

УДК 628.3.622.5

А.А. Адельшин – аспирант, инженер

А.Б. Адельшин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения

А.Р. Каюмов – кандидат биологических наук, ассистент

Р.А. Каюмов – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ КОАЛЕСЦЕНЦИИ КАПЕЛЬ НЕФТИ В ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ УСТАНОВКИ БГКО

АННОТАЦИЯ

На основе теоретико-экспериментальных исследований создана высокоиндустриальная блочная установка (аппарат) типа БГКО (блок гидроциклон – цилиндрические камеры нижнего и верхнего сливов гидроциклона – отстойник) для очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) с целью повторной утилизации очищенных НСВ в системах заводнения нефтяных пластов. Численные расчеты распределения капель нефти в закрученных потоках показали, что в аппарате устанавливается благоприятный гидродинамический режим для коалесценции капель нефти, что дает возможность для создания экономически и экологически надежной и эффективной технологии и установки очистки НСВ.

A.A. Adelshin – post-graduate student, engineer

A.B. Adelshin – doctor of technical sciences, professor, head of the Water Supply and Water-Drainage department

A.R. Kayumov – candidate of biological science, assistant

R.A. Kayumov – doctor of physical-mathematical sciences, professor, head of Materials Resistance department

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUA)

THE NUMERICAL EXPERIMENTS IN MODELING OF OIL DROPS COALESCENCE PROCESSES IN SWIRLED FLOWS OF BHCS-PLANT

ABSTRACT

The high-industrial block plant (device) of BHCS type (the Block of Hydrocyclone – cylindrical Chambers of hydrocyclone lower and upper discharges – a Sedimentation tank) for oil-field sewage (OFS) cleaning aimed repeated recycling of cleared OFS in oil-layers waterflooding systems was developed. Numerical calculations of oil drops distribution in the swirled flows have shown that favorable hydrodynamical mode for oil drops coalescence in the device is forming. This enables the creation of technology and plant, which economically and ecologically reliable and effective for OFS cleaning.

Крупным водопотребителем и объектом образования нефтесодержащих (нефтепромысловых) сточных вод (НСВ) является нефтяная промышленность, в которой около 90% нефти добывается на месторождениях, разрабатываемых с использованием методов заводнения продуктивных нефтяных пластов с целью поддержания пластового давления.

Объем НСВ по стране достигает 1,2 млрд. м³ в год, из которых более 90% используется в системах заводнения. Утилизация НСВ для заводнения позволяет

увеличить нефтеотдачу пластов в 1,5-2 раза, сократить потребление пресных вод, решить проблемы ликвидации НСВ и защиты окружающей среды от загрязнений на промыслах [1, 2].

Обустройство нефтяных месторождений предусматривает: широкое применение установок для очистки НСВ в блочном исполнении с высокими эффектом очистки и единичной мощностью при ограниченном объеме; герметичность, транспортабельность; высокий уровень индустриализации, сокращение времени строительства

(в т.ч. в изготовлении и монтаже). Одним из направлений в решении данных требований является создание новых методов, аппаратов, полноблочных установок, интенсификация и совершенствование технологических процессов предварительного гидродинамического разрушения и очистки НСВ.

Сущность и эффективность процесса разрушения, очистки НСВ заключается в достаточно полном и быстром снижении агрегативной и кинетической устойчивости НСВ путем, главным образом, разрушения бронирующей оболочки на каплях нефти и их коалесценции. Эти процессы осуществляются наиболее полно и интенсивно при определенной степени турбулизации потока НСВ в полости различных аппаратов – гидродинамических каплеобразователей.

Исследованиями создана технология очистки НСВ, которая предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти за счет гидродинамической обработки исходной НСВ с использованием энергии закрученных потоков на сливах гидроциклона по схеме: «гидроциклон – цилиндрические камеры верхнего и нижнего сливов гидроциклона – отстойник» (БГКО) [2-5]. Конструктивные решения установок БГКО защищены патентами РФ [6-13].

Принципиальная схема конструкции БГКО представлена на рис. 1.

