



УДК 628.3 622.5

Адельшин А.А. – кандидат технических наук, доцент

Адельшин А.Б. – доктор технических наук, профессор

E-mail: a566pm@rambler.ru

Бусарев А.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: sa789@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

О факторе времени, обуславливающим процесс очистки нефтепромысловых сточных вод с использованием закрученных потоков*

Аннотация

Исследованиями созданы установки очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) по технологическим схемам: гидроциклон – отстойник (БГО); гидроциклон – цилиндрические камеры на верхнем и нижнем сливах гидроциклона – отстойник (БГКО).

Различные схемы «гидроциклон – камеры сливов» образуют гидродинамические каплеобразователи (ГКС). В закрученных потоках гидроциклона и камер сливов происходит разрушение бронирующих оболочек, коалесценция и уменьшение полидисперсности капель нефти при действии различных факторов в определенной последовательности, величиной и в течение определенного времени.

В статье приведены результаты исследований времени пребывания (гидродинамической обработки) НСВ в гидроциклоне, ГКС и в целом БГКО. Установлено, что время гидродинамической обработки НСВ в гидроциклоне составляет 1-3 с, в ГКС 30-50 с, что способствует повышению эффекта и стабильности очистки НСВ на установках БГО и БГКО.

Ключевые слова: нефтепромысловая сточная вода, гидроциклон, камеры сливные, закрученный поток, гидродинамическая обработка, время пребывания, очистка.

Создание, разработка технологии и установок очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) для утилизации в системах наводнения нефтяных пластов является актуальной проблемой. Нефтедобывающая промышленность является крупным водопотребителем и объектом образования огромного количества (по стране более 1,2 млрд. м³ в год) НСВ. В настоящее время около 90 % нефти добывается на месторождениях, разрабатываемых с использованием методов заводнения нефтяных пластов для поддержания пластового давления (ППД).

Нефтепромысловые сточные воды (НСВ) имеют суспензионно-эмульсионный характер, относятся к минерализованным полидисперсным микрогетерогенным системам. Свойства НСВ, особенно состояние бронирующих оболочек на каплях дисперсной фазы нефти, определяют методы разрушения, очистки НСВ в течение определенного времени.

Очистка НСВ для целей заводнения продуктивных горизонтов заключается в удалении из них до заданных норм нефти и механических примесей. Утилизация очищенных НСВ в системах заводнения нефтяных пластов является единственным экономически и экологически выгодным путем их ликвидации на промыслах Российской Федерации.

В процессе разработки нефтяных месторождений происходит изменение параметров и свойств извлекаемых флюидов, свойств пластовых вод, продуктивных пластов, остаточных запасов нефти, технического и технологического состояния нефтепромыслового оборудования, в т.ч. аппаратов, сооружений, в целом установок очистки НСВ. Эти факторы предопределяют необходимость модернизации совершенствования, реконструкции систем заводнения, в т.ч. установок очистки НСВ.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК №16.740.11.0672 от 7 июня 2011 г.).

Сущность и успешность процесса очистки НСВ заключается в достаточно полном и быстром снижении агрегативной и кинетической устойчивости НСВ путем, главным образом, разрушения адсорбционной бронирующей оболочки на каплях нефти, режима движения НСВ, обеспечивающего укрупнение этих капель. Эти процессы осуществляются наиболее полно и интенсивно при предварительной определенной степени турбулизации потока НСВ в полости различных гидродинамических каплеобразователей с последующим отстаиванием. Высокий и стабильный эффект очистки НСВ может быть достигнут за счет предварительной гидродинамической обработки ее в закрученном потоке.

Внедрение промышленных методов обустройства нефтяных месторождений предусматривает широкое применение оборудования, аппаратов, установок очистки НСВ в блочном исполнении с высоким эффектом очистки и высокой единичной мощностью аппаратов (установок) при ограниченном объеме, герметичности, транспортабельности и высокой промышленности в изготовлении и монтаже. Одним из направлений в решении указанных требований являются: создание новых методов, аппаратов, установок очистки НСВ, совершенствование конструкции распределительных и сборных устройств и улучшение гидродинамики потока в отстойниках; интенсификация и совершенствование технологических процессов, в т.ч. применение специальных конструкций и устройств для предварительного разрушения бронирующих оболочек и укрупнения капель эмульгированной нефти; разработка методов расчета конструирования, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений очистки НСВ.

Исследованиями создана технология очистки НСВ, которая предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти гидродинамической обработкой исходной НСВ с использованием закрученных потоков. Для очистки НСВ разработаны и реализованы в производстве установки, работающие по технологическим схемам: блок гидроциклон – отстойник (БГО), блок гидроциклон – цилиндрические камеры на верхнем и нижнем сливах гидроциклона – отстойник (БГКО) [1-4].

