

Многосекционный вибрационный насос как элемент гидравлической системы, влияющий на реологические свойства добываемой продукции

М.Д. Гаджиев, А.В. Стрекалов

Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень

gadzhievmd@tyuiu.ru
strekalovav@tyuiu.ru

Аннотация

Скважинная добыча углеводородов является сложным технологическим процессом. Выбор механизированного способа добычи нефти в различных условиях эксплуатации является основой их последующей эффективной работы, результатом которой должна быть экономическая целесообразность. Эксплуатация скважин традиционными способами добычи в осложненных (жестких термобарических) условиях сопровождается множеством проблем, которые приводят к сокращению срока службы глубинно-насосного оборудования. Применение альтернативных (новых) способов добычи нефти позволило бы решить такие проблемы. К альтернативным способам добычи можно отнести вибрационный насос.

В предыдущих работах была рассмотрена установка вибрационного насоса (объемного и динамического) действия, которая состоит из последовательно соединенных секций. В этой же статье представлена характеристика гидравлической системы, которую можно описать в виде нелинейного уравнения, через узловой анализ структуры «пласт-скважина-насос-устье». Рассмотрено влияние вибрационного воздействия насоса и образования кавитационных процессов на вязкость жидкости. Сделан вывод, что представленный насос может привести к трансформации структурно-реологических свойств жидкости, уменьшая ее вязкость.

Ключевые слова:

Вибрационный насос, вязкость жидкости, кавитация, кавитационный процесс, вибрационное воздействие, дисперсные системы, реологические свойства жидкости, гидравлическая система

Введение

На сегодняшний день в структуре запасов углеводородов наблюдается динамика увеличения доли трудноизвлекаемых запасов нефти, которая связана с различными факторами. Доля мировых запасов высоковязких нефтей составляет 810 млрд. т. [1]. Во многих странах данные запасы рассматривают в качестве основного базового сырья.

Multisectional vibration pump as an element of the hydraulic system that affects the rheological properties of the extracted product

M.D. Gadzhiev, A.V. Strekalov

Industrial University of Tyumen,
Tyumen

gadzhievmd@tyuiu.ru
strekalovav@tyuiu.ru

Abstract

Downhole production of hydrocarbons is a complex technological process. The choice of a mechanized method of oil production in various operating conditions is the basis for their subsequent effective work, the result of which should be economic feasibility. The operation of wells by traditional methods of production in complicated (hard thermo-baric) conditions is accompanied by many problems that lead to a reduction in the service life of downhole pumping equipment. The use of alternative (new) methods of oil production would solve such problems. An alternative extraction method is a vibratory pump.

In previous works, the installation of a vibration pump (volumetric and dynamic) was considered, which consists of series-connected sections. The same article presents a characteristic of a hydraulic system, which can be described as a non-linear equation, through a nodal analysis of the "reservoir-well-pump-mouth" structure. The influence of the vibration effect of the pump and the formation of receipt processes on the viscosity of the liquid is considered. It is concluded that the presented pump can lead to the transformation of the structural and rheological properties of the liquid, reducing its viscosity.

Keywords:

Vibration pump, liquid viscosity, cavitation, cavitation process, vibration effect, dispersed systems, fluid rheology, hydraulic system

За последние 10 лет технологии, позволяющие извлекать высоковязкие нефти, начали интенсивно развиваться.

Как уже говорилось в статьях [2, 3], вибрационный насос оказывает положительное воздействие на вязкость добываемой нефти, меняя реологические свойства. Принцип работы вибрационного насоса основан на изменении

давления воздуха и жидкости во внутренней камере за счет возвратно-поступательных движений штока. Принципиальная схема насоса представлена на рис. 1 а. При пропускании переменного электрического тока по виткам катушки электропривода насоса создается магнитное поле, направление линий которого меняется с периодичностью 50 раз в секунду, благодаря чему якорь насоса начинает то притягиваться к сердечнику катушки, то отталкиваться от него, совершая возвратно-поступательные движения (вибрации). Движения якоря через шток передаются диафрагме, которая также начинает совершать осевые перемещения, тем самым перекачивая жидкость в насосно-компрессорные трубы (НКТ) за счет периодического изменения давления.

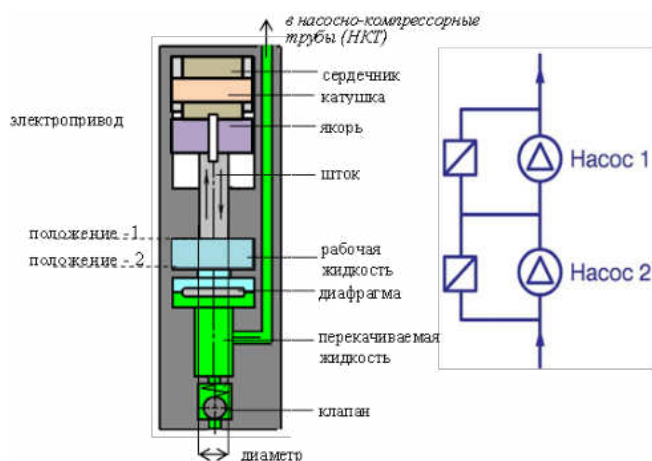


Рисунок 1. Схема вибрационного насоса: а – устройство вибрационного насоса, б – последовательное соединение двух вибрационных насосов.
Figure 1. Scheme of a vibration pump: а - vibration pump device, б - serial connection of two vibration pumps.

