

УДК 622.276.8

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СМЕСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ

**DESIGN JUSTIFICATION OF THE MIXING DEVICE FOR EFFECTIVIZATION
OF OIL DEHYDRATION AND DESALTING**

И. Ю. Быков, Е. В. Казарцев, Т. Д. Ланина

I. Yu. Bykov, E. V. Kazartsev, T. D. Lanina

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

Филиал компании «ЛУКОЙЛ Мид – Ист Лимитед» в Басре, Республика Ирак

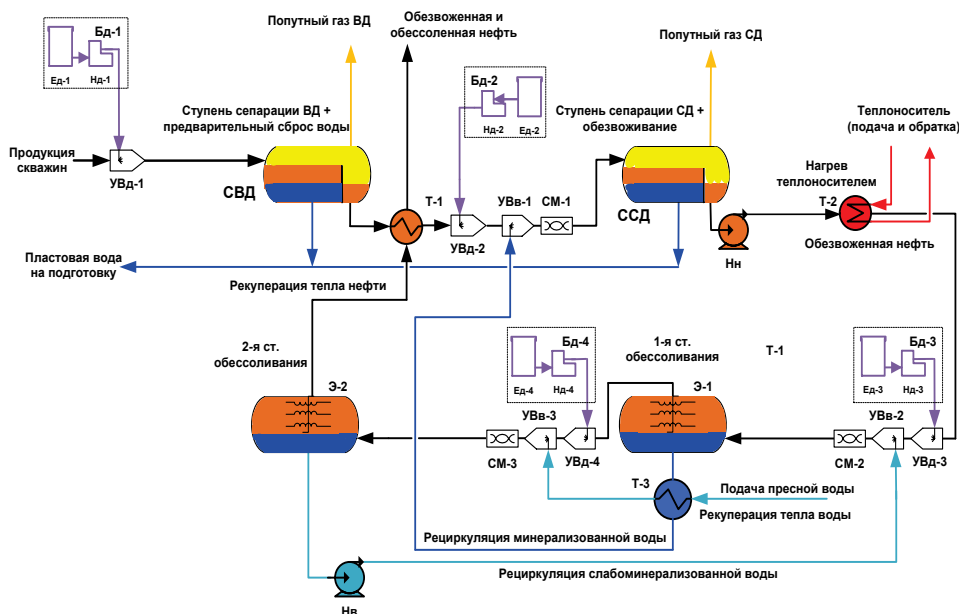
*Ключевые слова: обезвоживание и обессоливание нефти; деэмульсация; деэмульгатор;
гидродинамический режим; модернизация смесительного оборудования*
*Key words: oil dehydration and desalting; demulsification; demulsifier; hydrodynamical mode;
modernization of mixing equipment*

С каждым годом доля трудно извлекаемых запасов в общем объеме углеводородов увеличивается, что требует дополнительных затрат энергии и материалов на их подготовку к переработке, поскольку эти углеводороды характеризуются повышенной плотностью и вязкостью и операции по интенсификации их добычи способствуют образованию нефтяной эмульсии из-за наличия искусственных стабилизаторов. В условиях нестабильных цен на рынке топливно-энергетических ресурсов нефтяные компании стремятся повысить эффективность производства, ищут пути сокращения издержек в условиях жесткой конкуренции. Перспективное направление в сокращении затрат — оптимизация и повышение эффективности технологических процессов.

Среди всех этапов нефтяного производства именно подготовка нефти обеспечивает качество товарного продукта, а, соответственно, и формирует его цену, при этом основным показателем качества нефти является содержание в ней балласта (воды, хлористых солей и механических примесей). Содержание этих компонентов снижается до требуемых норм благодаря проведению технологических операций обезвоживания и обессоливания нефти. Обезвоживание (деэмульсация) заключается в отделении эмульгированной пластовой воды из нефти, а обессоливание — в смешении обезвоженной нефти с определенным количеством пресной воды и последующей повторной деэмульсации. При этом в ходе отделения воды вместе с ней выводится и большая часть механических примесей. Для деэмульсации используется метод гравитационного отстоя, дополняемый химическим, термическим и электрическим воздействиями для ускорения этого процесса.

Ступени деэмульсации установки подготовки нефти (УПН) являются типовыми, имеют все три вида воздействия для общего случая подготовки нефти (рис. 1).

