}} \quad (1)$$

Исходя из физических соображений процесса смешения нефти и воды с добавками в струйном гидравлическом смесителе с завихрителями по-

токов в качестве основных физических величин, влияющих на показатель $P_{эф}$, приняты следующие: перепад давления по воде Δp_p , перепад давления по нефти Δp_n ; плотность нефти ρ_{nd} , плотность воды с добавками ρ_{ld} ; диаметры отверстий подачи воды d_l и нефти d_n ; линейная и тангенциальная скорости подачи воды v_{nl}, v_t и нефти v_{ln}, v_{tn} в область смешения; динамическая вязкость воды с добавками μ_{ld} , динамическая вязкость нефти μ_n ; поверхностные натяжения на границе раздела фаз «нефть – вода с добавками» σ_{nd} , температуры подачи воды T_l и нефти T_n , ℓ линейный размер смесителя. В величинах для воды учтены физико-химические свойства добавок (плотность, вязкость, массовая концентрация и т.д.).

Составлено уравнение связи процесса очистки нефти в критериальном виде [3, 5]:

$$F(We, Re, Eu, \Gamma_1, \Gamma_2, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7) = 0, \quad (2)$$

$$\text{где } We = \frac{\rho_n v_{nl}^2 d_l}{\sigma_{nd}}, \quad Re = \frac{v_{ln} d_n \rho_n}{\mu_n}, \quad Eu = \frac{\Delta p_n}{\rho_n v_{ln}^2},$$

$$\Gamma_1 = \frac{d_l}{\ell}, \quad \Gamma_2 = \frac{d_n}{\ell}, \quad C_1 = \frac{\Delta p_n}{\Delta p_l}, \quad C_2 = \frac{\rho_n}{\rho_{ld}}, \quad C_3 = \frac{\mu_n}{\mu_{ld}},$$

$$C_4 = \frac{v_{nl}}{v_{tl}}, \quad C_5 = \frac{v_{ln}}{v_{tn}}, \quad C_6 = \frac{v_{nl}}{v_{ln}}, \quad C_7 = \frac{T_n}{T_l}$$

Критерий Вебера We характеризует дробление капли в потоке и показывает отношение инерционной силы и силы поверхностного натяжения при движении двухфазной среды; критерий Рейнольдса Re определяет соотношение между силами инерции и силами трения в движущейся жидкости; критерий Эйлера Eu характеризует соотношение сил давления и сил инерции; симплексы C_1 и C_6 определяют расход энергии, C_2, C_3, C_7 – физико-химические свойства, C_4, C_5 – закрутку перед зоной смешения воды и нефти соответственно, Γ_1, Γ_2 – геометрические симплексы.

Расчет модели проводился по диагностической процедуре Вальда [4, 14].

Статистические данные получались с помощью стандартных средств и методов измерений в условиях эксплуатации опытного образца смесителя. В таблице приведен фрагмент расчетных данных.

Проведено численное моделирование [12] работы смесителей с помощью специализированного пакета программ FlowVision для подтверждения рациональных технологических режимов работы. По результатам численного моделирования следует, что интенсификация массообменных процессов в смесителе СГС происходит при поддержании критерия C_6 в диапазоне [5; 7], обеспечивая скрутку закрученных потоков нефти и воды с добавками.

Интенсификация массообменных процессов в смесителях СГС [1, 2, 5, 6] позволяет в несколько раз снизить расход воды, а также деэмульгатора, щелочного реагента, и при этом содержание солей в нефти после установок подготовки нефти к переработке на промыслах достигает качества I

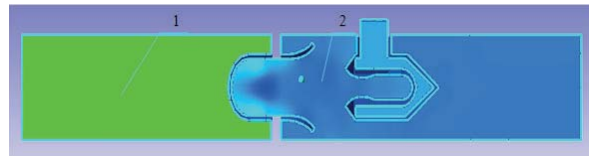


Рисунок 2. Распределение давления в устройстве (зона 1 соответствует значению давления, равному $7,5 \times 10^5$ Па, зона 2 – $0,5 \times 10^5$ Па)

