

Из рис. 2 видно, что происходит проскальзывание стента относительно бляшки. Наибольшее значение напряжений локализовано в зоне контакта стента и бляшки и составляет 5,7 МПа. Напряжение в стенке артерии – 1,1 МПа. Значение максимальных эквивалентных напряжений в стенке при раскрытии не превышает 430 МПа, что значительно меньше предела прочности материала, из которого он изготовлен.

Результаты численного моделирования взаимодействия артерии и бляшки со стентом показали, что уровень напряжений, возникающих в артерии, не превышает предела ее прочности и соответственно не приведет к ее травмированию.

#### Литература

1. Медицинская технология. Стентирование коронарных артерий / А. Г. Осиев [и др.]. – Новосибирск : НГУ, 2008.
2. Structural and Hemodynamic Analyses of Different Stent Structures in Curved and Stenotic Coronary Artery / L. Wei [et al.] // Front. Bioeng. Biotechnol. – N 7, iss. 366. DOI: 10.3389/fbioe.2019.00366
3. Марочник сталей и сплавов / Ю. Г. Драгунов [и др.] ; под общ. ред. Ю. Г. Драгунова и А. С. Зубченко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М., 2014. – 1216 с.

УДК 532.529

### ПОЛУЧЕНИЕ НЕФТЕКИСЛОТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН ПОСРЕДСТВОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ

А. М. Селютин

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь»*

*Рассмотрен смеситель для получения нефтекислотной эмульсии, работающий на использовании принципа кавитации. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний. Показана эффективность данного устройства.*

**Ключевые слова:** кавитационный эффект, смешение жидкостей, нефтекислотная эмульсия.

### OBTAINING PETROLEUM ACID MIXTURES TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF OIL WELLS THROUGH HYDRODYNAMIC CAVITATION

A. M. Seliyutin

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*A mixer is considered for obtaining an petrol-acid emulsion, operating on the principle of cavitation. The results of field trials are given. The effectiveness of this device is shown.*

**Keywords:** cavitation effect, liquid mixing, petrol-acid emulsion.

Известны многочисленные устройства кавитационного типа для эмульгирования, смешения и гомогенизации жидкостей с разной плотностью. На разделе твердой и жидкой сред в камере смешения в результате резкого падения скорости жидкостного потока при изменении параметров истечения происходит образование парожидкостного потока, а затем его превращение в поток капельной жидкости, но уже со значительной степенью взаимопроникновения компонентов смеси. Наиболее интенсивно процесс образования кавитационных пузырьков наблюдается на острых

кромках деталей камеры смешения. Интенсификации процесса способствуют столкновение струй смешиваемых жидкостей, закручивание смешанного потока и резкое изменение его скорости при истечении из камеры смешения через насадки различной формы.

При обработке карбонатных коллекторов продуктивных нефтяных горизонтов широко используют направленные кислотные обработки (НКО) с использованием нефтекислотных эмульсий (НКЭ) [1]. В процессе нефтекислотной обработки поочередно порциями в пласт закачиваются НКЭ и водные растворы кислот. В эмульсиях, как правило, дисперсионной средой является нефть, а дисперсионную фазу составляет водный раствор кислоты. Вследствие низкой проницаемости вязкой НКЭ ее проникновение в пласт происходит преимущественно в трещиноватые интервалы, которые она временно закупоривает. В блокируемом объеме НКЭ постепенно разрушается, высвобождая кислоту, которая вступает в реакции с породой призабойной зоны пласта. В результате НКО позволяет воздействовать кислотной обработкой на значительные участки коллектора как по глубине, так и по высоте [2].

Технологически оправдано изготовление высокодисперсных устойчивых НКЭ до закачки в пласт в режиме непрерывного потока непосредственно в промысловых условиях. В результате реализация технологических операций при расколматации и промывке скважины существенно упрощается. В течение нескольких лет совместно с институтом БелНИПИнефть проводились исследования и разработка устройств для получения НКЭ на устье скважины. Сконструирован смеситель, работа которого основана на использовании кавитационного эффекта, и не имеющий вращающихся частей, наиболее подверженных воздействию высоко агрессивных кислотных компонентов.

