

Жежеря Николай Илларионович

**РАЗМЕРЫ И ДВИЖЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ НЕФТИ В АКУСТИЧЕСКОМ ДЕАЭРАТОРЕ**

Разработан акустический деаэратор с использованием ультразвуковых колебаний для динамической дегазации нефти. Рассмотрены общие аналитические соотношения, описывающие размеры и движения пузырьков газа в нефти при дегазации ее в акустическом деаэраторе.

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2012/8/15.html](http://www.gramota.net/materials/1/2012/8/15.html)

**Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.**

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2012. № 8 (63). С. 50-53. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2012/8/](http://www.gramota.net/materials/1/2012/8/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

УДК 681.5:62-5(66.011)

**Технические науки**

*Разработан акустический деаэратор с использованием ультразвуковых колебаний для динамической дегазации нефти. Рассмотрены общие аналитические соотношения, описывающие размеры и движения пузырьков газа в нефти при дегазации ее в акустическом деаэраторе.*

*Ключевые слова и фразы:* нефть; дегазация; акустический деаэратор; углеводородный газ; размеры пузырьков газа.

**Николай Илларионович Жежера**, д.т.н., профессор

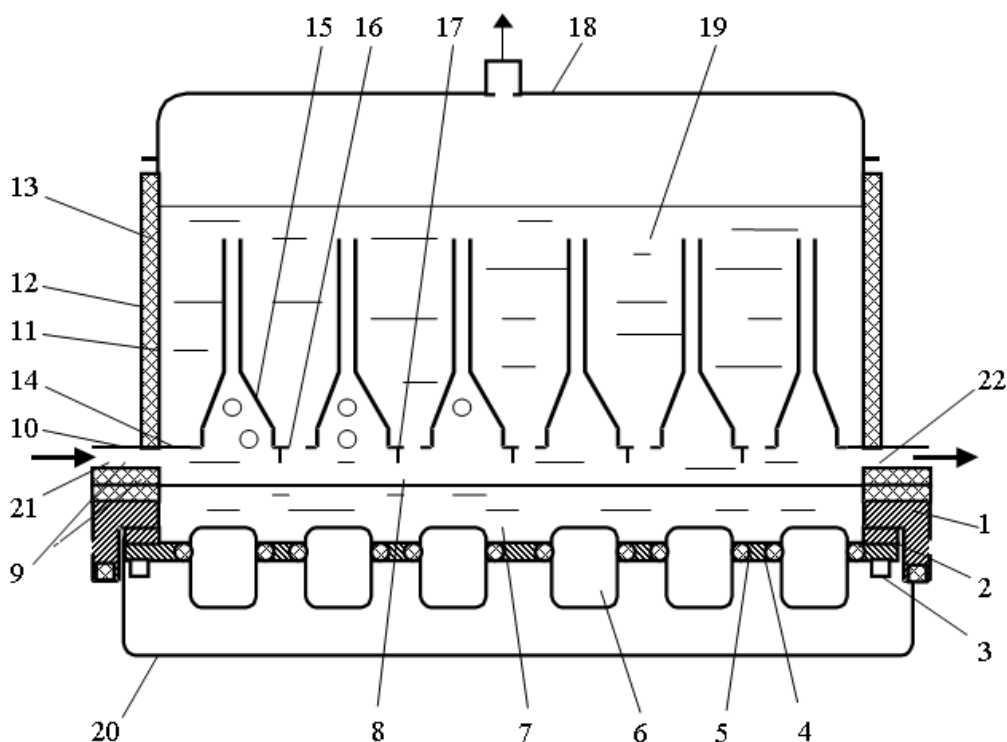
Кафедра систем автоматизации производства

Оренбургский государственный университет

nik-gegera@rambler.ru

### РАЗМЕРЫ И ДВИЖЕНИЕ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА ПРИ ДЕГАЗАЦИИ НЕФТИ В АКУСТИЧЕСКОМ ДЕАЭРАТОРЕ<sup>©</sup>

На станциях первичной переработки нефти, добываемой со скважин, отделение углеводородных газов от нефти производится в сепарационных установках газ - нефть [2, с. 58]. Для более глубокой дегазации нефти от углеводородных газов разработан акустический деаэратор с использованием ультразвуковых колебаний [6]. Он предназначен для удаления из нефти растворенного или находящегося в виде пузырьков углеводородного газа. На Рисунке 1 представлена схема акустического деаэрата. Деаэратор содержит основание 1, к которому через эластичную герметизирующую прокладку 2 присоединена с помощью винтов и шпилек 3 пластина 4. На пластине 4 посредством эластичных уплотнительных элементов 5 установлены один за другим пьезокерамические ультразвуковые преобразователи 6, выполняющие функции первичных акустических источников.



