



УДК 628.33

Адельшин А.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: a566pm@rambler.ru

Адельшин А.Б. – доктор технических наук, профессор

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

К вопросу автоматического регулирования процессов разделения нефтяных эмульсий в напорных гидроциклонах*

Аннотация

Внедрение индустриальных методов обустройства нефтяных месторождений предусматривает широкое применение высокого уровня автоматизированных оборудования, аппаратов, установок очистки НСВ в блочном исполнении.

В статье приводятся результаты анализа теоретических и экспериментальных исследований о том, что работа гидроциклона в режиме эффективного разделения высококонцентрированных нефтяных эмульсий на нефть через верхний слив и воду через нижний слив сопровождается генерацией звука, что может быть использовано для автоматического регулирования процесса разделения нефтяных эмульсий.

Ключевые слова: нефтяная эмульсия, гидроциклон, разделение, генерация звука, процесс, автоматическое регулирование.

Создание, разработка технологии и установок очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) для утилизации в системах заводнения, нефтяных пластов является актуальной проблемой и единственным экономически и экологически выгодным путем ликвидации их на промыслах Российской Федерации.

Внедрение индустриальных методов обустройства нефтяных месторождений предусматривает широкое применение высокого уровня автоматизированных оборудования, аппаратов, установок очистки НСВ в блочном исполнении.

Установлено, что высокий и стабильный эффект очистки НСВ может быть достигнут за счет предварительной гидродинамической обработки ее в напорных гидроциклонах, что способствует наиболее полному и быстрому разрушению бронирующих оболочек на каплях дисперсной фазы (нефти, воды), уменьшению полидисперсности, коалесценции капель. При этом увеличивается глубина очистки НСВ от нефти и сокращается продолжительность очистки последовательным отстаиванием в 1,5-2,0 и более раза [1, 2].

Исследования с визуализацией потока на прозрачных (стеклянных, из оргстекла) гидроциклонах показали, что поверхность образующегося воздушного шнура (нефтегазоводяного шнура) постоянно совершает колебательные движения, пульсирует в радиальном направлении. Амплитуда пульсации относительно оси гидроциклона в зависимости от режима (давления питания) течения жидкости в полости аппарата составляет около 4÷5 мм. Частота пульсации поверхности, ориентировочно равная частотам вращения потока, зависит также от режима питания: увеличивается с увеличением давления питания, а амплитуда уменьшается с увеличением давления на входе в аппарат. Для режима с относительно высоким эффектом разделения эмульсии характерны более мелкомасштабные пульсации поверхности по всей высоте рабочей зоны аппарата. Это обстоятельство способствует сдвигу глобул нефти относительно друг друга, их эффективному и частому столкновению в зоне ядра и в конечном счете коалесценции частиц нефти.

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2012 годы. Государственный контракт № П1362 от 11.06.2011 г.

Установлено, что процесс разделения нефтепромысловых сточных вод (НСВ), в частности, высококонцентрированных нефтью, и разделения обводненной нефти (обезвоживания нефти) в напорных гидроциклонах при свободном сбросе воды через нижний слив сопровождается генерацией звука определенной частоты. Величина частоты звука соответствует определенной величине эффекта очистки [1].

Определенно, что генерация звука происходит при истечении веерообразной струи жидкости через нижний слив гидроциклона и при колебаниях пограничной области полого аксиального газового шнура (воздушного столба).

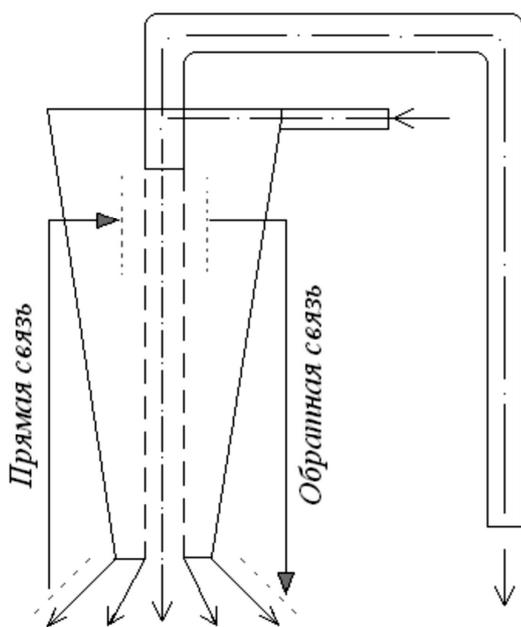


Рис. 1.