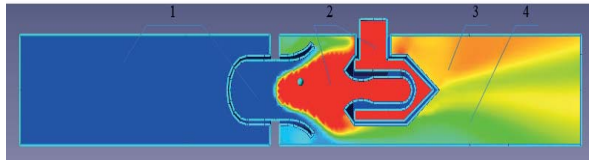


Рисунок 3. Распределение значений концентрации воды с добавкой в смеси: (продольное сечение, зона 1 соответствует значению 0 (0%), зона 2 – 0,1 (10%), зона 3 – 0,09 (9%), зона 4 – 0,07 (7%))

категории, а при нефтеперерабатывающих заводах – до 2 мг/л, количество выделявшегося НС1 снижается до 2 мг/л, что подтверждается актами внедрения. Это значительно снижает коррозию не только оборудования установок подготовки нефти к переработке, но и оборудования систем транспорта, хранения и переработки нефти.

В нефтяной промышленности наиболее распространены зарубежные и отечественные статические смесители, представленные на рисунках 4, 5: Sulzer Salomix и СПВ г. Самара.

Недостатки смесителей Sulzer Salomix: 1) устанавливаются сбоку от потока, что снижает пропускную способность магистрали; 2) используют электропотребляющие насосы, которые приводят в движение лопасти, подверженные износу и выходу из строя, в связи с высоким содержанием смол и механических примесей в нефти, добываемой в наших регионах; 3) дороговизна, малый срок службы.



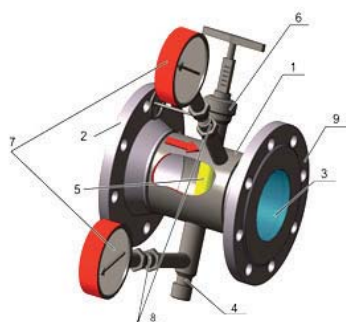
Рисунок 4. Смесители Sulzer Salomix

Недостатками смесителей СПВ является быстрое забивание солями и механическими примесями решетки турбулизатора, в силу чего малая эффективность смешения тяжелой нефти с водой.

Смесители СГС (Н-В) и СГС (Н-Щ) производства компании «НТ-Центр» имеют следующие преимущества: 1) отсутствие подвижных, вращающихся частей не вызывает вибрации; 2) не требуют подвода электроэнергии, безопасны; 3) высокая эффективность смешивания за счет рациональной организации смешиваемых

Таблица расчетных данных

We	Re	Eu	G1	G2	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	P _{эф}
38480	51778	32,4	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	5,939	3,3	0,56
38480	50929	33,5	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,038	3,3	0,48
37823	48383	37,1	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,301	3,3	0,52
37171	48383	37,1	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,247	3,3	0,46
38921	48383	37,1	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,392	3,3	0,62
38700	47534	38,4	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,488	3,3	0,69
40936	47534	38,4	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,673	3,3	0,64
40710	46685	39,8	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,775	3,3	0,71
40484	46685	39,8	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,757	3,3	0,65
39364	46685	39,8	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,662	3,3	0,76
39587	46685	39,8	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,681	3,3	0,71
39364	45836	41,3	0,0123	0,1176	0,066	0,9019	4,1818	0,0912	0,1032	6,786	3,3	0,74



- 1- Корпус
- 2 - Ввод эмульсии
- 3 - Решетка турбулизатор)
- 4 - Подача воды
- 5 - Регулируемая форсунка
- 6 - Штурвал (привод форсунки)
- 7 - Манометр
- 8 - Трехходовой кран
- 9- Вывод смеси

Рисунок 5. Смеситель пресной воды СПВ (ТУ 3667-008-79172827-2013)

потоков; 4) простота в монтаже и обслуживании; 4) долгий срок службы.

При среднем потоке нефти через один смеситель СГС (Н-В) или СГС (Н-Щ) 8-10 м³ за час, срок окупаемости его составляет примерно 3 месяца.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Струйный гидравлический смеситель: пат. 159236, Рос. Федерация / В. Ф. Галиакбаров, Э. В. Галиакбарова, Б. А. Яхин.