При последовательном соединении нескольких вибрационных насосов можно получить многосекционный насос, как представлено на рис. 1 б. Многосекционный вибрационный насос отличается тем, что каждая секция представлена отдельным модулем и выполнена, как вибрационный насос смешанного типа (динамического/ объемного), и подключаемая последовательно.

Рассмотрим многосекционный вибрационный насос как часть гидравлической системы.

Расчет гидравлической характеристики

Распределение расходов и давлений в моделях гидравлической системы при установившемся движении несжимаемой жидкости описывается:

- линейными соотношениями, аналогичными законам Кирхгофа для электрических схем;
- нелинейными уравнениями связи между перепадами давления на концах звеньев и расходами в них, которые называются замыкающими соотношениями или полными гидравлическими характеристиками звеньев.

Структура «пласт-скважина-насос-устье»

Рассмотрим гидравлическую систему на рис. 2 со структурой «пласт-скважина-насос-устье», состоящую из t -узлов и n -звеньев, в которой перемещается углеводородная смесь.

На рис. 2 а показана схема добычи углеводородов. Справа на рис. 2 б гидравлическая система представлена четырьмя звеньями ($n=4$, звенья – 0, 1, 2, 3) и пятью узлами ($m=5$, узлы – 0, 1, 2, 3, 4).

Закон гидравлического воздействия, связывающий перепад давления p'_i на концах звена i и установившийся расход q_i , задан для каждого звена $i \in [j_{ia}, j_{ib}]$ (где j_{ia} и j_{ib} – начальный и конечный узлы) и представлен в виде (1):

$$p'_i = f_i(q_i). \quad (1)$$

Выражение $f_i(q_i)$ зависит от гидравлического сопротивления [4], производительности насосов и других параметров системы и описывает взаимосвязь перепада давления от расхода только в связи с внутренними техническими параметрами объекта – звена i , но не от геометрического положения звена в пространстве, иначе говоря, не зависит от гидростатического перепада между узлами j_{ia} и j_{ib} , так как гидростатический перепад давления не зависит от величины расхода q_i .

На рис. 3 представлены зависимости перепада давлений

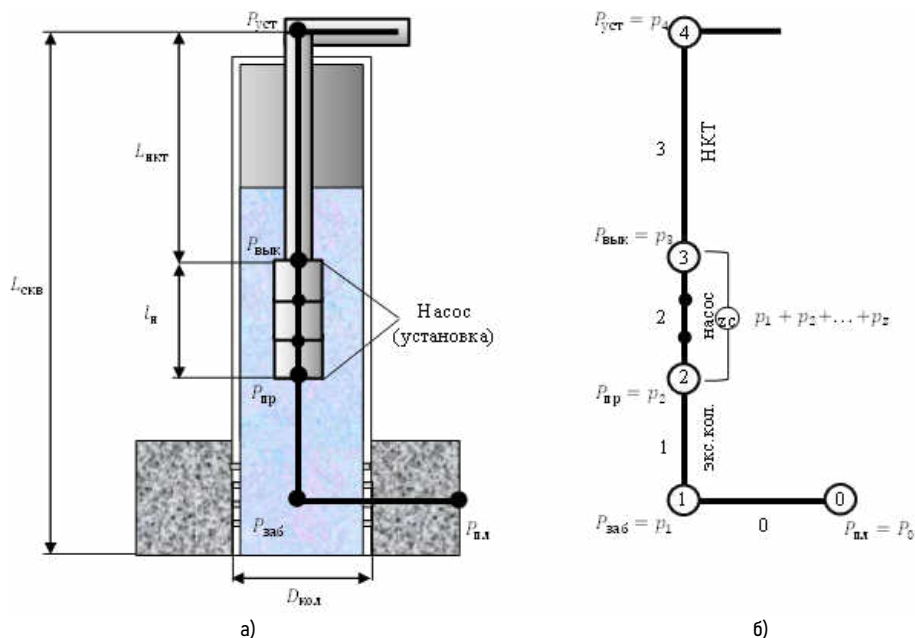


Рисунок 2. Схема механизированной добычи углеводородов многосекционным вибрационным насосом: а) – принципиальная схема механизированной добычи; б) – схема гидравлической системы, представленная в виде узлов и звеньев; $P_{пл}$, $P_{заб}$, $P_{уст}$ – пластовое, забойное и устьевое давление соответственно, $P_{пр}$, $P_{ввк}$ – давление на приеме и выкиде насоса соответственно, $L_{свж}$ – глубина скважины, $L_{нкт}$, l_n – длина НКТ и насоса.

Figure 2. Scheme of mechanized production of hydrocarbons by a multi-sectional vibration pump: а) - schematic diagram of the mechanized production; б) - diagram of the hydraulic system, presented in the form of nodes and links; $P_{пл}$, $P_{заб}$, $P_{уст}$ – reservoir, bottomhole and wellhead pressure, respectively, $P_{пр}$, $P_{ввк}$ – pressure at the intake and discharge of the pump, respectively; $L_{свж}$ – well depth, $L_{нкт}$, l_n – tubing and pump length.