**Рис. 1.** Схема акустического деаэрата

Над первичными акустическими источниками выполнена полость 7 с промежуточной жидкостью, ограниченная с боков основанием деаэрата, а сверху - вторичным акустическим источником 8, выполненным в виде пластины.

Вторичный акустический источник установлен через акустически развязывающие эластичные прокладки 9. Над вторичным источником через эластичные прокладки установлено основание 10 корпуса деаэрата,

на котором смонтирован составной корпус деаэрата, образованный стенкой 11 и наружной стенкой 12. Между стенками 11 и 12 помещен звукопоглотитель 13.

На основании корпуса деаэрата размещена платформа 14, на которой смонтированы своими основаниями цилиндрикоконические отводы 15 для активного вывода газов так, что каждый отвод расположен над соответствующим первичным источником. Отводы в нижней части выполнены коническими. Они предназначены для фиксации участка рабочей среды и для отделения слоя рабочей среды, поступающей к потребителю, от всего полного объема среды в деаэрате.

Далее расположена цилиндрическая перфорированная часть. Эта часть предназначена для интенсивного вывода пузырьков газа. Цилиндрическая часть по образующей снабжена отверстиями диаметром 3-5 мм, общая площадь которых составляет 30-50% общей цилиндрической поверхности.

На платформе между отводами 15 выполнены отверстия 16 диаметром 5-10 мм, расположенные один за другим поперек платформы с промежутком 3-5 мм или сплошное щелевое отверстие шириной 5-10 мм. На платформе 14 перед отверстиями 16 или перед сплошными щелевыми отверстиями в плоскости перпендикулярной основному потоку установлены перегородки 17 высотой 5-10 мм. Сверху на корпусе деаэрата имеется крышка 18, закрывающая рабочую емкость 19 деаэрата.

Рабочая емкость деаэрата образована снизу вторичным акустическим источником, с боков - стенками корпуса, а сверху - крышкой деаэрата. Снизу к основанию деаэрата прикреплен звукозащитный кожух 20, через который посредством уплотненного отверстия осуществлен подвод питания к первичным источникам. В основании корпуса деаэрата выполнены отверстия 21 и 22 соответственно для подвода исходной и вывода деаэрированной нефти.

Акустический деаэрат работает следующим образом. При включении первичных акустических источников 6 колебания распространяются через промежуточную согласующую среду в полость 7 и вторичный источник колебаний 8 в рабочую среду.

Рабочая исходная среда, содержащая нефть и газ в виде пузырьков, поступает в деаэрат через отверстия 21, проходит над вторичным источником под платформой 14, деаэрируется в результате воздействия акустического поля и поступает без пузырьков к потребителю через отверстие 22. Основная часть энергии в рабочую среду передается по месту расположения первичных источников.

От вторичного источника над первичными в рабочую среду излучается акустическое радиационное давление, и устанавливаются акустические потоки [3, с. 47], которые создают соответствующие силы на пузырьки, действующие в направлении всплытия, и выталкивают их из нижних слоев потока нефти по цилиндрической части отводов 15.

На стенках отводов 15 вначале закрепляются мелкие пузырьки газа, а затем образуются более крупные пузырьки, скорость перемещения их резко падает в направлении всплытия, так как снижается акустическое воздействие из-за большого поглощения энергии в вязкой газожидкостной среде, а сопротивление всплытию пузырьков достаточно велико из-за гидравлического сопротивления и капиллярных сил.

В устройстве для интенсификации вывода газов из нефти создается гидродинамический подпор на каждом цилиндрикоконическом отводе 15, то есть разность давлений жидкости, создаваемая между вертикальными сечениями, проходящими через отводы 15 (первое сечение) и через отверстия 16 (второе сечение). Эти перепады давлений между сечениями, проходящими через отводы и ряды отверстий в платформе, создаются перегородками 17.

Перегородки 17 обеспечивают дополнительную циркуляцию рабочей среды и предотвращают застой ее выше платформы. Опускаясь медленно вниз через отверстия 16, рабочая среда соединяется с основным потоком, движущимся между вторичным источником и платформой, и поступает к потребителю через отверстие 21.

Условие статического равновесия газового пузырька в жидкости, не учитывая явления диффузии, определяется соотношением [5; 7; 10]

$$P = P_n + \left( P_0 - P_n + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \frac{R_0^3}{R^3} - \frac{2\sigma}{R},$$

где  $P$  - давление в жидкости, которая окружает газовый пузырек в некоторый момент времени, Па;  $P_0$  - гидростатическое равновесное давление в жидкости, которая окружает газовый пузырек в начальный момент времени и когда существует равновесие между начальным давлением  $P_0$  и начальным радиусом газового пузырька  $R_0$ , Па;  $R_0$  - начальный (равновесный) радиус газового пузырька, находящегося в жидкости, м;  $R$  - текущее значение радиуса газового пузырька в жидкости, м;  $P_n$  - давление насыщенных паров внутри газового пузырька, Па;  $\sigma$  - поверхностное натяжение жидкости, Н/м.