На рис. 1 показано принципиальное устройство смесителя, имеющего несколько ступеней воздействия на смешиваемые жидкости. В зависимости от требуемых свойств получаемой НКЭ по дисперсности и устойчивости отдельные ступени могут отключаться путем извлечения соответствующих деталей из смесителя.

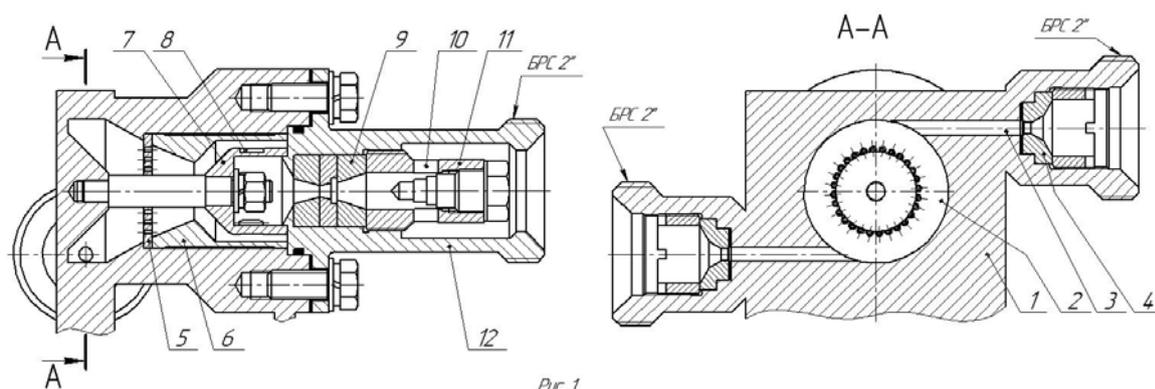


Рис. 1. Принципиальное устройство смесителя:  
 1 – корпус; 2 – камера смешения; 3 – канал; 4, 6, 7, 9, 11 – насадки;  
 5 – перегородка; 8 – тангенциальная перфорация;  
 10 – радиальная перфорация; 12 – патрубок

В корпусе 1 выполнена смешительная камера 2, в которую по каналам 3 тангенциально поступают потоки кислотного раствора и нефтяной эмульсии от насосных агрегатов. Предварительно потокам придается увеличение скорости истечения благо-

даря применению насадок 4. В перегородке 5 поток разделяется на отдельные струи, а затем, проходя систему переменных кольцевых сечений и постоянно увеличивая скорость, через систему тангенциальных перфораций 8 в насадке 7 попадает в центральный канал. В системе кольцевых сменных насадок 9 в зависимости от формы сопел, наличия острых кромок при скорости 170–210 м/с процесс кавитации становится наиболее активным. Истечение из смесителя происходит через кольцевой канал после прохождения потоком радиально расположенных отверстий 10 в детали 11 при скорости 150–180 м/с. Присоединение нагнетательной магистрали осуществляется к выходному патрубку 12. Поток смешанной жидкости объединяется с потоком продавочной жидкости и подается в скважину. Гидравлическое сопротивление устройства в зависимости от производительности насосов (2–3 л/с) составляет 5–7 МПа.

В рассматриваемом смесителе применены четыре ступени диспергаторов. Как следует из рис. 1, для получения нужного качества дисперсности и стойкости эмульсии до полного разделения можно отключать отдельные ступени путем извлечения соответствующих деталей или изменения условий истечения через различные насадки.

Для получения тонкодисперсных сред необходимо наличие колебаний давления при низкой частоте воздействия, постоянные переходы от сплошной к струйной структуре потока, образование пленочных струй, распадающихся, в свою очередь, на капли. Эти процессы воспроизведены в данном устройстве.