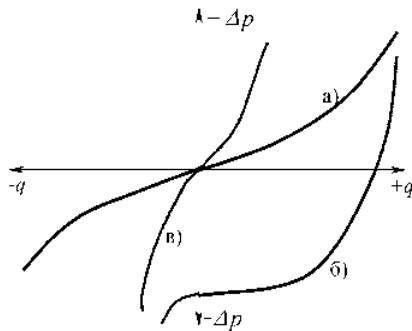


Рисунок 3. Некоторые формы функций $f(q)$ для различных объектов технических гидросистем (ТГС): а – объект «труба»; б – объект «насос», электропитание включено; в – объекте «насос», электропитание выключено. Figure 3. Some forms of functions $f(q)$ for various objects of technical hydraulic systems (THS): а – «pipe» object, power supply is on; б – «pump» object, power is off.

и расхода жидкости для различных объектов технических гидросистем.

Гидравлическую характеристику структуры можно представить в виде нелинейного уравнения (2):

$$P_0 - \Delta p_{0-1} - \Delta p_{1-2} - \Delta p_{2-3} - \Delta p_{3-4} - \Delta z \rho g = p_c = p_4. \quad (2)$$

где Δp_{2-3} – перепад давления, создаваемый вибрационным насосом, состоящим из определенного количества секций вибрационного насоса – z , которых должно быть достаточно, чтобы поднять углеводородную смесь до устья скважины.

$$\Delta p_{2-3} = \sum_z \Delta p_{сек} = f_n(q). \quad (3)$$

Подставим (3) в выражение (2):

$$P_0 - \Delta p_{0-1} - \Delta p_{1-2} - \sum_z \Delta p_{сек} - \Delta p_{3-4} - \Delta z \rho g = p_c = p_4. \quad (4)$$

Иначе говоря, перепад давления, создаваемый вибрационным насосом в выражении (4), можно сравнить с установкой электроцентробежного насоса (УЭЦН), который состоит из множества секций. Чем больше секций, тем больше перепад давления, создаваемый насосом. Методика определения необходимого количества ступеней вибрационного насоса аналогична подбору ступеней для УЭЦН.

Скоростной напор

На эффективность насоса влияет скоростной напор. Данный параметр, согласно закону Бернулли, создает дополнительное давление (за счет большого количества хода диафрагмы) и рассчитывается по формуле (5):

$$dp = \alpha \frac{v^2}{2g}, \quad (5)$$

где α – коэффициент распределения скоростей от 0,8 до 1,5, который учитывает неравномерности распределения скоростей по сечению на удельную кинетическую энергию потока, вычисленного по средней скорости, v – скорость течения жидкости, выражаемая в виде (6):

$$v = \frac{Q}{S_{шт}} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4(360\pi d^2 l_{пл} n_{кол})}{\pi d^2} = 1440 l_{пл} n_{кол}. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что скорость жидкости прямо пропорциональна количеству колебаний установки ($n_{кол} = 3000$

колебаний в минуту при частоте 50 Гц). Исходя из этого, добавим параметр скоростного напора в выражение (2).

$$P_0 - \Delta p_{0-1} - \Delta p_{1-2} - \left(\sum_z \Delta p_{сек} + \alpha \frac{v^2}{2g} \right) - \Delta p_{3-4} - \Delta z \rho g = p_c = p_4. \quad (7)$$

Вибрационный насос является насосом объемного действия. Однако учитывая тот факт, что его эксплуатация может осуществляться при высоких частотах (как и с УЭЦН), то насос можно отнести и к насосам динамического действия.

Потери давления на преодоление гидравлического сопротивления

Учтем в выражении (7) давление на преодоление трения – $\Delta P_{тр}$ для трубы круглого сечения. Параметр будет зависеть от длины трубопровода – L , скорости потока жидкости в системе – v и внутреннего диаметра – d .

$$\Delta P_{тр} \approx \lambda \frac{Lv^2 \rho}{2d}, \quad (8)$$

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений (гидравлического трения) потока жидкости, оказывающий противодействие со стороны трубопроводной системы. Вычисляется по формуле Колбрука-Уайта [5], представляющей собой соотношение между коэффициентом трения – λ , числом Рейнольдса – Re , шероховатостью трубы – Δ .

$$\lambda = \frac{1}{\left[2.1g \left(\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3.7} \right) \right]^2}. \quad (9)$$

Потери давления могут быть по длине трубопровода, которые вызваны силами вязкого трения – $\Delta P_{тр}$, а также местными гидравлическими сопротивлениями $\Delta P_{мс}$, которые вызваны изменением формы или размера проходного сечения трубопровода.

Ниже на рис. 4 представлены различные зависимости для трубы круглого сечения.

Подставим $\Delta P_{тр}$ и $\Delta P_{мс}$ в выражение (7):

$$P_0 - \Delta p_{0-1} - \Delta p_{1-2} - \left(\sum_z \Delta p_{сек} + \alpha \frac{v^2}{2g} \right) - \Delta p_{3-4} - \Delta z \rho g - \Delta P_{тр} - \Delta P_{мс} = p_c = p_4. \quad (10)$$

Представленное нелинейное уравнение связи между перепадами давления и расходами описывает полную гидравлическую характеристику звеньев и позволяет согласовать гидравлические показатели технической гидросистемы и гидросистемы продуктивных пластов. Для решения задач, связанных, например, с согласованием работы скважинного оборудования, наземной сети сбора и/или ППД и гидросистем продуктивного пласта, требуется уже решение системы уравнений.