Относительно деэмульсационного оборудования установка имеет ступень обезвоживания (трехфазный сепаратор ССД), первую (электродегидратор Э-1) и вторую (электродегидратор Э-2) ступени обессоливания. Температурному воздействию сырая нефть подвергается перед ступенью обезвоживания (теплообменник Т-1) и перед первой ступенью обессоливания (теплообменник Т-2), сбрасываемая с первой ступени обессоливания вода отдает тепло пресной воде в теплообменнике Т-3.



*Рис. 1. Ступени деэмульсации с технологическими потоками типовой УПН:
 СВД, ССД — сепараторы высокого и среднего давления; Т — теплообменник;
 Э — электро-дегидраторы; Бд — блок дозирования; Ед — емкость деэмульгатора;
 Нд — насос дозировочный, Нн — насос питающий нефтяной, Нв — насос рециркуляции
 воды; УВд, УВв — устройства ввода деэмульгатора и воды; СМ — смеситель*

Электрическое воздействие на эмульсию происходит в электродегидраторах Э-1, 2. Химическое воздействие начинается еще перед установкой на входе (Бд-1) и дополняется перед каждой ступенью деэмульсации (Бд-2, 3, 4). Вымывание хлористых солей из нефти осуществляется в две ступени: на первой ступени промывка производится рециркуляцией частично минерализованной воды, сбрасываемой со второй ступени, а на второй ступени соли окончательно вымываются пресной водой. Для диспергирования деэмульгатора и промывной воды в обрабатываемый поток нефти применяются устройства ввода УВд и УВв, а для гомогенизации смеси — смесители СМ. Для преодоления гидравлических сопротивлений при перекачке сырья, деэмульгатора и промывной воды используются насосы Нн, Нд и Нв.

В общем случае производственные затраты складываются из затрат на тепловую энергию или сырье (углеводороды для выработки тепла), материалы (химические реагенты для деэмульсации и пресную воду для вымывания солей), электрическую энергию для создания электрического поля и работы перекачивающих насосов. Если в условиях нефтяного промысла затраты на термическое и электрическое воздействия могут быть сокращены за счет использования собственной тепловой и электрической энергии, полученной при утилизации попутного нефтяного газа в котельных, печах нагревателях и электростанциях, то сложнее обстоят дела с сокращением затрат на деэмульгаторы, поскольку компенсировать сокращение их расхода при условии сохранения приемлемого качества нефти за счет повышенной температуры и повышенной напряженности электрического поля при уже найденных до этого оптимальных режимах невозможно.

В таких условиях популярным методом сокращения затрат на химреагентность является подбор технологически более эффективных, позволяющих снизить дозировку, или более дешевых марок деэмульгаторов по методике «BottleTest» или по аналогичным отечественным методикам [1]. Однако результаты лабораторных работ по подбору эффективных деэмульгаторов и оценка технологического режима УПН в сравнении с результатами опытно-промышленных испытаний деэмуль-

гаторов, проведенных в 2011–2012 гг. на объектах подготовки нефти ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», показали ограниченность направления сокращения затрат на деэмульгатор только при подборе новых марок и выявили потенциал для сокращения химического воздействия за счет оптимизации гидродинамической структуры технологических потоков в оборудовании УПН [2].

Одно из направлений оптимизации гидродинамического режима деэмульсации заключается в искусственном создании условий, способствующих наиболее быстрому и полному прохождению следующих этапов:

- распределение деэмульгатора в объеме нефтяной эмульсии;
- разрушение бронирующих слоев;
- столкновение глобул воды;
- слияние и выделение их из нефтяной фазы природных и искусственно создаваемых эмульсий [3].

Очевидно, что от реализации именно первого этапа зависит успешность дальнейших стадий и конечный результат, поэтому он в этой цепочке является ключевым для интенсификации всего процесса и реализуется посредством диспергирования деэмульгатора в обрабатываемом потоке нефтяной эмульсии. В идеале необходимо стремиться к организации такого гидродинамического режима, при котором в отстойник поступают уже подготовленные к разделению фазы, а в нем происходит только их разделение. Это позволит сократить необходимое время для отстоя и увеличить производительность имеющегося отстойного оборудования, уменьшить расход деэмульгатора и снизить температуру нагрева, а в итоге повысить эффективность всего комплекса операций.

Эффективность процесса вымывания хлористых солей из нефти повышается за счет увеличения дисперсности промывной воды при ее вводе и повышения однородности компонентов при их смешении, поскольку при недостаточном диспергировании промывной воды значительно уменьшается площадь взаимодействия воды и нефти, повышается ее расход [4].