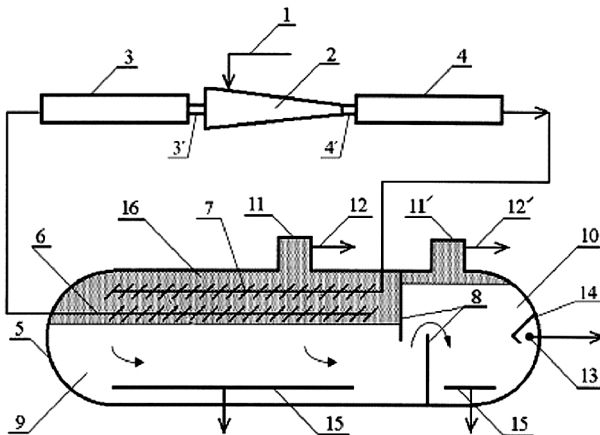


Рис. 1

Исходная НСВ по трубопроводу 1 поступает в высокотурбулентном режиме ($Re > 10^5$) в гидроциклон 2, где осуществляется гидродинамическая обработка НСВ в поле центробежных сил, в результате чего разрушаются бронирующие оболочки; происходит дробление, укрупнение (коалесценция), уменьшение полидисперсности частиц нефти; разделение НСВ на два потока: поток, обогащенный нефтью из верхнего слива 3' поступает в цилиндрическую камеру 3, поток из нижнего слива 4' поступает в цилиндрическую камеру 4. Потоки поступают в камеры 3 и 4 в виде

закрученных струй, энергия которых используется для дальнейшей гидродинамической обработки НСВ. Движение жидкости в камерах осуществляется в развитом, но более мягком турбулентном режиме ($Re = 1 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^4$), происходит дальнейшее укрупнение – коалесценция капель нефти. Объем отстойника 5 разделен перегородками на секции 9 и 10. Далее НСВ из камер 3 и 4 через распределители 6 и 7 поступают в верхнюю зону 16, секции 9 отстойника 5 в слой высококонцентрированной по нефти с умеренным перемешиванием содержимого. В зоне 16 происходит укрупнение капель нефти и ее отстаивание – расслоение – расслоение НСВ на нефть и воду. Отстоявшаяся нефть поступает в нефтесборники 11 и 11', из которых удаляется по трубопроводам 12 и 12' для утилизации. Очищенная вода удаляется из секции 10 отстойника 5 через устройства 13 и 14. Нефтьшлам накапливается на дне отстойника 5 и отводится через устройства 15.

С целью увеличения времени пребывания частиц нефти в объеме аппарата с закрученным течением, т.е. увеличения времени гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке, предусмотрены достаточно длинные цилиндрические камеры 3 и 4 на сливах гидроциклона 1 (см. рис. 1), что способствует наиболее полной реализации известных стадий механизма разрушения НСВ [1, 2]. Исследованиями рекомендованы: диаметр камер 100 мм, длина их 2000 мм, напорный двухпродуктовый гидроциклон диаметром 75 мм, при этом диаметры: питания $d_n = 15$ мм, верхнего слива $d_{вс} = 20$ мм, нижнего слива $d_{нс} = 26$ мм; угол конусности $\alpha = 5^\circ$; глубина погружения верхнего слива $h = 48$ мм; высота цилиндрической части 15 мм; давление на входе установки $\geq 0,4$ МПа, противодавление на выходе камер сливов $\approx 0,2$ МПа; продолжительность отстаивания 20-60 мин в зависимости от типа НСВ [2, 4].

Совместный анализ гидродинамических и технологических процессов, происходящих в составляющих установку БГКО аппаратах, позволил представить ее (см. рис. 1) в виде комбинированной модели, состоящей из четырех ячеек идеального перемешивания: первая ячейка – гидроциклон с объемом W_1 , вторая и третья – цилиндрические камеры с объемом W_2 и W_3 , четвертая – отстойник объемом W_4 [14].