Воздействие вибрационного насоса на вязкость нефти

Рассмотрим такой важный параметр, как вязкость жидкости. Данный параметр очень важен при расчете гидросистем. Для работы с жидкостями с повышенной вязкостью к оборудованию предоставляются особые требования, так как на подъем такой продукции тратится больше энергии.

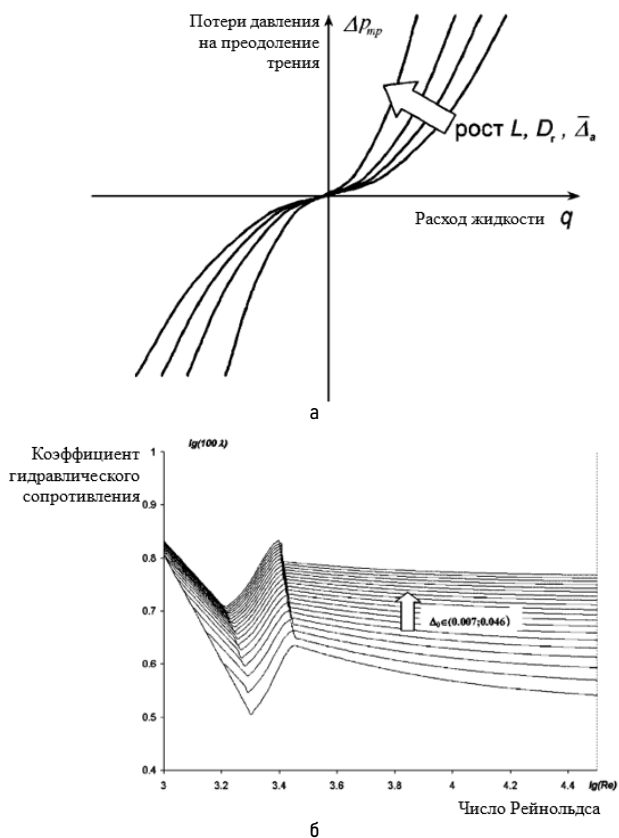


Рисунок 4. Различные зависимости параметров, описывающих потери давления на преодоление гидравлического сопротивления для трубы круглого сечения: а – типовая зависимость $\Delta P_{тр} = f(q)$, б – расчетная зависимость коэффициента сопротивления $\lambda(Re, \bar{\Delta})$ для неравномерно-зернистой шероховатости. L – длина трубопровода, D – диаметр трубопровода, $\bar{\Delta}$ – шероховатость трубы.

Figure 4. Different dependences of parameters describing pressure losses to overcome hydraulic resistance for a round pipe: а – typical dependence $\Delta P_{тр} = f(q)$, б – calculated dependence of the drag coefficient $\lambda(Re, \bar{\Delta})$ for uneven-grained roughness. L – pipeline length, D – pipeline diameter, $\bar{\Delta}$ – pipe roughness.

Реологические свойства дисперсных систем

Нефть можно представить в виде модели дисперсионной системы, которая характеризуется коллоидно-химическими и структурно-механическими свойствами. Причинами образования дисперсной фазы служат межмолекулярные соединения.

Свойства, геометрия и структура частиц дисперсионной фазы нефтяной дисперсионной системы напрямую зависят от содержания структурообразующих компонентов, таких как смолы, асфальтены и парафины [6]. Данные среды имеют структурно-механические свойства. Структурно-механическую прочность можно описать понятием сложная структурная единица, введенным З.И. Сюняевым [7]. Сложная структурная единица имеет преимущественно сферическую форму и представляет собой две области:

- внутренняя область (ядра), которая образована высокомолекулярными алифатическими и полеареновыми углеводородами, смолисто-асфальтовыми компонентами,
- сольватная оболочка.

В своих работах [8, 9] А.Н. Ратов сделал предположение, что принципом структурообразования в высоковязких

нефтях служат межмолекулярные взаимодействия высокомолекулярных фрагментов смолисто-асфальтоновых компонентов. Взаимодействие осуществляется сильным парамагнетизмом полиароматических структур.

Рассмотрим агрегативную устойчивость нефтяных дисперсных систем.

Суспензии, в частности парафина в нефти, характеризуются такими параметрами, как кинетическая и агрегативная устойчивость, или способность суспензии сохранять степень дисперсности взвешенных в жидкой фазе частиц во времени.

Алифатические углеводороды образуют цепные молекулы (большой длины), связь между которыми осуществляется за счет дисперсионных сил Ван-Дер-Ваальса между метиленовыми группами или концевыми метильными группами. В растворах молекулы существуют как в виде прямолинейных цепей, и имея сетку зацеплений, но в данном случае кристаллическая структура будет многообразной.

Из вышеперечисленного можно сделать вывод, что высоковязкие нефти имеют в составе сложные молекулы. Любой вид физического влияния на нефтяную дисперсную среду может привести к трансформации структурно-реологических свойств [10].