Таким образом, эффективность обезвоживания и обессоливания нефти тесно связана с характеристиками процесса перемешивания, так как только при этом достигается равномерное во всем объеме распределение фаз или смешиваемых компонентов и обеспечивается их тесное взаимодействие. Полученная в результате перемешивания смесь нефти, воды и деэмульгатора образует систему, в дальнейшем используемую в технологических процессах обезвоживания и обессоливания, скорость протекания зависит от качественной и количественной характеристик — эффективности и интенсивности.

Под эффективностью перемешивания понимают технологический эффект процесса перемешивания, характеризующий качество проведения процесса, выражающегося при получении эмульсии в равномерности распределения и дисперсности фазы, а при смешивании растворимых жидкостей — в однородности концентрации получаемого раствора. Интенсивность перемешивания определяется расходом энергии, подводимой в единицу времени к единице объема или массы перемешиваемой жидкости, исходя из условий достижения максимального технологического эффекта при минимальных энергозатратах [5].

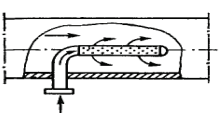
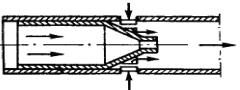
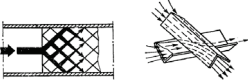
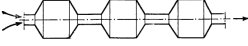
Для обработки сырой нефти деэмульгатором и промывной водой используются устройства, объединенные в одну группу, — статические смесители, конструкция которых должна обеспечивать эффективное распределение добавочных компонентов в потоке нефти при низких затратах энергии, а с учетом того, что в статических смесителях используется энергия потока, — иметь низкое сопротивление.

Статические смесители относятся к устройствам непрерывного действия, отличаются от смесителей других типов (барабанные, роторные) высокой эффективностью смешения, низкими капитальными и эксплуатационными затратами, малым потреблением электроэнергии, небольшими размерами. Термин «статические смеси-

тели» используется в связи с тем, что в устройствах данного типа отсутствуют движущиеся части. Тем не менее, конструкции смесителей обеспечивают многократную перестройку поля скоростей и изменение направления линий тока компонентов, вследствие чего и достигается значительное увеличение поверхности раздела.

Таблица 1

Конструкции диспергирующих и смесительных устройств

Тип элемента	Эскиз или схема устройства	Принцип работы, особенности	Преимущества	Недостатки
Инжектор		Нагнетание компонента под давлением в основной поток через сопло в виде струй	Низкое гидравлическое сопротивление для основного потока	Повышенное давление нагнетания компонента, для формирования струи Неравномерность распределения компонента по сечению потока
Эжектор		Подсасывание компонента в основной поток за счет разницы давлений, создаваемой диффузором	Низкое давление нагнетания компонента	Высокое сопротивление для основного потока Низкая дисперсность компонента
Винтовые и спиральные элементы		Расщепление и переориентация слоев, под воздействием поочередной разнонаправленной кривки потока	Увеличение поверхности вставкой дополнительных элементов	Увеличение сопротивления по мере увеличения количества элементов
Пластиначатые и гофрированные элементы (насадки)		Многократное разделение и рекомбинация потоков за счет изменения первоначального направления	Высокая однородность смеси, дисперсность компонентов Компактность	Высокое сопротивление для основного потока
Промежуточные полые камеры		Рекомбинация слоев за счет постоянного изменения и выравнивания полей скоростей и температур	Простота конструкции	Большие размеры и металлоемкость
Корпус переменного профиля				Низкая дисперсность компонентов
Диафрагмы				
Турбулизирующие и вихреобразующие вставки		Формирование вихрей с помощью тел обтекания	Высокая надежность	Низкая дисперсность компонента
Смесительные клапаны		Формирование Турбулентных течений за счет струи, создаваемой регулируемым сужающим устройством — затвором клапана	Возможность регулирования интенсивности смешения	Высокое гидравлическое сопротивление для основного потока Большая металлоемкость

Существует большое количество конструкций статических смесителей с разнообразными смесительными элементами: винтовыми вставками, промежуточными камерами, пластиначатыми и гофрированными элементами и т. п. В таблице 1

представлены особенности конструкции, преимущества и недостатки статических смесителей, при этом используется классификация из источника [6], в котором приведены данные о современных конструкциях отечественных и ведущих мировых производителей, а также о новых и перспективных разработках, полученные при патентных исследованиях. Для каждого типа статических смесителей характерна индивидуальная картина смешения, однако общим является достижение увеличения поверхности раздела между компонентами смеси двумя способами: за счет сдвигового течения и за счет расщепления и переориентации (рекомбинации) потоков жидкости.