Если в жидкости создается переменное давление под воздействием ультразвуковых колебаний в виде [5]

$$P = P_A \sin \omega t,$$

где  $P_A$  - максимальное амплитудное значение давления от воздействия ультразвукового поля, Па;

тогда внешнее давление  $P_B(t)$ , действующее на пузырек в любой момент времени  $t$ , определяется выражением [1]

$$P_B(t) = P_A \sin \omega t + P_0$$

Если создаваемый источником колебаний уровень звукового давления невелик и сумма давлений  $P_0 + P_S \gg P_A$  (где  $P_S$  - давление от сил поверхностного натяжения и  $P_S = 2\sigma/R$ ), тогда газовый пузырек бу-

дет пульсировать в звуковом поле, мало изменяя свои первоначальные размеры. Характер пульсации пузырька резко изменяется при условии  $P_A \geq P_0 + P_S$ .

В работе [9] вводятся понятия критического давления и критического размера пузырька. Под критическим размером пузырька  $R_K$  подразумевается минимальный радиус пузырька, при котором последний теряет устойчивость из-за того, что внешние силы равны или превосходят по величине силы, стремящиеся вернуть пузырек в равновесное состояние. Критическое давление  $P_K$  - это минимальное разрежение, создаваемое источником колебаний, при котором пузырек определенного размера теряет устойчивость и может беспрепятственно расширяться под действием давления парогазовой смеси в пузырьке.

Критический радиус определяется по соотношению [Там же]

$$R_K = \frac{4\sigma}{3(0,7P_A + P_n - P_0)}$$

При расширении пузырек вытесняет жидкость. Если начальный размер пузырька  $R_0$  значительно меньше конечного  $R_{max}$ , достигнутого при расширении, то масса вытесненной жидкости определяется по формуле  $m = 4/3 \cdot \pi \rho R_{max}^3$ . Эта величина характеризует присоединенную массу жидкости и определяет инерционные свойства пузырька. Чем больше радиус пузырька, тем больше присоединенная масса жидкости, а следовательно, тем труднее вывести пузырек из равновесного состояния [Там же]. Следовательно, крупные пузырьки будут пульсировать в акустическом поле так же, как «зародыши», у которых  $R_0 < R_K$ .

Максимальный размер пузырька, при котором он пульсирует, мало изменяя свои первоначальные размеры или резонансный размер пузырька  $R_p$  может быть приближенно вычислен из выражения [Там же]

$$f = \frac{1}{2\pi R_p} \sqrt{\frac{3n}{\rho} \left( P_0 + \frac{2\sigma}{R_p} \right)},$$

где  $f$  - частота ультразвукового поля, Гц;  $n$  - показатель политропы;  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Вывод дифференциального уравнения движения газового пузырька в звуковом поле производится с использованием двух основных уравнений гидродинамики: уравнения движения жидкости и уравнения неразрывности. В результате теоретического анализа получено дифференциальное уравнение движения парогазового пузырька [7; 10]

$$\left[ R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 \right] \rho - \left[ \left( P_0 - P_n + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \cdot \left( \frac{R_0}{R} \right)^3 + P_n - \frac{2\sigma}{R} \right] - P_A \sin \omega \cdot t + P_0 = 0 \quad (1)$$

Физический смысл уравнения движения газового пузырька состоит в том, что сумма всех действующих на любой элементарный объем жидкости давлений равна нулю и газовый пузырек находится в состоянии динамического равновесия в каждый рассматриваемый промежуток времени.

В уравнении (1) первый член - это динамическое давление, создаваемое потоком движущейся жидкости, второе слагаемое - давление парогазовой смеси в пузырьке, а третий член - внешнее, меняющееся во времени давление.

Уравнения движения парогазового пузырька в звуковом поле являются нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка и не решаются аналитически. Для их решения используются методы численного интегрирования.

Скорость всплытия одиночного пузырька газа в жидкости  $w$ , м/с, определяется [4] из баланса подъемной силы и силы сопротивления движению пузырька в жидкости

$$Vg(\rho_{жс} - \rho_{г}) = \xi \frac{w^2}{2} \rho_{жс} F,$$

где  $V$  - объем газового пузырька, м<sup>3</sup>;  $\rho_{жс}$ ,  $\rho_{г}$  - плотность жидкости и газа в пузырьке, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi$  - коэффициент сопротивления движения газового пузырька в жидкости;  $F$  - площадь поперечного сечения газового пузырька, м<sup>2</sup>.

Чем меньше объем газового пузырька, тем ближе его форма к сферической. Для сферических газовых пузырьков при значении критерия Рейнольдса  $Re < 2$  скорость всплытия пузырька [Там же]

$$w = \frac{(\rho_{жс} - \rho_{г}) R^2 g}{9\mu_{жс}},$$

где  $R$  - радиус газового пузырька, м.