Исследованиями получены дифференциальные функции распределения капель нефти по крупности для следующих физических моделей (параметры, входящие в нижеследующие выражения, изложены в [15]):

– для камеры нижнего слива:

$$C(d_k) = \frac{0,0455 \cdot K \cdot d_k^{-1/3} \cdot \lambda_1^2}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \varphi^{5/9} \cdot \epsilon_0^{1/3} \cdot \theta} \left[\frac{1}{(a-b)(a-c)} e^{at} + \frac{1}{(b-a)(b-c)} e^{bt} + \frac{1}{(c-a)(c-b)} e^{ct} \right]; \quad (1)$$



– для камеры верхнего слива:

$$C(d_k) = \frac{0,0455 \cdot K \cdot d_k^{-1/3} \cdot \lambda_2^2}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \varphi^{5/9} \cdot \epsilon_0^{1/3} \cdot \theta} \left[\frac{1}{(a-b)(a-c)} e^{at} + \frac{1}{(b-a)(b-c)} e^{bt} + \frac{1}{(c-a)(c-b)} e^{ct} \right]; \quad (2)$$

– для установки БГКО:

$$C(d_k) = \frac{0,0455 \cdot K \cdot d_k^{-1/3}}{A_1 \cdot A_3 \cdot \varphi^{5/9} \cdot \epsilon_0^{1/3} \cdot \theta} \left\{ \frac{\bar{A}}{A_4 + a} e^{at} + \frac{\bar{B}}{A_4 + b} e^{bt} + \frac{\bar{C}}{A_4 + c} e^{ct} - \left[\frac{\bar{A}}{A_4 + a} + \frac{\bar{B}}{A_4 + b} + \frac{\bar{C}}{A_4 + c} \right] e^{-\tau \frac{1}{A_4}} \right\} \quad (3)$$

Для определения времени коалесценции капель τ получена формула [15]:

$$\tau = 0,068 \frac{d_k^{2/3} - (d_k^0)^{2/3}}{\varphi^{5/9} \cdot \epsilon_0^{1/3} \cdot \theta} \quad (4)$$

Уравнения (1, 2, 3) являются основой для решения задач укрупнения (коалесценции) капель нефти при инженерных расчетах установок типа БГКО.

Эти математические модели гидродинамики и коалесценции могут быть использованы для создания оптимальных режимов рассмотренных схем гидродинамических каплеобразователей и БГКО на основе использования закрученного потока. Ниже приведены результаты численных экспериментов, проведенных на основе разработанных авторами программ по численному моделированию на ЭВМ процесса коалесценции капель нефти в закрученных потоках сливов гидроциклона аппарата БГКО.

Рассмотрим результаты расчета $C(d_k)$ для камеры верхнего слива (см. рис. 1). На рис. 2 приведены значения $C(d_k)$ при различных плотностях капель в НСВ, т.е. при $\varphi = 0,0001; 0,0002; 0,0005; 0,001$. Видно, что, как и ожидалось, при малых плотностях ввиду малой вероятности столкновения капель становится малым число капель с большим диаметром (т.е. при больших d_k функция $C(d_k)$ гораздо меньше для случая $\varphi = 0,00005$ по сравнению со случаем $\varphi = 0,0005$). В первом случае в единице объема содержится максимальное количество капель с диаметром $d_k \approx 0,01$ мм, а при $\varphi = 0,0005$ – содержится максимальное количество капель с диаметром $d_k \approx 0,04$ мм.

На рис. 3 приведены функции $C(d_k)$ при различных значениях давления, а именно при $P = 1, 3, 4, 5$ атм. Видно, что функция распределения $C(d_k)$ перестает изменяться при давлениях выше 4 атм. Это позволяет рекомендовать в качестве оптимального принять именно это значение давления.