Одной из проблем смешения компонентов при обезвоживании и обессоливании является высокая дисперсность введенных компонентов. Чем более интенсивный режим смешения применяется, тем более стойкая эмульсия образуется, так как по закону Стокса для ламинарного режима в отстойнике размер капель является наиболее значащим фактором, влияющим на скорость осаждения капель воды [5]

$$W = \frac{gd^2(\rho_v - \rho_n)(\mu_v + \mu_n)}{6\mu_n(2\mu_n + 3\mu_v)}, \quad (1)$$

где W — скорость свободного осаждения капель воды; g — ускорение свободного падения; d — диаметр капель воды; ρ_n, ρ_v — плотности нефти и воды; μ_n, μ_v — вязкости нефти и воды.

При этом осаждение может быть осложнено высокой плотностью и вязкостью нефти, а также другими факторами, сопутствующими добыче тяжелых и высоковязких нефтей и дополнительно стабилизирующими нефтяную эмульсию искусственными стабилизаторами (механическими примесями в виде песка, глины, продуктов коррозии; не прореагировавшими реагентами).

Стремясь добиться лучшего перемешивания деэмульгатора и пресной воды в объеме нефти за счет турбулизации смешиваемых потоков, нередко получают негативный эффект — увеличение стойкости эмульсии. На рисунке 2 в виде графика представлены результаты тестирования режимов различной интенсивности смешения промывной воды с обезвоженной нефтью на блоке обессоливания УПН, принципиальная схема (см. рис. 1).

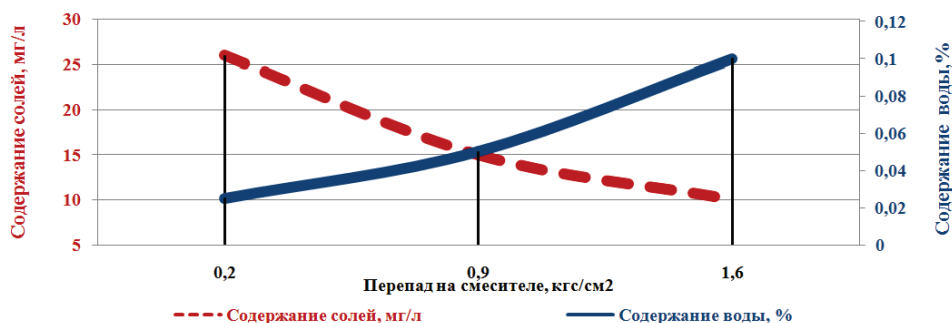


Рис. 2. Зависимость качества нефти от интенсивности смешения нефти и вод

Изменение интенсивности смешения производилось регулировкой перепада на смесительных клапанах от 0,2 до 1,6 кгс/см² при прочих равных условиях, что позволило определить оптимальный режим смешения, соответствующий перепаду в 0,9 кгс/см² и оптимальному качеству нефти, соответствующему содержанию воды в 0,05 % и хлористых солей в 15 мг/л.

Эксперимент наглядно показал ограниченность эффективности смешения за счет повышения интенсивности, то есть при низкой интенсивности (левая зона графика) качество нефти ухудшается из-за недостаточной промывки нефти от солей, а при высокой интенсивности (правая зона графика) излишняя промывка делает нефтяную эмульсию более стабильной. В обоих случаях для повышения каче-

ства нефти требуется повышать степень воздействия на эмульсию дезэмульгатором, нагревом, электрическим полем, временем воздействия, что в условиях постоянства объема отстойника вынуждает снижать производительность, не говоря уже о высоких энергетических затратах самого процесса смешения, и здесь не может быть никакого сокращения затрат.

Из этого следует, что целесообразнее повышать изначальное диспергирование компонентов при вводе в обрабатываемый поток, снижая интенсивность перемешивания, при этом недостаток фактора перемешивания должен быть компенсирован фактором диспергирования в достаточной степени, чтобы не снизить однородность распределения компонентов в обрабатываемом потоке. Этого можно достичь, используя инжекционные устройства смешения.