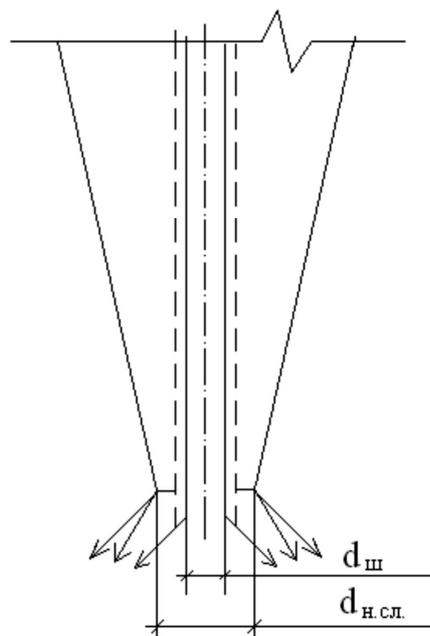


Рис. 2.

Для определения частоты генерации рассмотрим струю, истекающую через нижний слив гидроциклона и полый газовый шнур, как гидродинамическую колебательную систему (рис. 1). Подобный подход используется при исследовании генерации звука в различного рода струйно-акустических генераторах, таких, как свистки Гартмана [3], генераторы с внешними и внутренними обратными связями [4].

Физическая модель процесса заключается в следующем: вязкая струя несжимаемой жидкости, истекающая из отверстия, способна ослаблять или усиливать сносимые в нее возмущения в зависимости от потока и безразмерной частоты возмущения – числа Струхалья (Sh), т.е. струя может рассматриваться как резонансный усилитель [5, 6]. С другой стороны, газовый шнур внутри гидроциклона может рассматриваться как (рис. 1) акустическая обратная связь, замыкающая струйный усилитель по схеме (рис. 2).

Акустическая обратная связь обладает коэффициентом усиления < 1 , ввиду выноса акустической энергии через отверстие нижнего слива и стенки корпуса гидроциклона.

Процесс генерации звука при данном подходе можно описать следующим образом: вследствие гидродинамической неустойчивости струи любые малые возмущения, например, поверхностная волна (в ней усиливаются возмущения по форме поверхности газ-жидкость при истечении жидкости через нижний слив), приводят к периодическому изменению площади газового шнура в области нижнего слива. Последнее вызывает периодическую генерацию волн, распространяющуюся по газовому шнуру, отражающихся от потолка газового шнура закрытого (рис. 2) торца газового шнура, который находится в области поворота верхнего слива от вертикали). Отраженные волны, взаимодействуя со струей, вызывают возмущения, колебания в подобной замкнутой системе, являются самоподдерживающимися, если результирующее усилие в контуре > 1 .

Из теории устойчивости движения известно, что незатухающие колебания в замкнутых системах устанавливаются тогда, когда в условно разомкнутом состоянии

модуль $|K(i\omega)| = 1$; $i = \sqrt{-1}$; $\omega = 2\pi\varphi K$, а аргумент частной функции $\arg K(i\omega) = -\pi$. Данные условия называются условиями незатухающих колебаний Найквиста [7] или границей устойчивости по Найквисту. Последнее условие в нашем случае выполняется всегда, т.к. в газовом шнуре имеет место временная задержка между подачей акустического импульса на вход в газовый шнур. $\arg K(i\omega)$ вычисляется как $\arg K(i\omega) = \omega\tau_3 = 2\pi\varphi\tau_3$; $\tau_3 = 2L/a$; L – длина (высота) шнура, в данном случае на Г-1-75 равнялась 0,75 м; скорость звука равна \sqrt{KgRT} ; поэтому для любого τ_3 можно подобрать φ_K такое, что $\arg K(i\omega) = -\pi$. Нетрудно показать, что $\arg K(i\omega) = -\pi$ будет при $\varphi_1 = 1/2\tau_3 = a/4L$, а также на кратных частотах (3-й, 5-й и т.д. гармоники): $\varphi_3 = 3a/4L$; $\varphi_5 = 5a/4L$, а первое условие (модуль равен -1) выполняется вследствие зависимости в реальной нелинейной системе от амплитуды: коэффициент усиления с ростом амплитуды снижается [8].