Вибрационное воздействие снижает механическое сопротивление, увеличивает массообмен и теплообмен, ускоряет процесс химических реакций, позволяет добиться снижения показателя вязкости за счет уменьшения агрегирующей связи высокомолекулярных соединений и приводит к уменьшению мицеллярных частиц.

При течении жидкости в ламинарном режиме слои жидкости имеют разные скорости течения. Отношение разности движения двух слоев характеризуется скоростью сдвига. Другими словами, градиент скорости сдвига характеризует изменение скорости в направлении, перпендикулярном течению.

Для ньютоновской жидкости имеется зависимость между касательным напряжением (τ), вызываемым жидкостью, и градиентом скорости сдвига (dy/dt) или градиента скорости (du/dh), как показано на рис. 5.

Скорость подвижного тела - u - равна (dx/dt), а градиент скорости можно представить в виде:

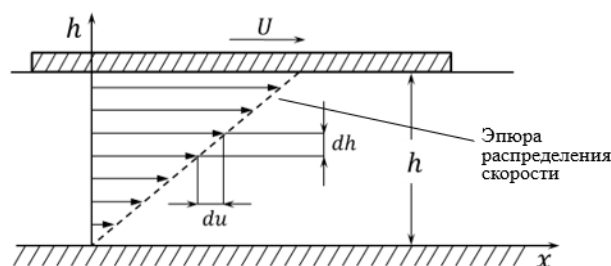


Рисунок 5. Схема Куэтта (схема течения жидкости). U – скорость движения пластины, h – расстояние между подвижной пластиной и неподвижной поверхностью, dh – расстояние между слоями жидкости, du – разность скоростей между слоями жидкости

Figure 5. Couette scheme (liquid flow diagram). U – plate speed, h – distance between moving plate and fixed surface, dh – distance between the liquid layers, du – velocity difference between fluid layers.

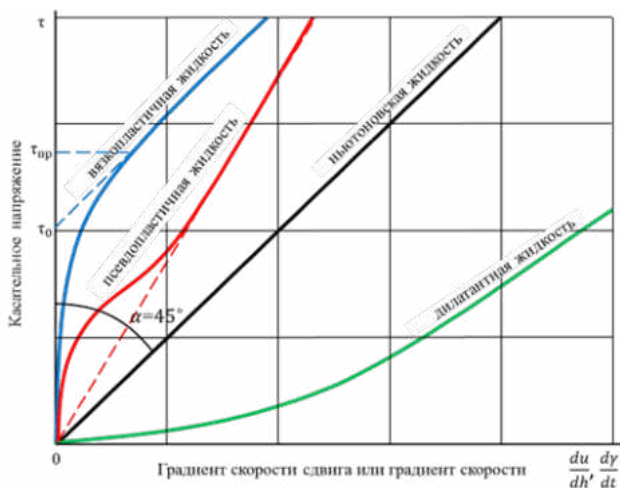


Рисунок 6. Реологические линии.
Figure 6. Rheological lines.

$$\frac{du}{dh} = \frac{d}{dh} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dh} \right), \quad (11)$$

где отношение (dx/dh) описывает сдвиг слоев жидкости или деформацию γ .

Подставив ее в (11), получим (12):

$$\frac{du}{dh} = \frac{d\gamma}{dt}. \quad (12)$$

Нагрузки, вызывающие деформацию, при которой начинается течение жидкости, обуславливают напряжение сдвига. Отношение напряжения сдвига к скорости сдвига характеризует вязкость жидкости.

Для ньютоновских жидкостей выражение будет выглядеть так (13):

$$\tau = \mu \frac{du}{dh} = \mu \frac{d\gamma}{dt}, \quad (13)$$

где μ – коэффициент пропорциональности, или вязкость, которая не зависит от градиента скорости или сдвига.

Зависимость касательного напряжения в функции градиента скорости или сдвига течения жидкости называют реологическими линиями. И.Т. Мищенко в своей работе [5] представил их в виде графика (рис. 6).

Универсальную формулу для расчета скоростей сдвига реологической линии можно описать уравнением (14):

$$\tau = \mu_{ж} \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n, \quad (14)$$

где n – индекс течения (для ньютоновских жидкостей $n = 1$), K – показатель вязкости, или характеристика консистентности.

Зависимость вязкости (μ) от скорости сдвига (du/dh) связывают с процессом разрушения структуры при повышении скорости и ее восстановления при снижении (du/dh).

Влияние кавитационного процесса на вязкость

В установке многосекционного вибрационного насоса наблюдается процесс кавитации. Данный процесс прослеживается образованием и последующим схлопыванием в жидкости пузырьков газа. На интенсивность и развитие кавитации оказывают влияние множество факторов, таких как внешнее давление и температура, вязкость и поверхностное натяжение, содержание воздуха и других газов в потоке жидкости, а также масштабные эффекты. Как пра-

вило, данное явление негативно сказывается на процессе добычи углеводородного сырья, так как способствует эрозийным процессам системы. Однако при правильном проектировании рабочих областей насоса (через которые происходит движение жидкости) и подборе необходимого металла для его изготовления можно добиться положительного эффекта для снижения вязкости добываемой продукции за счет локального роста температуры на микроуровне.