К тому же для всех устройств, кроме инжекционных, характерно высокое гидравлическое сопротивление, поскольку на смесительных элементах этих устройств и расходуется энергия основного потока, обеспечивая тем самым требуемую дисперсность компонентов. Возникающий перепад давления в таких устройствах приводит к дополнительным энергетическим затратам в виде повышенного давления нагнетания основного потока за счет применения насосов, преимущественно центробежного типа, где на рабочих колесах происходит интенсивное дробление капель, образуется стойкая эмульсия.

Учитывая, что при обезвоживании и обессоливании нефти расходы вводимых компонентов в десятки (для промывной воды), а то и в десятки тысяч (для дезэмульгатора) раз меньше, чем обрабатываемого потока нефти, то и мощности насосов прокачки компонента через инжектор затрачивается гораздо меньше, чем на прокачку обрабатываемого потока через смесительные элементы устройств других типов.

$$Q_o \gg Q_k \Rightarrow N_o > N_k, \quad (2)$$

где Q_o , Q_k — расходы обрабатываемого потока и компонента; N_o , N_k — гидравлические мощности насосов при прокачке основного потока и компонента.

В общем случае гидравлическая мощность насоса определяется как

$$N = \Delta P \cdot Q \cdot \rho \cdot g, \quad (3)$$

где ΔP — потеря гидравлического напора в сети; Q — расход потока жидкости; ρ — плотность прокачиваемой среды; g — ускорение свободного падения.

Инжекционные устройства с точки зрения энерго-эффективности выгодно отличаются от других устройств, поскольку практически не создают перепада давления обрабатываемому потоку, а энергия лишь расходуется на преодоление перепада давления на соплах устройства, которые формируют струи. Однако у инжекционных устройств есть существенное ограничение. Они применяются лишь для перемешивания низковязких материалов при условии создания потоков с достаточно высоким значением критерия Рейнольдса ($Re > 2000$) [6], в то время как существует необходимость ввода рабочих агентов в достаточно вязкие эмульсии, объем которых неуклонно возрастает. Данное ограничение инжекторов обусловлено несовершенством распределения (усреднения) вводимого компонента по сечению обрабатываемого потока (рис. 3 а, 3 б), так как инжектор занимает либо центральную, либо кольцевую зоны сечения труб.

Решением этой проблемы мог бы быть многослойный ввод компонента равными порциями (рис. 3 в), однако при увеличении количества точек ввода для выравнивания концентрации по сечению потока при многослойной инъекции неминуемо увеличивается гидравлическое сопротивление для обрабатываемого потока из-за возникновения преграды в виде самих инжекторных трубок, что сводит к минимуму эффективность смешения. Выходом из этой ситуации может быть разделе-

ние самого обрабатываемого потока специальными каналами с соблюдением условия эквивалентности суммарной площади сечений каналов и площади сечения основного трубопровода, что гарантирует отсутствие значимого перепада давления на устройстве.