Различные схемы «гидроциклон – цилиндрические камеры сливов» в сущности образуют гидродинамические центробежные каплеобразователи (в дальнейшем сокращенно аппарат ГКС). В конструктивных решениях установок БГКО гидродинамический каплеобразователь ГКС скомпонован в единый блок с отстойником и предназначен для интенсификации, повышения эффекта очистки НСВ при последующем отстаивании. При этом гидроциклон служит для предварительной гидродинамической обработки НСВ: разрушения стабилизированных частиц примесей, бронирующих оболочек нефтяных капель и их коалесценции и уменьшения полидисперсности капель нефти. В составе аппарата ГКС гидроциклон является также устройством для получения закрученного потока в камерах сливов в результате тангенциальной подачи НСВ в гидроциклон.

В настоящих исследованиях масштаб линейных и угловых размеров гидроциклона в модели и натуральных условиях принят 1:1. Конструктивные параметры гидроциклонов, примененных в составе промышленных установок БГО и БГКО (в т.ч. ГКС), составляют: диаметр $D = 75$ мм, угол конусности $\alpha = 5^\circ$; диаметр входного патрубка $d_{вх} = 15$ мм, верхнего слива $d_{в.сл.} = 20$ мм, нижнего слива $d_{н.сл.} = 26$ мм, глубина погружения верхнего сливного патрубка $h_n = 48$ мм. Режим движения жидкости в гидроциклоне характеризуется числом Рейнольдса по радиусу в пределах 30000-40000. Давление на входе в гидроциклон составило $P_{вх.} = 0,2$ МПа [1, 2].

Теоретическими и экспериментальными исследованиями получены функции распределения времени пребывания жидкости для гидроциклона при вышеприведенных параметрах [1, 2].

По экспериментальным данным построены кривые отклика на импульсные возмущения (рис. 1 а, б) согласно методики [5, 6]: теоретические 1 и экспериментальные 2 кривые отклика для нижнего слива (см. рис. 1 а); б – для верхнего слива (см. рис. 1 б). Значения C_i – текущие концентрации индикатора (раствор химически чистого хлористого натрия) для верхнего и нижнего сливов гидроциклона при экспериментах определялись с помощью кондуктометра типа АНИОН 4120 и вычислялись по методике и формулам, приведенным в работе [1, 2], при изменении времени от 0 до 5 с с интервалом 0,1 с. Полученные значения C_i нормировались по максимальному значению (C_i/C_{max}).

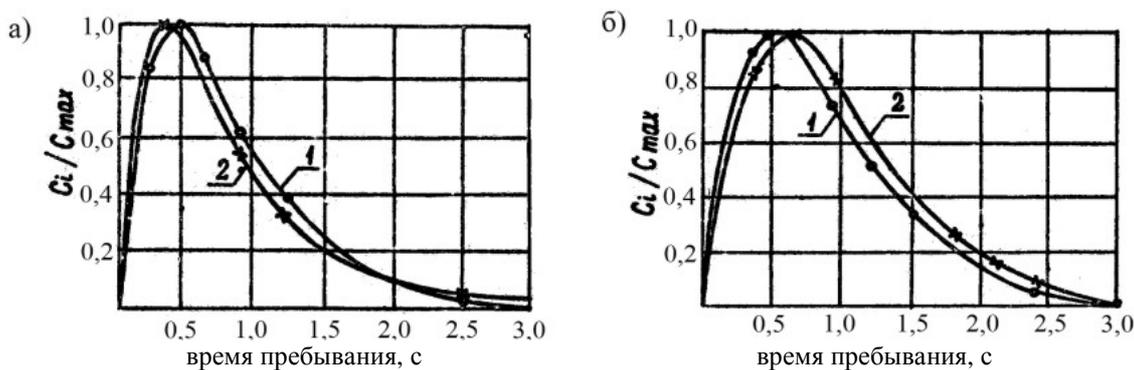


Рис. 1

Как видно из рис. 1, время пребывания частиц нефти в закрученных потоках в полости гидроциклона составляет 1,1-3 с.

Совместный анализ гидродинамических процессов и факторов, обуславливающих процесс разрушения НСВ и механизма разрушения НСВ в гидроциклоне, показал что время пребывания частиц нефти в гидроциклоне недостаточно для наиболее полной реализации известных стадий механизма разрушения НСВ [3].