2 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. Безмельницын, А. Ю. Шильников, Л. П. Максимчик: пат. 2178449, Рос. Федерация.

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

4 Система обработки и визуализации многомерных данных методом последова-

тельного анализа Вальда/ Э. В. Галиакбарова, А. Е. Белозеров, В. Ф. Галиакбаров, Е. Н. Шварева, А. Г. Филиппова: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615524.

5 Галиакбаров В. Ф., Галиакбарова Э. В., Валявин Г. Г. Совершенствование процессов подготовки нефти к переработке // Энергоэффективность. Проблемы и решения: Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. 23 окт. 2014 г. Уфа, 2014. С. 107.

6 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: материалы науч.- практ. конф. 20 -23 мая 2015 г. Уфа, 2015. С. 97-99.

7 Повышение эффективности процессов обезвоживания, обессоливания и зашлачивания нефти в смесительных аппаратах ЭЛОУ/ В. Ф. Галиакбаров, Э. В. Галиакбарова, Е. Н. Шварева, А. Е.

Белозеров, Г. Н. Жолобова // Информационные технологии. Проблемы и решения: материалы междунар. науч.-практ. конф./ редкол.: Ф. У. Еникеев и др. Уфа: изд-во «Восточная печать», 2015. Т.1. С.188-190.

8 Афанасьев Е. С. Факторы стабилизации и эффективность разрушения водонефтяных эмульсий: автореф. дис.... канд. техн. наук. Астрахань, 2013. 25 с.

9 Гоев М. М. Модернизация технологии и оборудования процесса зашлачивания обессоленной нефти: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 27 с.

10 Лойцанский Л. Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов. 7-е изд., испр. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

11 Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике: учебник для вузов. 9-е изд., перераб. М.: Наука, 1981. 448 с.

12 Елизарова Т. Г. Математические модели и численные методы в динамике жидкости и газа. М.: Физ. фак-т МГУ, 2005. С.122-130.

13 Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. 12-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2009. 479 с.

Результаты и выводы

Научно-производственное предприятие «НТ-Центр» более 12 лет производит смесители СГС(Н-В) и СГС(Н-Щ), которые успешно используются на заводах России и за рубежом: ОАО «Уфимском НПЗ», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», ОАО «Газпром нефтехим Салават», ОАО «Московский НПЗ», ПАО «Лукойл Нефтохим Бургас», Ново-Суксинской УПВСН ПАО «Татнефть». Достигнуты практические результаты повышения эффективности обессоливания нефти в установках подготовки нефти на промыслах, а также обессоливания и зашлачивания нефти в установках подготовки нефти при нефтеперерабатывающих заводах.

14 Вальд А. Последовательный анализ. М., Физматлит, 1960. 328 с.

REFERENCES

1 Struinyi gidravlicheski smesitel': pat. 159236, Ros. Federacija / Galiakbarov V. F., Galiakbarova Ye. V., Jahin B. A. [in Russian].

2 Sostav dlja obezvozhivaniya i obessolivaniya nefiti i sposob ego primeneniya v ustroistve dlja razrusheniya vodoneftjanyh yemul'sii: pat. 2178449, Ros. Federacija./ Galiakbarov V. F., Galiakbarov M. F., Lopatin I. F., Hmel'nik A. YU., Bezmel'nicyn V. S., SHil'nikov A. YU., Maksimchik L. P. [in Russian].

3 Raschet parametrov smesitel'nogo apparata s vihrevymi ustroistvami metodami matematicheskoj statistiki i raspoznavaniya obrazov dlja kachestvennogo obessolivaniya nefiti v YeLOU/ Ye. V. Galiakbarova, E. N. SHvareva, A. E. Belozeroz, R. N. Bahtizin, G. N. Zholobova, V. F. Galiakbarov // Neftegazovoe delo: yelektron. nauch. zhurn. 2015. № 2. S. 230 – 265. URL: http://www.ogbus.ru/issues/2-2015/ogbus-2-2014_p230-265_Galiakbarova_E_V_ru.pdf [in Russian].