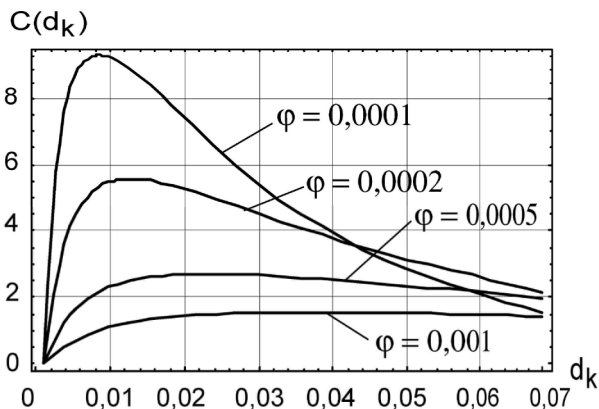


Рис. 2

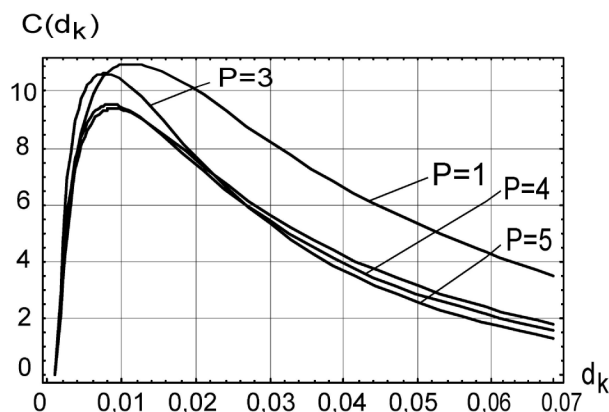


Рис. 3

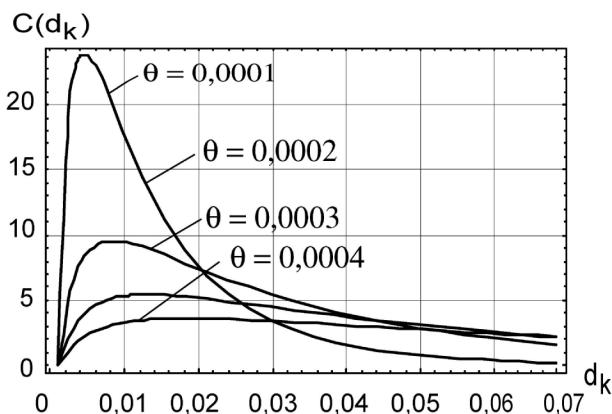


Рис. 4

На рис. 4 приведены функции $C(d_k)$ при значениях $\theta = 0,0001; 0,0002; 0,0003; 0,0004$ (конструктивного и режимного параметра эффективности столкновений, зависящего от конструктивных, режимных параметров БГКО, а также количественных и качественных характеристик НСВ). В частности, θ зависит от интенсивности закрутки потока (режима турбулентности), т.е. от скорости потока, типа устройства, его особенностей. Видно, что функция распределения $C(d_k)$ весьма чувствительна к изменению этого параметра.



Результаты теоретических исследований процессов коалесценции капель нефти и численных экспериментов явились основой для разработки ряда новых технических решений аппаратов типа БГКО для очистки НСВ, защищенных патентами РФ, и могут быть использованы при модернизации существующих и создании новых установок.

Литература

1. Тронов В.П., Тронов А.В. Очистка вод различных типов для использования в системе ППД. – Казань: Фэн, 2001. – 560 с.
2. Адельшин А.Б. Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод./ Дис. докт. техн. наук. – СПб., 1998. – 73 с.
3. Адельшин А.Б., Бусарев А.В., Потехин Н.И., Селюгин А.С., Адельшин А.А. К проблеме интенсификации процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод. // Известия КГАСА, 2003, №21. – С.91-96.
4. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Хисамеева Л.Р., Шешегова И.Г. К основным положениям разработки блочных установок очистки нефтепромысловых сточных вод с использованием закрученных потоков. // Технология нефти и газа, 2007. – 12 с.
5. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Хисамеева Л.Р., Шешегова И.Г. Аппарат очистки нефтепромысловых сточных вод на основе использования закрученных потоков с целью заводнения нефтяных пластов. // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал, 2007. – 12 с.
6. Патент РФ № 2189360. Бюл. № 26 от 20.09.2002 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
7. Патент РФ № 2227791. Бюл. № 12 от 27.04.2004 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А., Каюмов Р.А.
8. Патент РФ № 2248327. Бюл. № 8 от 20.03.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
9. Патент РФ № 2253623. Бюл. № 16 от 10.06.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
10. Патент РФ № 2255903. Бюл. № 19 от 10.07.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А., Каюмов Р.А., Урмитова Н.С.
11. Патент РФ № 2257352. Бюл. № 21 от 27.07.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
12. Патент РФ № 2303002. Бюл. № 20 от 20.07.2007 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.А., Адельшин А.Б.
13. Патент РФ № 2313493. Бюл. № 36 от 27.12.2007 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Файзуллин Р.Н., Сахапов Н.М.
14. Адельшин А.А. Дифференциальная функция распределения времени пребывания жидкости установки БГКО // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. Том 2. – М.: Академия наук о Земле, 2004. – 170 с.
15. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Ибяттов Р.И. Моделирование процессов коалесценции в закрученных потоках установки БГКО. // Известия КГАСУ, 2007, № 2(8). – С. 102-106.