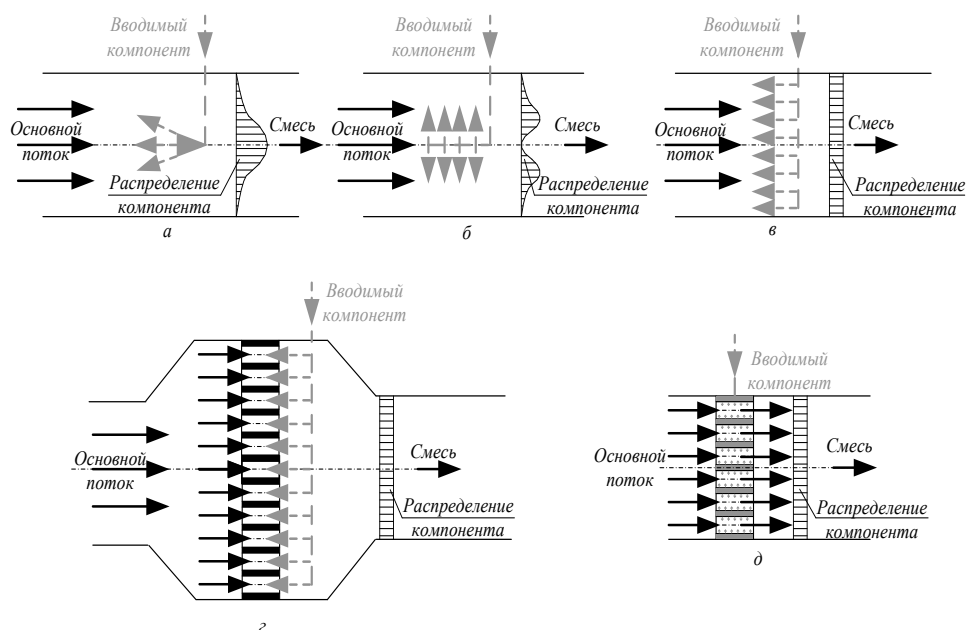


Рис. 3. Выбор оптимальной схемы инжекции компонента

Прототипом здесь может служить струевыпрямитель (рис. 4). Струевыпрямитель предназначен для успокоения потока перед расходомерами за счет снижения критерия Рейнольдса при уменьшении типоразмера трубы

$$Re = \frac{Q \cdot D_{\Sigma}}{\nu \cdot A}, \quad (4)$$

где Q — объемная скорость потока; D_{Σ} — гидравлический диаметр; ν — кинематическая вязкость среды; A — площадь сечения трубы.

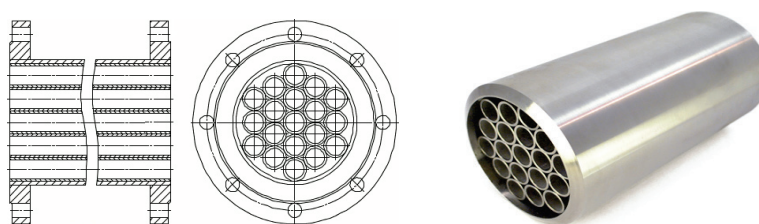


Рис. 4. Конструкция струевыпрямителя узла учета нефти

Результаты сравнительного расчета режима течения в реальном оборудовании узла учета нефти — в подводящем трубопроводе и в отдельных трубках струевыпрямителя показывают шестикратное снижение турбулентности потока (табл. 2).

Результаты расчета режима течения потока

Параметр	Ед. изм.	Подводящий трубопровод	Трубка струевыпрямителя
Расход потока	м ³ /ч	800	22,2
Объемная скорость потока	м ³ /с	0,222	0,006
Динамическая вязкость среды	сПауз	28	
Плотность среды	кг/м ³	898	
Кинематическая вязкость среды	м ² /с	0,0003118	
Гидравлический диаметр	м	0,3	0,05
Площадь сечения трубы	м ²	0,0707	0,0020
Количество труб	шт	1	36
Число Рейнольдса	—	3 026	504
Режим течения	—	турбулентный	ламинарный
Снижение турбулентности потока	разы	6	

Таким образом, использование такого технического решения, как разделение обрабатываемого потока на отдельные струи как показано на рисунке 3,г, позволит снизить интенсивность смешения за счет успокоения течения потока, трансформации его из турбулентного в ламинарный согласно (4).

Для решения проблемы подвода компонента непосредственно в каждую отдельную струю, без создания при этом гидравлического сопротивления основному потоку, необходимо применить принципиально новый подход к схеме ввода — вводить компонент не с внутренней стороны трубок разделяющих поток на отдельные струи, а с внешней, как это показано на рисунке 3 д. Это позволит соблюсти условие равной проходимости и оптимально расположить инжектирующие отверстия в стенках трубок образуемых каналов.

Проблема оптимального введения деэмульгатора без увеличения стойкости эмульсии может быть решена без использования классических в промышленной практике статических смесителей, работа которых основана на организации интенсивного перемешивания за счет создания турбулентности и вихреобразования, что влечет за собой повышение гидравлического сопротивления в смесительных устройствах. А при организации ламинарного смешения при дозировании деэмульгатора и промывке нефти пресной водой на ступенях обезвоживания и обессоливания УПН не создается перепад давления на участке трубопровода. Это позволит сократить энергетические затраты на подготовку за счет значительного сокращения давления нагнетания питающего насоса или перехода к безнасосной перекачке сырья по технологической цепочке УПН. Что также позитивно скажется на подготовке за счет исключения диспергирования нефтяной эмульсии в рабочих колесах питающего насоса (см. рис. 1, поз. «Нн»).

Вышеописанные доводы и обоснования привели к реализации конструкции смесителя, принцип работы которого отражен в заявке на изобретение «Способ струеинжекционного смешения текучих сред и устройство для его осуществления» (рис. 5) [7].