Вычислениями проверим гипотезу о том, что скачок вязкости жидкости нижнего слива, связанный с изменением концентрации нефти в нижнем сливе, т.е. эффекта разделения (очистки), приводит рассматриваемую систему в автоколебательное состояние.

Вычисления. Рассмотрим условия возбуждения колебаний в нашей системе на плоскости Sh-Re [6] при течении через нижний слив гидроциклона чистой воды (разделение есть, эффект высокий) и водонефтяной эмульсии (нет разделения или низкий эффект разделения). В качестве исходных данных возьмем результат двух опытов на гидроциклоне Г-1-75 при: диаметре нижнего слива $d_{н.сл.} = 10$ мм: давлении питания $P = 2 \times 10^5$ МПа; температуре исходной НСВ $T = 27^\circ\text{C}$. Исходная концентрация в НСВ $C_n = 50 \times 10^4$ мг/л; плотность в НСВ $\rho = 1,06$ г/см³. Через нижний слив гидроциклона сбрасывалась вода.

Опыт 1: с $C_n = 50$ мг/л; вязкость НСВ $\mu = 1,1 \times 10^{-6}$ м²/с, определено, что $d_{в.ст.} = 0,006$ м; $\delta_1^+ = 0,002$ м (рисунок 3); $V_1 = 7,63$ м/с при $H = 0,3$ м в.ст. гидроциклон разделил эффект разделения $\Xi > 99\%$.

Опыт 2: с $C_n = 50 \times 10^4$ мг/л; $\mu = 7,65 \times 10^{-6}$ м²/с, определено, что $d_{в.ст.} = 0,01$ м; $\delta_1^+ = 0,004$ м (рисунок 3); $V_2 = 4,44$ м/с при $H = 0,1$ м в. ст., гидроциклон не разделил.

По формуле:

$$Re_d = \frac{rVd}{\mu}; \quad Re_{d_1} = 41600; \quad Re_{d_2} = 580,3;$$

а по формуле:

$$Re_\delta = \frac{rVd}{\mu}; \quad Re_{d_1} = 13728; \quad Re_{d_2} = 232.$$

Затем определим число Струхалия $Sh_1 = 0,021$, а $Sh_2 = 0,079$ при:

$$j_K = \frac{d}{4\sqrt{\varphi}} = \sqrt{\frac{kgRT}{4\sqrt{\varphi}}} = 80\Gamma\varphi.$$

Нанесем полученные рабочие точки на плоскость Sh-Re (рисунок 3) и рассмотрим их относительно нейтральной кривой. Расположение точек указывает, что при изливе очищенной пластовой воды ($C_n = 50$ мг/л) генерация звука имеет место на частоте 1-й гармоники при $\varphi_K = 80$ Гц (точка А) и отсутствует при изливе неочищенной пластовой воды ($C_n = 50 \times 10^4$ мг/л) (точка Б), что совпадает с экспериментальными данными.

Аналогичные расчеты показали, что в режиме относительно эффективного разделения высококонцентрированных НСВ характерное число Струхалия $Re_{кр} = 420$ Re составляет $Sh \approx 0,02$, что свойственно автоколебательным гидродинамическим процессам.

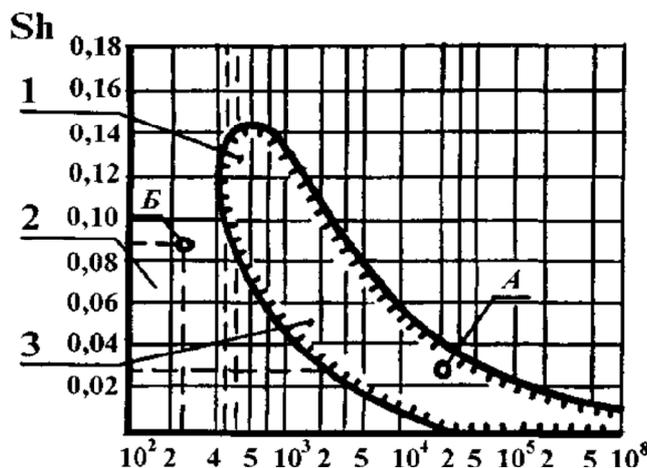


Рис. 3.

При этом наблюдаются интенсивные радиальные пульсации воздушного шнура. В литературе [9] также отмечается, что в приосевой зоне вихревых камер пульсации носят характер автоколебаний строго периодической структуры, резко отличающейся от турбулентности.