При оптимизации конструкции смесителя и обоснования математической модели гидродинамического течения и смешения разнокомпонентной водонефтяной и нефтекислотной жидкостей, а также определения рациональных режимов работы насосных станций использовалось как математическое моделирование, учитывающее кавитационный массоперенос, так и аналитическое обоснование ряда параметров, влияющих на существование собственно процесса кавитации.

Результаты опытно-промысловых испытаний смесителя на Южно-Сосновском месторождении опубликованы [3]. В работе показана эффективность интенсифицирующих направленных кислотных обработок карбонатных пластов с целью восстановления фильтрационных характеристик призабойной зоны продуктивного пласта, а также доказано на основании сравнительного анализа, что смеситель позволяет добиться высокой эффективности смешения, превосходящей по дисперсности и стойкости пробы, изготовленные лабораторным способом по общепринятым методикам.

В лабораторных условиях были изготовлены пробы, соответствующие рецептуре, рекомендованной для скважины 151 Южно-Сосновского месторождения и полученные с помощью лопастной мешалки. Непосредственно на устье скважины отбирались пробы НКЭ при скорости подачи реагентов на смеситель 2 и 3 л/с. Скорость подачи реагентов ограничивалась возможностями насосных агрегатов ЦА-320, примененных в ветвях подачи как кислотного раствора, так и нефти с эмульгатором. Так, НКЭ, приготовленная смесителем при обоих скоростях закачки, при  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  показала полную стабильность в течение 24 ч. Размер дисперсной фазы составил соответственно 30 и 10 мкм. При  $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  в контакте с породой НКЭ полностью разделилась через 50 ч. Для сравнения, лабораторная проба с размерами дисперсной фазы 40 мкм при  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  была стабильна в течение 24 ч, а при  $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  в контакте с породой полностью разделилась через 24 ч. Также исследовались свойства НКЭ при различных диаметрах струйных форсунок данного смесителя. Так, в отобранных пробах при диаметре сопел 4 мм и скорости подачи реагентов на смеситель 2 и 3 л/с изменения таких характеристик, как условная вязкость, плот-

ность, электростабильность за 24 ч практически не наблюдались. Снятые амплитудно-частотные характеристики давления на выходе показали наличие колебательного процесса со статистической характеристикой изменения давления 0,6 МПа при частоте 1 Гц и соответственно 0,3–0,35 МПа – при 2–6 Гц.

На скважинах РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» были выполнены обработки ряда скважин. При среднем дебите 5 т/сутки увеличение дебита составило в среднем 4 т/сутки при длительности эффекта более 190 суток.

По результатам промысловых и лабораторных испытаний можно сделать ряд выводов:

– НКЭ, изготовленные с помощью гидродинамического кавитационного смесителя, превосходят по технико-эксплуатационным характеристикам эмульсии, приготовленные смесителями, работающими на основе механического смешения или использования только струйных форсунок;

– отсутствие механических подвижных частей, использование кислотостойких материалов позволяют в 3–5 раз увеличить срок эксплуатации изделия в условиях контакта деталей с агрессивными компонентами НКЭ. Кавитационные процессы проходят во внутренних объемах смесителя, но области их воздействия на детали относительно небольшие. Замена изношенных деталей не представляет затруднений.

#### Литература

1. Токунов, В. И. Технологические жидкости и составы для повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин / В. И. Токунов, А. З. Саушин. – М. : Недра, 2004. – 712 с.
2. Эффективность технологии воздействия на нефтяной пласт / Н. А. Демяненко [и др.] // Нефтяное хоз-во. – 2004. – № 11. – С. 38–40.
3. Гидродинамический кавитационный смеситель для получения нефтекислотных эмульсий и практика его использования на нефтяных месторождениях Республики Беларусь / Д. В. Ткачев [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 2. – С. 36–40.