Конструкция устройства сборная, состоит из цилиндрического корпуса, выполненного из отрезка трубы стандартного сортамента, с внешней стороны которого монтируется патрубок для подвода подмешиваемой жидкости. Корпус герметизируется с торцов крышками, имеющими сквозные отверстия, количество и диаметр которых соответствует количеству и диаметру трубок, выполняющих роль каналов выпрямления струй (струевыпрямляющих каналов) потока обрабатываемой жидкости. Между трубками имеется пространство, достаточное для подвода подмешиваемой жидкости, а сами трубки имеют отверстия специальной формы для формирования необходимой длины струи. Крышки с внутренней стороны имеют кольцевые пазы для центровки как корпуса, так и отдельных трубок. Для придания гер-

метичности всей конструкции пазы уплотняются прокладочным материалом, а крышки стягиваются шпильками, устанавливаемыми в отверстия, расположенные на периферии крышек.

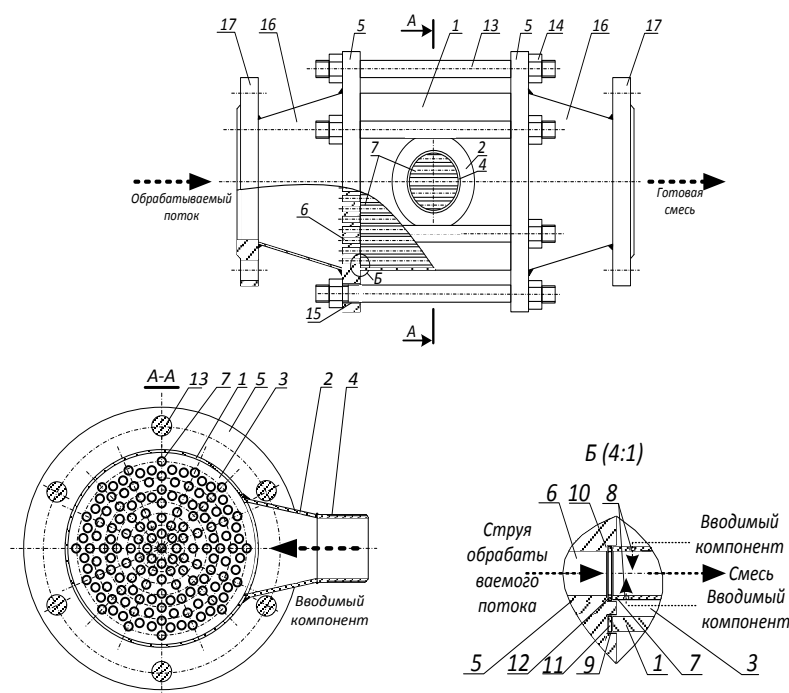


Рис. 5. Конструкция струеинжекционного смесителя:

1 — корпус; 2 — патрубок; 3 — полость; 4 — штуцер; 5 — крышки; 6 — отверстия; 7 — трубки; 8 — вводные отверстия; 9, 10 — кольцевые пазы; 11, 12 — кольцевые прокладки; 13 — шпильки; 14 — гайки; 15 — монтажные отверстия; 16 — патрубки; 17 — фланцы

К крышкам привариваются соединительные катушки с фланцами или без, в зависимости от вида монтажа — с концами «под приварку» или под фланцевое соединение трубопровода.

Обрабатываемый поток поступает в смеситель через входной монтажный фланец, попадает в диффузор распределительной камеры, образованной внутренней поверхностью переходного патрубка и перфорированной поверхностью наружной стороны крышки, распределяется по отдельным смесительным каналам, выполненным из трубок заданных размеров (длина, диаметр и толщина стенки). Режим течения в трубках меняется на более ламинарный, что создает условия послойного, невозмущенного течения, обеспечивающего малую скорость сдвига при смешивании обрабатываемого потока с добавочным компонентом. Добавочный компонент подается в смеситель через патрубок, попадает в межтрубное пространство корпуса и, омывая наружную поверхность трубок, под заданным углом и с заданной скоростью инжектируется через вводные отверстия и смешивается с обрабатываемым потоком в трубном пространстве.

Отдельные потоки полученной смеси из каналов, образованных трубками, попадают в конфузор сборной камеры, образованный аналогично распределительной камере — внутренней поверхностью переходного патрубка и перфорированной поверхностью наружной стороны крышки, где введенный добавочный компонент дополнительно перемешивается за счет вихрей, образованных сужением конфузора, после чего готовая смесь покидает смеситель через выходной монтажный фланец.