Большие пузырьки газа, с объемом более 2 см<sup>3</sup>, имеют скорость свободного подъема, определяемую по приближенной формуле Дэвиса и Тейлора [8]

$$w = \frac{2}{3} \sqrt{gR}$$

Перепад давлений  $\Delta h$ , м, между вертикальными сечениями (Рисунок 1), проходящими через отводы 15 (первое сечение) и через отверстия 16 (второе сечение) определяют по уравнению Бернулли для вязкой жидкости [1]

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{K_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{K_2 V_2^2}{2g} + \Delta h,$$

где  $z_1$  и  $z_2$  - гидростатический напор в потоке жидкости первого и второго сечений, м;  $P_1/\rho g; P_2/\rho g$  - пьезометрический напор в потоке жидкости первого и второго сечений, м;  $K_1 V_1^2/2g; K_2 V_2^2/2g$  - скоростной напор потока жидкости в первом и втором сечении, м;  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $V_1, V_2$  - средняя скорость жидкости в первом и втором сечениях, м/с;  $K_1, K_2$  - коэффициент перехода от местной скорости к средней скорости жидкости для первого и второго сечений.

Таким образом, разработан акустический деаэратор с использованием ультразвуковых колебаний для динамической дегазации нефти. Рассмотрены общие аналитические соотношения, описывающие размеры и движения пузырьков газа в нефти при дегазации ее в акустическом деаэраторе.

#### Список литературы

1. Жежера Н. И. Развитие теории и совершенствование автоматизированных систем испытаний изделий на герметичность: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. Оренбург: ОГУ, 2004. 441 с.
2. Жежера Н. И. Сепарационная установка газ-нефть как объект автоматического управления по давлению газа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 5. С. 58-64.
3. Жежера Н. И., Самойлов Н. Г. Теоретические положения к устройству измерения динамической составляющей расхода газа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 4 (39). С. 47-50.
4. Коган В. Б., Харисов М. А. Оборудование для разделения смесей под вакуумом. Л.: Машиностроение, 1976. 386 с.
5. Красильников В. А., Крылов В. В. Введение в физическую акустику. М.: Наука, 1984. 400 с.
6. Патент на изобретение 2173569 РФ, МКИ В01D 19/00. Акустический деаэратор / Н. И. Жежера, В. В. Тугов, А. И. Сердюк (РФ); заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. № 2000107961/12; заявл. 30.03.2000; опубл. 20.09.01. Бюлл. № 26. 8 с.
7. Перник А. Д. Проблемы кавитации. Л.: Судостроение, 1968. 290 с.
8. Протодьяконов И. О., Люблинская И. Е. Гидродинамика и массообмен в системах газ-жидкость. Л.: Наука, 1990. 365 с.
9. Ультразвуковая технология / под ред. Б. А. Аграната. М.: Металлургия, 1974. 504 с.
10. Шутилов В. А. Основы физики ультразвука. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. 280 с.

УДК 947

#### Исторические науки и археология

*В статье на примере архивных источников из Государственного архива Тамбовской области рассматриваются проблемы морально-нравственного состояния, правовой культуры и правосознания городской провинциальной среды Тамбовской губернии пореформенного периода второй половины XIX в. В материалах судебного следствия отчетливо предстают нравы и особенности внутрисемейных и родственных отношений городского общества российской провинции того периода.*

*Ключевые слова и фразы:* мораль; нравы; правосознание; правовая культура; городское население уездных городов.

**Дмитрий Павлович Жеребчиков**

*Кафедра «История и философия»*

*Тамбовский государственный технический университет*

*ditrich87@mail.ru*

#### НРАВЫ И ПРАВОВАЯ КУЛЬТУРА НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДОВ ТАМБОВСКОЙ ГУБЕРНИИ ПОРЕФОРМЕННОГО ПЕРИОДА<sup>©</sup>

К сожалению, архивные хранилища дают нам факты отжившей жизни по преимуществу отрицательного характера...  
*И. И. Дубасов, тамбовский краевед XIX века.*

Любопытную картину о морально-нравственном состоянии городского населения уездных городов пореформенного периода могут дать архивные материалы Государственного архива Тамбовской области, в частности дела из фонда Губернского прокурора. Причем наиболее значимы в этих документах в первую очередь именно отчетливо вырисовывающиеся нравы городской среды, а не правовая составляющая часть.

Одно из судебно-следственных дел описывает ситуацию, которая произошла в уездном городе Спасске [1, д. 174]. 14 мая 1876 г. спасский мещанин Иван Удальцов подал прошение судебному следователю, в котором, а также на допросе у следователя, пояснил, что его дочь Евдокия (Авдотья по народному),