Кавитация нашла свое место во всех отраслях промышленности, для которых необходимо ускорение химических реакций, очистка, дегазация жидкости, эмульгирование и др.

Рассмотрим теоретические основы процесса кавитации.

Есть предположение, что процесс кавитации возникает при условиях, когда давление на некоторых участках потока жидкости снижается до давления насыщенных паров. Если перекачиваемая жидкость содержит большое количество растворенных в ней газов, уменьшение давления приводит к выделению этих газов и образованию газовых полостей (каверн), давление в которых выше давления насыщенных паров [11]. В тех случаях, когда жидкость содержит микроскопическое количество пузырьков, кавитация может возникать при давлениях, превышающих давление насыщенного пара. Образовавшийся из ядра кавитации пузырек растет до конечных размеров, после чего схлопывается. Предполагается, что весь процесс жизни пузырька занимает нескольких миллисекунд.

Исходя из закона Бернулли, энергия жидкости без трения вдоль ее направления постоянна и представляется выражением (15):

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = const, \quad (15)$$

где P_1, v_1 и P_2, v_2 – давление и скорость текущей жидкости при переходе из участка трубы с большим диаметром (большой площадью поперечного сечения) в участок с меньшим диаметром, ρ – плотность жидкости.

Согласно данному выражению, можно сделать вывод, что при увеличении скорости движения частиц жидкости в трубе ($v_1 < v_2$) давление потока понижается ($P_1 > P_2$) пропорционально квадрату скорости жидкости и, наоборот (рис. 7). При рассмотрении жидкости, текущей по трубе, согласно уравнению неразрывности, в местах сужения трубы скорость жидкости возрастает и, следовательно, возможен процесс кавитации (рис. 8).

В работах [11, 12] авторы сформулировали классификацию кавитационных процессов, которая включает в себя:

- механический метод;
- акустический, или ультразвуковой метод;
- электрический метод;
- теплофизический метод;
- физический метод;

Создание вибрационным насосом кавитационных процессов относится к механическому методу, так как данный метод способствует высокоскоростному движению тел, при котором кавитационная зона образуется за движущим телом, а также представляет собой создание пониженного давления в жидкости в процессе хода диафрагмы или поршня вверх, при этом кавитация происходит во всем

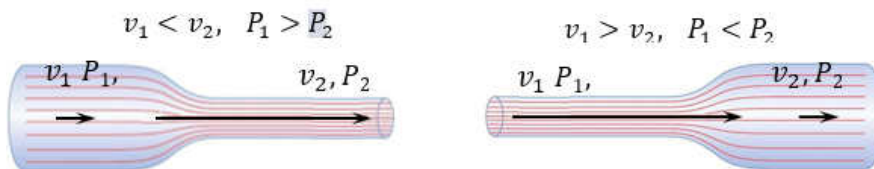


Рисунок 7. Схема потока жидкости в трубе разного диаметра.
Figure 7. Scheme of fluid flow in a pipe of different diameters.

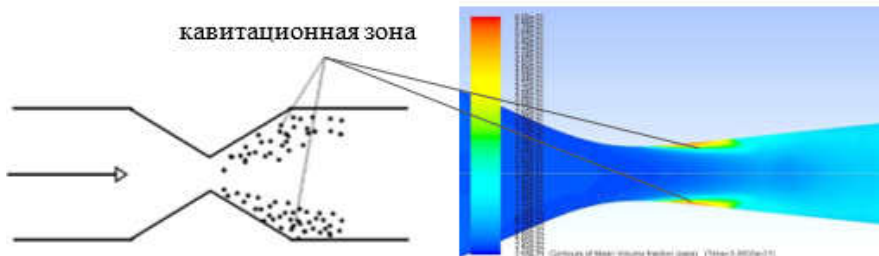


Рисунок 8. Схема образования процесса гидродинамической кавитации в трубе разного диаметра.
Figure 8. Scheme of the formation of the process of hydrodynamic cavitation in a pipe of different diameters.

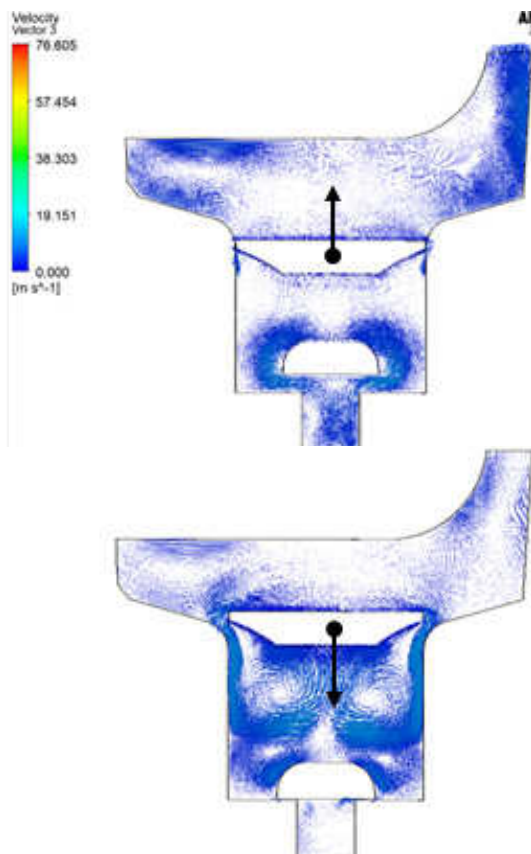


Рисунок 9. Эпюра распределения скоростей потока жидкости в вибрационном насосе.
Figure 9. Plot of the distribution of fluid flow rates in a vibration pump.