В пристенной области камеры наблюдается турбулентность обычного типа. Автоколебательные режимы в гидроциклонах до сих пор недостаточно исследованы.

Таким образом, работа гидроциклона в режиме эффективного разделения высококонцентрированной эмульсии на нефть через верхний слив и воду через нижний слив сопровождается генерацией звука, что может быть использовано для регулирования процесса разделения.

Список литературы

1. Адельшин А.Б. Энергия потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. Часть I. Гидроциклон: Монография. – Казань: КГАСУ, 1996. – 200 с.
2. 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.
3. Физика и техника мощного ультразвука. Том 1, 2. Источники мощного ультразвука. – М.: Изд. «Акустика» АН СССР, 1987. – 90 с.
4. Залманзон Л.А. Пневматика. Струйная пневмоавтоматика. – М.: Наука, 1964. – 64 с.
5. Рауменбах Б.В. Вибрационное горение. – М.: Физматгиз, 1961. – 500 с.
6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1969. – 742 с.
7. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория системы автоматического регулирования. – М.: Наука, 1966. – 992 с.
8. Попов Е.П., Польшов И.П. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. – М.: Физматгиз, 1960. – 792 с.
9. Гольдштик М.А. Вихревые потоки. – Новосибирск: Сиб. отделение Академии наук СССР. Наука, 1981. – 368 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

To the issue of automatic control processes of separation of oil emulsions in pressure hydrocyclones

Resume

The introduction of industrial methods of oil fields development includes widespread use of high level automated block purification plants of oilfield wastewater.

High and stable purification effect of oilfield sewage can be achieved by pretreatment in the hydrodynamic pressure hydrocyclones. It increases the depth of oilfield sewage purification from oil and reduces duration of purification by consistent upholding in 1,5-2 times and more.

Flow visualization studies on transparent (glass, plexiglas) hydrocyclones showed that the surface of the resulting air cord (oil-gas-water cord) continuously performs an oscillatory motion, pulsates in radial direction. The amplitude of pulsation axis cyclone depending on the mode (supply pressure) of fluid flow in the cavity of device is about 4÷5 mm. Ripple frequency of the surface roughly equal to the frequency of flow rotation also depends on the mode of supply: pressure increases with increasing power, and the amplitude decreases with increasing pressure at the inlet of device. For the mode with relatively high separation effect of emulsion is characterized by a small-scale ripple of surface over the entire height of the working zone of device. This circumstance contributes to the shift of the globules of oil relative to each other, their effective and often clash in the area of the nucleus and finally coalescence of particles of oil.

It was found that the separation process of oil-field sewage particularly of highly concentrated with oil and water-cut oil separation in pressure hydrocyclones with the free discharge of water through the bottom drain is accompanied by the sound generation of a certain frequency. Magnitude of the frequency of sound corresponds to a specific purification effect size, that can be used to regulate the separation process (purification).

Keywords: oil emulsion, hydrocyclone, separation, sound generation, process, automatic control.

References

1. Adelshin A.B. Energy of stream in processes of an intensification of clearing of the petrocontaining sewage. Part 1, Hydrocyclones: Monography. – Kazan, KSABA, 1996. – 200 p.
2. Adelshin A.A., Adelshin A.B., Urmitova N.S. Hydrodynamic cleaning of oilfield sewage on the basis of swirling flows usage. Monography. Kazan: KSUAE, 2011. – 245 p.
3. Physics and engineering of high-intensity ultrasound. Part 1, 2. Sources of high-intensity ultrasound. – M.: Publ. «Akustika» AS USSR, 1987. – 90 p.
4. Zalmanzon L.A. Pneumatics. Fluid pneumoautomatics. – M.: Nauka, 1964. – 64 p.
5. Raumenbakh B.V. Vibrating combustion. – M.: Fizmatgiz, 1961. – 500 p.
6. Shlikhting G. Boundary layer theory. – M.: Nauka, 1969. – 742 p.
7. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of automatic control system. – M.: Nauka, 1966. – 992 p.
8. Popov E.P., Poltov I.P. Approximate methods for study of nonlinear automatic systems. – M.: Fizmatgiz, 1960. – 792 p.
9. Goldshtik M.A. Whirling flows. – Novosibirsk: Siberian branch of ASUSSP. Nauka, 1981. – 368 p.