Количество, диаметр, толщина стенок и длина трубок определяют из условий обеспечения необходимой степени дисперсности смеси, ламинарного режима течения основного потока, суммарной площади поперечных сечений, равной или большей площади поперечного сечения подводящего трубопровода, а их расположение относительно друг друга — из условий равномерного охвата всей площади внутренней поверхности крышек и межтрубного пространства, достаточного для беспрепятственного движения вводимого компонента.

Количество, диаметр, форма и взаимное расположение вводимых отверстий в трубках рассчитывают, исходя из необходимого расхода добавочного компонента, что, в свою очередь, зависит от расхода обрабатываемого потока. Давление подачи добавочного компонента создает больше давления обрабатываемого потока, при этом конкретное значение разницы давлений зависит от вязкости смешиваемых сред, и его подбирают опытным путем.

Расчет основных конструктивных размеров достаточно прост, не требует специальных программ, так как основан на геометрических и гидродинамических зависимостях при соблюдении вышеуказанных условий.

Большинство деталей смесителя стандартизировано и выпускается промышленностью, а конструкция устройства проста настолько, что доступна в изготовлении средствами ремонтно-механической службы любого производственного предприятия и характеризуется компактностью и простотой в эксплуатации.

Учитывая вышеизложенное, можно рассчитывать, что предлагаемое техническое решение ввода и смешивания компонентов в обрабатываемом потоке повысит эффективность ввода и распределения деэмульгатора и промывной воды в потоке сырой нефти и впоследствии значительно улучшит процессы обезвоживания и обессоливания.

Список литературы

1. Методика выполнения измерений «Деэмульгаторы нефтяных эмульсий. Деэмульгирующая способность». — ОАО «НИИнефтепрохим». — 2006.
2. Казарцев Е. В. Исследования в области повышения эффективности промысловой деэмульсации // Проблемы освоения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: материалы конф., посвященной 75-летию института «ПечорНИПИнефть» (Ухта 24–25 октября 2012 г.) / ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»; «ПечорНИПИнефть» в г. Ухте. — Киров: О-Краткое, 2012. — С. 320–329.
3. Каспарьянц К. С., Петров А. А. Оценка эффективности различных методов обезвоживания и обессоливания нефти // Нефтяное хозяйство. — 1978. — № 3. — С. 43.
4. Совершенствование процессов подготовки нефти / Г. Н. Жолобова [и др.] // Нефтегазовое дело. — 2010. — № 1. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ogbus.ru/authors/Zholobova/Zholobova_1.pdf.
5. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: учеб. для вузов / А. И. Скобло [и др.] — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ООО Недра-Бизнесцентр, 2000. — 677 с.
6. Эффективные малообъемные смесители / В. В. Богданов, Е. И. Христофоров, Б. А. Клоунг. — Л.: Химия, 1989. — 224 с.: ил. — (Химия промышленности).
7. Заявка на изобретение 2015122686 Российская Федерация, МПК В01F 5/04. Способ струеинжекционного смешения текучих сред и устройство для его осуществления / Быков И. Ю., Цхадая Н. Д., Казарцев Е. В., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет». — № 2015122686 / А. заявл. 11.06.2015, опубл. 10.01.2017, Бюл. № 01.

Сведения об авторах

Быков Игорь Юрьевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности», Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, тел. 8(8216)774492, e-mail: ibikov@ugtu.net

Казарцев Евгений Валериевич, инженер-технолог службы УПН, Филиал компании «ЛУКОЙЛ Мид-Ист Лимитед» в Басре, Республика Ирак, тел. +9647809250183, e-mail: Evgenii.Kazartcev@lukoil-international.com

Ланина Татьяна Дмитриевна, д. т. н., доцент, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, тел. 8(8216)774514, e-mail: tlanina@ugtu.net

Information about the authors

Bykov I. Yu., Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department Machinery and equipment of oil and gas industry, Ukhta State Technical University, phone: 8(8216)774492, e-mail: ibikov@ugtu.net

Kazartsev E. V., Process Engineer of the CPF service Branch of «LUKOIL Mid-East Limited» in Basrah, phone: +9647809250183, e-mail: Evgenii.Kazartcev@lukoil-international.com

Lanina T. D., Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor of the Department Water supply and drainage system, Ukhta State Technical University, phone: 8(8216)774514, e-mail: tlanina@ugtu.net