С целью увеличения времени пребывания частиц нефти в объеме аппарата с закрученным течением, т.е. увеличения времени гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке в составе аппарата ГКС установки БГКО, предусмотрены достаточно длинные цилиндрические камеры на сливах гидроциклона. В зависимости от геометрических и технических параметров гидроциклона, диаметр и длина сливных камер могут быть разными. Сливные камеры выполняют транспортные и технологические функции по разрушению НСВ, в которых образуется сложное закрученное турбулентное течение, о котором количественная и качественная информация практически отсутствует. После гидроциклона в камерах сливов его гидродинамическая обработка НСВ осуществляется последовательно во всех областях закрученного потока – в зонах: расширения закрученной струи, стабильного закрученного течения, затухания закрученного течения, переходного и осевого потенциального течения, циркуляционных и тороидальных. Указанные области течения характеризуются различными качественными и количественными параметрами течения, изменяющимися во времени по длине и объему в целом сливных камер. В сливных камерах НСВ подвергается наиболее универсальной комплексной гидродинамической обработке по наиболее полному числу, качеству и продолжительности воздействия различных видов сил, факторов на частицы нефти в НСВ [3, 4].

Совместный анализ гидродинамических процессов и механизма разрушения НСВ по схеме БГКО показывает, что здесь максимально достигается полнота условий воздействия факторов и требуемое технологическое время для очистки НСВ и реализуются все этапы механизма разрушения, очистки НСВ при воздействии более 12 многократно действующих интенсифицирующих факторов – сил: тяжести, центробежных, набегающего потока, столкновения капель, турбулентных пульсаций, притяжения к стенке, косоугольного удара, гидродинамического воздействия, давления потока на стенку, разрыва частиц, поверхностного натяжения, разности динамических напоров у стенки, изменяющиеся по величине и направлению градиенты скорости и давления, а также существование зон циркуляции, в т.ч. центральные тороидальные; существование подвижных инверсирующих поверхностей нулевых скоростей, границ расширения и сужения потока, процессурующего вихревого ядра [1-3].

Проведены экспериментальные исследования, визуализация и количественная оценка параметров закрученных потоков в цилиндрических камерах из стеклянных труб диаметрами 50, 80, 100 мм, длиной 3 м каждая на сливах гидроциклона диаметром 75 мм, и другими вышеприведенными конструктивными и технологическими параметрами [3, 4]. Для реализации в составе ГКС установки БГКО рекомендованы цилиндрические камеры диаметром 100 мм, так как только при таком диаметре закрученные струи

верхнего и нижнего сливов как для свободного излива, так и при изливе с подпором по всей длине камер сохраняют геометрические характеристики, свойственные распространению закрученных струй [3].

Проведены также экспериментальные исследования распределения времени пребывания жидкости в сливных камерах диаметром 100 мм, различной длины от 40 см с шагом 40 см до 240 см при давлении на входе гидроциклона $P = 0,4$ МПа и противодавлении на сливах $P \approx 0,2$ МПа.

Установлено, что дальнейшее увеличение длины камер незначительно влияет на функцию распределения времени пребывания жидкости в камерах. За оптимальную длину (L) камер нижнего и верхнего сливов в составе ГКС установки БГКО принято значение $L = 2$ м [3, 4], т.е. масштаб размеров камер в модели и натуральных условиях составил 1:1.

В соответствии с теоретическими исследованиями гидродинамики аппарата ГКС и установки БГКО [3] экспериментальные исследования проводились по технологическим схемам: гидроциклон – цилиндрическая камера нижнего слива; гидроциклон – цилиндрическая камера верхнего слива; гидроциклон – цилиндрическая камера нижнего и верхнего сливов – отстойник, при величинах давления на входе в гидроциклон 0,4 МПа (4 атм) и противодавления 0,2 МПа (2 атм) на выходах камер нижнего и верхнего сливов. Ввод индикатора в систему проводился импульсным методом [5, 6], а концентрация его в воде определялась с помощью кондуктометра АНИОН 4120.

На рисунках 2, 3, 4 представлены функции $\bar{C}(\tau)$ распределения времени пребывания жидкости соответственно для нижнего и верхнего сливов, а также на выходе из отстойника.