объеме жидкости. В качестве примера можно рассмотреть эпюру распределения скоростей в вибрационном насосе, предназначенном для перекачивания технической воды (рис. 9).

Резюмируя вышперечисленное, можно сказать, что процесс кавитации способствует механохимической активации, выраженной в том, что в зоне схлопывания пузырьков газа происходит резкое увеличение температуры и возникает перепад давления. Посредством механохимической активации

могут изменяться физико-химические характеристики жидкости, к которым относится вязкость.

Вывод

1. Представлено нелинейное уравнение гидравлической характеристики структуры «пласт-скважина-насос-устье», где перепад давления вибрационного насоса можно представить суммой перепадов давлений, создаваемых секциями вибрационных насосов – $\Delta p_{2-3} = \sum_z \Delta p_{сек} = f_n(q)$.
2. В физических растворах при инфра- и ультразвуковом воздействии разрушаются их мицеллярные связи, а также слабые химические связи высокомолекулярных соединений АСПО, которые существенно увеличивают вязкость перекачиваемой нефти. Таким образом, виброзвуковое воздействие описываемого насоса положительным образом будет влиять на снижение вязкости в жидкостях, не насыщенных газом.
3. Кавитационные процессы, создаваемые вибрационным насосом, приводят к локальному росту температуры на микроуровне и разрушают связи длинномолекулярных соединений, уменьшая вязкость жидкости.

Литература

1. Башкирцева, Н.Ю. Высоковязкие нефти и природные нефти / Н.Ю. Башкирцева // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 19. – С. 296–299.
2. Гаджиев, М.Д. Оптимизация механизированной добычи на малодобитном фонде нефтегазовых месторождений / М.Д. Гаджиев, А.В. Стрекалов // Естественные и технические науки. – 2022. – № 2 (165). – DOI 10.25633/ETN.2022.02.08.
3. Гаджиев, М.Д. Исследование работы двух вибрационных насосов при последовательном соединении / М.Д. Гаджиев, Д.Е. Васьков, К.Е. Мацюк, А.В. Стрекалов // Вестник Евразийской науки. – 2022. – № 2. – URL: <https://esj.today/PDF/23NZVN222.pdf>.
4. Стрекалов, А.В. Математические модели гидравлических систем для управления системами поддержания пластового давления / А.В. Стрекалов. – Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2007. – 661 с.
5. Мищенко, И.Т. Скважинная добыча нефти: учебное пособие для вузов / И.Т. Мищенко. – Москва: М71 ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 816 с. – ISBN 5-7246-0234-2.
6. Ануфриев, Р.В. Влияние ультразвуковой обработки на структурно-механические свойства и состав нефтяных дисперсных систем: дис. ... к.х.н.: нефтехимия / Р.В. Ануфриев. – Томск, 2017. – 170 с.

7. Сюняев, З.И. Нефтяные дисперсные системы / З.И. Сюняев, Р.З. Сюняев, Р.З. Сафиева. – Москва: Химия, 1990. – 226 с.
8. Ратов, А.Н. Особенности структурообразования в высоковязких парафинистых нефтях / А.Н. Ратов [и др.] // Химия и технология топлив и масел. – 1995. – № 1. – С. 22-24.
9. Ратов, А.Н. Физико-химическая природа структурообразования в высоковязких нефтях и природных битумах и их реологические различия / А.Н. Ратов // Нефтехимия. – 1996. – Т. 36, № 3. – С. 195-208.
10. Урьев, Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Н.Б. Урьев. – Москва: Химия, 1988. – 256 с.
11. Терентьева, В.Б. Применение механохимической активации тяжелых нефтяных остатков для повышения глубины переработки нефти: дис. к.х.н.: нефтехимия / В.Б. Терентьева. – Москва, 2020. – 170 с.
12. Кравченко, О.В. Физико-химические преобразования углеводородных соединений с использованием новых кавитационных устройств / О.В. Кравченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 1 (37). – С. 65.