4 Sistema obrabotki i vizualizacii mnogomernyh dannyh metodom posledovatel'nogo analiza Val'da: Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja YeVM № 2015615524 / Ye. V. Galiakbarova, A. E. Belozeroz, V. F. Galiakbarov, E. N. SHvareva, A. G. Filippova. [in Russian].

5 Galiakbarov V. F., Galiakbarova Ye. V., Valjavin G. G. Sovershenstvovanie processov podgotovki nefiti k pererabotke // Yenergoyeffektivnost'. Problemy i resheniya: Materialy XIV Mezhdunar. Nauch.- prakt. Konf. 23 okt. 2014 g. – Ufa, 2014. S. 107. [in Russian].

6 Galiakbarova Ye. V., Galiakbarov V. F., SHvareva E. N. Intensifikacija processov

obezvozhivaniya, obessolivaniya i zashelachivaniya nefiti pri vnedrenii vihrevyh ustroystv v smesitel'nyh apparatah YeLOU// Problemy i metody obespecheniya nadezhnosti i bezopasnosti sistem transporta nefiti, nefteproduktov i gaza: Materialy nauch.- prakt. Konf. 20-23 maja 2015 g. Ufa, 2015. S. 97-99. [in Russian].

7 Povyshenie yeffektivnosti processov obezvozhivaniya, obessolivaniya i zashelachivaniya nefiti v smesitel'nyh apparatah YeLOU/ V. F. Galiakbarov, Ye. V. Galiakbarova, E. N. SHvareva, A. E. Belozeroz, G. N. Zholobova // Informacionnye tehnologii. Problemy i resheniya: materialy Mezhdunar. Nauch. – prakt. Konf./ redkol.: F.U. Enikeev i dr. Ufa: izd-vo «Vostochnaja pechat'», 2015. T.1. S.188-190. [in Russian].

8 Afanas'ev E. S. Faktory stabilizacii i yeffektivnost' razrusheniya vodoneftjanyh yemul'sii: avtoreferat dis.... kand tehn. Nauk. Astrahan', 2013. 25 s. [in Russian].

9 Goev M. M. Modernizacija tehnologii i oborudovaniya processa zashelachivaniya obessolenoj nefiti: avtoref. dis.... kand. tehn. Nauk. M., 2012. 27 s.

10 Loicjanskii L. G. Mehanika zhidkosti i gaza: uchebnik dlja vuzov. 7-e izd., ispr. M.: Drofa, 2003. 840 s. [in Russian].

11 Sedov L. I. Metody podobija i razmernosti v mehanike: uchebnik dlja vuzov. 9-e izd., pererab. M.: Nauka, 1981. 448 s. [in Russian].

12 Elizarova T. G. Matematicheskie modeli i chislennye metody v dinamike zhidkosti i gaza. M.: Fiz.fak. MGU, 2005. S.122-130. [in Russian].

13 Gmurman V. E. Teorija verojatnostei i matematicheskaja statistika: ucheb. posobie dlja vuzov – 12-e izd., pererab. i dop. M.: YUrait, 2009. 479 s. [in Russian].

14 Val'd A. Posledovatel'nyi analiz. M., Fizmatlit, 1960. 328 s. [in Russian].

Галиакбарова Э. В., канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Математика», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

E. V. Galiakbarova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Chair «Mathematics», FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Бахтизин Р. Н., д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры «Математика», действительный член РАЕН, член-корреспондент АН Республики Башкортостан, ректор ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

R. N. Bakhtizin, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Chair «Mathematics», member of the Academy of Natural Sciences, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan Ufa, Rector FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Галиакбаров В. Ф., д-р техн. наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и кибернетика», ФГБОУ ВПО УГНТУ, генеральный директор ООО НПП «ИТ-Центр», г. Уфа, Российская Федерация

V. F. Galiakbarov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair «Computer Science and Cybernetics», FSBEI HPE USPTU, Director General of RPE «IT-Centre» LLC, Ufa, the Russian Federation