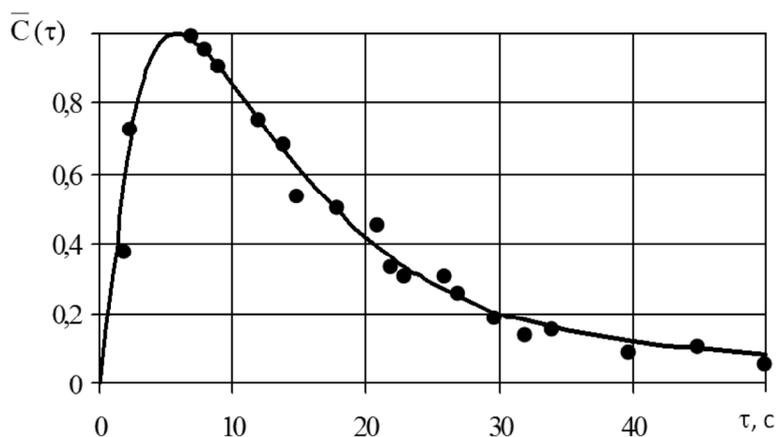


Рис. 2. Нижний слив:
— теория; • – эксперимент

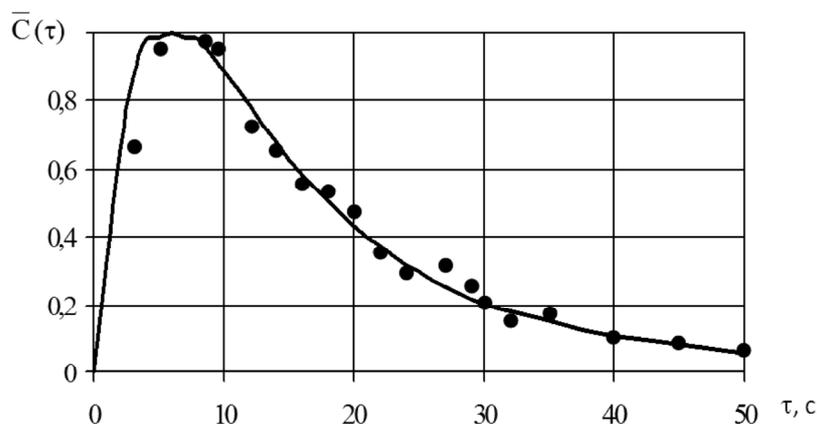


Рис. 3. Верхний слив:
— теория; • – эксперимент

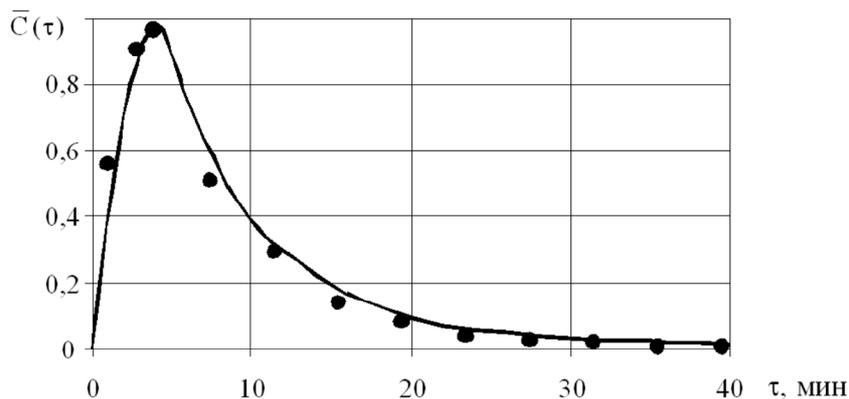


Рис. 4. БГКО:
— теория; • – эксперимент

Сравнение опытных кривых с теоретическими показывает, что закономерность их изменения практически одинакова. При этом продолжительность комплексной гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке по схеме «гидроциклон – камеры сливов» составляет 30-50 с, что в среднем более чем в 20 раз больше продолжительности гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке в полости гидроциклона (см. рис. 1 а, б).

В камерах сливов гидроциклона ГКС гидродинамические параметры потоков во всех областях способствуют получению наиболее монодисперсной системы частиц нефти наибольшего размера. При этом основными факторами процесса коалесценции являются: расход, диаметр, вязкость среды, поверхностное натяжение, концентрация и степень полидисперсности частиц нефти. Очевидно, в камерах сливов необходимо исключить возможность расслоения эмульсии, гравитационного осаждения нефтяных глобул, что обуславливает длительность воздействия, максимальное сближение, число столкновений, слияние, уменьшение полидисперсности частиц нефти, т.е. в целом эффективную коалесценцию. Для предотвращения расслоения эмульсии в камерах сливов следует поддерживать в них турбулентный режим в автомодельной области ($Re \geq 10000$) и достаточно высокое значение параметра закрутки, чтобы скорость турбулентных пульсаций потока превышала скорость гравитационного осаждения частиц нефти [3, 4].