References

1. Bashkirtseva, N.Yu. Vysokovязkie nefti i prirodnye nefti [High-viscosity oils and natural oils] / N.Yu. Bashkirtseva // Vestnik of the Kazan Technological University. – 2014. – Vol. 17, No. 19. – P. 296-299.
2. Gadzhiev, M.D. Optimizatsiya mekhanizirovannoj dobychi na malodebitnom fonde neftegazovyh mestorozhdenij [Optimization of artificial lift in the marginal fund of oil and gas fields] / M.D. Gadzhiev, A.V. Strekalov // Natural and technical sciences – 2022. – No. 2 (165) – DOI 10.25633 / ETN.2022.02.08.
3. Gadzhiev, M.D. Issledovanie raboty dvuh vibratsionnyh nasosov pri posledovatelnom soedinenii [Study of the operation of two vibration pumps in series connection] / M.D. Gadzhiev, D.E. Vaskov, K.E. Matsyuk, A.V. Strekalov // Bulletin of Eurasian Science. – 2022. – No.2. – URL: <https://esj.today/PDF/23NZVN222.pdf>.
4. Strekalov, A.V. Matematicheskie modeli gidravlicheskih sistem dlya upravleniya sistemami podderzhaniya plastovogo davleniya [Mathematical models of hydraulic systems to control reservoir pressure maintenance systems] / A.V. Strekalov. – Tyumen: OJSC "Tyumen Printing House", 2007. – 661 p.
5. Mishchenko, I.T. Skvazhinnaya добыча нефти: Uchebnoe posobie dlya vuzov [Borehole oil production: Textbook for universities]. I.T. Mishchenko. – Moscow: M71 Federal State Unitary Enterprise Publishing House "Oil and Gas" of Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin, 2003. – 816 p. – ISBN 5-7246-0234-2.
6. Anufriev, R.V. Vliyanie ultrazvukovoj obrabotki na strukturno-mekhanicheskie svoystva i sostav neftyanyh dispersnyh sistem: dis. na soiskanie uchennoj stepeni kandidata himicheskikh nauk: neftekhiimiya [Influence of ultrasonic treatment on the structural-mechanical properties and composition of petroleum dispersed systems: dis. for the degree of candidate of chemical sciences: petrochemistry] / Roman Viktorovich Anufriev. – Tomsk, 2017. – 170 p.
7. Sunyaev, Z.I. Neftyanые dispersnye sistemy [Oil disperse systems] / Z.I. Sunyaev, R.Z. Sunyaev, R.Z. Safieva. – Moscow: Chemistry, 1990. – 226 p.
8. Rатов, А.Н. Osobennosti strukturoobrazovaniya v vysokovязких парафинистых нефтях [Peculiarities of structure formation in high-viscosity paraffinic oils] / A.N. Rатов [et al.] // Chemistry and technology of fuels and oils. – 1995. – No. 1. – P. 22-24.
9. Rатов, А.Н. Fiziko-himicheskaya priroda strukturoobrazovaniya v vysokovязких нефтях i prirodnyh bitumakh i ih reologicheskie razlichiya [Physical and chemical nature of structure formation in high-viscosity oils and natural bitumens and their rheological differences] / A.N. Rатов // Petrochemistry. – 1996. – Vol. 36, No. 3. – P. 195-208.
10. Uriev, N.B. Fiziko-himicheskije osnovy tekhnologii dispersnyh sistem i materialov [Physico-chemical foundations of the technology of dispersed systems and materials] / N.B. Uriev. – Moscow: Chemistry, 1988. – 256 p.
11. Terentyeva, V.B. Primenenie mehanohimicheskoy aktivatsii tyazhelyh neftyanyh ostatkov dlya povysheniya glubiny pererabotki nefiti: dis. na soiskanie uchennoj stepeni kandidata himicheskikh nauk: neftekhiimiya [Application of mechanochemical activation of heavy oil residues to increase the depth of oil refining: dis. for the degree of candidate of chemical sciences: petrochemistry] / Vera Borisovna Terentyeva. – Moscow, 2020. – 170 p.
12. Kravchenko, O.V. Fiziko-himicheskije preobrazovaniya uglevodorodnyh soedinenij s ispolzovaniem novyh kavitatsionnyh ustrojstv [Physical and chemical transformations of hydrocarbon compounds using new cavitation devices] / O.V. Kravchenko // Aerospace Engineering and Technology. – 2007. – No. 1 (37). – p. 65.

Благодарность (госзадание)

Статья отражает результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Информация об авторах:

Гаджиев Магомедрашид Джалалидинович – ассистент Центра проектного обучения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (Российская Федерация, 625000, г. Тюмень, ул. Володасрского, д. 38, e-mail: gadzhievmd@tyuiu.ru). SPIN-код: 4933-2496.

Стрекалов Александр Владимирович – профессор, доцент, д.г.-м.н. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (Российская Федерация, 625000, Тюмень, ул.Володасрского, 38; e-mail: strekalovav@tyuiu.ru).

About the authors:

Magomedrashid D. Gadzhiev – post-graduate student, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Industrial University of Tyumen" (38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation; e-mail: gadzhievmd@tyuiu.ru). SPIN-code: 4933-2496.

Aleksandr V. Strekalov – Professor, Doctor of Science, Associate Professor, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Industrial University of Tyumen" (38, Volodarsky Str., Tyumen, 625000, Russian Federation; e-mail: strekalovav@tyuiu.ru).

Для цитирования:

Гаджиев, М.Д. Многосекционный вибрационный насос как элемент гидравлической системы, влияющий на реологические свойства добываемой продукции / М.Д. Гаджиев, А.В. Стрекалов // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С.94-101. УДК 622.2. DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-94-101

For citation:

Gadzhiev, M.D. Multisectional vibration pump as an element of the hydraulic system that affects the rheological properties of the extracted product / M.D. Gadzhiev, A.V. Strekalov // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No. 2 (54). – pp.94-101. УДК 622.2. DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-94-101

Дата поступления рукописи: 26.04.2022

Прошла рецензирование: 30.04.2022

Принято решение о публикации: 26.04.2022

Received: 26.04.2022

Reviewed: 30.04.2022

Accepted: 26.04.2022