Экспериментально найдены оптимальное соотношение длины (L) и диаметров (D) сливных камер ($L/D = 20-30$), а также рекомендуемые значения универсального параметра закрутки (Θ) потоков для верхней ($\Theta_v = 20-33$) и нижней ($\Theta_n = 16-18,5$) сливных камер, позволяющие эффективно осуществлять процесс разрушения, очистки НСВ, в том числе коалесценции нефтяных капель. Количественная оценка дисперсного состава эмульгированной нефти в НСВ показала высокую степень коалесценции и капель нефти при гидродинамической обработке эмульсии по схеме «гидроциклон – камеры сливов (ГКС)» [3].

Экспериментально установлено, что эффект очистки НСВ (угленосного типа, сероводородосодержащая нефтепромысловая сточная вода высокой стойкости) после обработки в ГКС и двухчасового отстаивания достигает 94,5 %, что на 8-10 % превышает эффективность очистки по схеме «гидроциклон – отстойник» и на 20-25 % превышает эффективность отстаивания необработанной в ГКС [3].

Анализ собранного фактического материала по методам очистки и факторов интенсифицирующих процесс очистки НСВ показал, что все факторы действуют в определенной последовательности, определенной величиной и в течение определенного времени.

Список литературы

1. Адельшин А.Б. Энергии потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. Часть 1. Гидроциклоны: Монография. – Казань: КГАСУ, 1996. – 200 с.
2. Адельшин А.Б. Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод / Дис. докт. техн. наук. – СПб., 1998. – 73 с.

3. Адельшин А.А. Моделирование процессов и разработка установок очистки нефтесодержащих сточных вод на основе использования закрученных потоков // Дис. канд. техн. наук. – Пенза, 2009. – 181 с.
4. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Гидродинамическая очистка нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков. Монография. – Казань: КГАСУ, 2011. – 245 с.
5. Шифрин С.М., Мишуков Б.Г., Феофанов Ю.А. Расчет сооружений биохимической очистки городских и промышленных сточных вод: Учебное пособие. – Л.: ЛИСИ, 1977. – 74 с.
6. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1973. – 224 с.

Adelshin A.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: a566pm@rambler.ru

Adelshin A.B. – doctor of technical sciences, professor

Busarev A.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: sa789@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

About the time factor, that may influence the process of cleaning oil-field waste water using a swirling flows

Resume

Creation of technology and block installations of purification of oil-field sewage (OFS) for a waterflooding of oil layers is an actual problem.

The high and stable effect of cleaning of OFS can be reached by a way of preliminary hydrodynamic processing it in the twirled stream. Researches created installations of cleaning of OFS with use of the twirled streams according to technological schemes: the block a hydrocyclone – a settler (BHS); the block a hydrocyclone – cylindrical chambers on top and bottom hydrocyclone drain – a settler (BCHS). Various schemes «a hydrocyclone – chambers» in effect are formed by hydrodynamic droplet formation (OC). Thus the hydrocyclone serves for preliminary hydrodynamic processing of OFS: destruction of the stabilized particles of the impurity, armouring shells, to a coalescence and reduction of polydispersion of drops of oil. As a part of OC the hydrocyclone is also the device for receiving the twirled stream in chambers.

In article results of researches of time of stay in a hydrocyclone, the device OC and are given in the whole BCHS. It is established that emulsion destruction by hydrodynamic processing in a hydrocyclone makes 1-3 s, and in the device OC 30-50 s that promotes increase of effect and stability of cleaning of OC on BHS, BCHS installations.

Keywords: oil-field sewage, hydrocyclone, chamber drains, twirled streams, hydrodynamic processing, residence time, purification.

References

1. Adelshin A.B. Energy of a stream in processes of an intensification of cleaning of the petrocontaining sewage. Part 1. Hydrocyclones: the Monography. – Kazan: KSABA, 1996. – 200 p.
2. Adelshin A.B. The intensification of processes of oilfield wastewater hydrodynamic purification / Doctor of technical sciences dissertation. – Saint-Petersburg, 1998. – 73 p.
3. Adelshin A.A. Modeling of processes and working out of installations of oilfield wastewater purification on the basis of swirling flows usage: Cand. Tech. Sci. dissertation. – Penza, 2009. – 181 p.
4. Adelshin A.A., Adelshin A.B. Urmitova N.S. Hydrodynamic purification of oilfield wastewater on the basis of swirling flows usage. Monography. – Kazan: KSUAE, 2011. – 245 p.
5. Shifrin S.M., Mishukov B.G., Feofanov Y.A. Calculation of the structures of biochemical purification of municipal and industrial wastewater: Tutorial. – L.: LCEI, 1977. – 74 p.
6. Zakgeim A.Y. Introduction into the modeling of chemical and technological processes. – M.: Khimiia, 1973. – 224 p.