



УДК 622

РАЗРАБОТКА РОТОРНОГО ИМПУЛЬСНОГО АППАРАТА ДЛЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПРОМЫВОЧНЫХ И ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

DEVELOPMENT OF A ROTARY PULSER FOR DISPERSING THE SOLID PHASE OF WASHING AND PLUGGING SOLUTIONS

Омельянюк М.В.

кандидат технических наук, доцент,
заведующая кафедрой МОНГП,
Армавирский механико-технологический
институт (филиала),
Кубанский государственный
технологический университет
m.omelyanyuk@mail.ru

Пахлян И.А.

кандидат технических наук,
доцент кафедры МОНГП,
Армавирский механико-технологический
институт (филиала),
Кубанский государственный
технологический университет
pachlyan@mail.ru

Мелюхов Е.В.

геофизик 1 категории,
ООО «НьюТек Сервисез»
socrat1991@yandex.ru

Аннотация. В предлагается усовершенствованная конструкция роторного импульсного аппарата в котором за счет кавитационных эффектов происходит диспергирование и гомогенизация твердой фазы буровых промывочных или тампонажных растворов.

Ключевые слова: тиксотропные свойства, кавитационные каверны, диспергирование, гомогенизация, турбулентность, конфузор, ротор, статор.

Omelyanyuk M.V.

Candidate of Technical Sciences,
Associate professor,
Armavir Institute of Mechanics
and Technology (branch),
Kuban state technological university
m.omelyanyuk@mail.ru

Pakhlyan I.A.

Candidate of Technical Sciences,
Associate professor,
Armavir Institute of Mechanics
and Technology (branch),
Kuban state technological university
pachlyan@mail.ru

Melyukhov E.V.

Geophysicist of 1 category,
LLC Nyutek Servicez
socrat1991@yandex.ru

Annotation. In this paper we propose an improved design of a rotary impulse device in which due to cavitation effects dispersion and homogenization of the solid phase of drilling flushing or plugging solutions occur.

Keywords: thixotropic properties, cavitation caverns, dispersion, homogenization, turbulence, confuser, rotor, stator.

От качества буровых промывочных и тампонажных растворов в первую очередь, зависит скорость проходки, герметичность скважины, эффективность работ по капитальному ремонту и пр.

Современные технологии и технические средства для приготовления и гомогенизации растворов, состоящих из твердой фазы и жидкости затворения обеспечивают достаточно высокую производительность (до 100 м³/час и выше), практически полную механизацию процесса, но, однако, не обеспечивают главного – достаточной степени диспергирования твердой фазы [1]. В результате приготовленный раствор приходится доводить до требуемой кондиции путем многократной циркуляции в системе приготовления, либо в осреднительных емкостях.

Перспективным для интенсификации процессов диспергирования и смешивания в многофазных средах является использование эффекта кавитации, который оказывает значительное влияние на тиксотропные и фильтрационные свойства глинистых растворов, прочность цементного камня, за счет очень высокой локальной концентрации энергии при небольших средних затратах мощности.

Кавитационная технология легко технически реализуется при атмосферном давлении [2]. Нарушение сплошности потока возникает при условии:

$$P - \frac{\rho v^2}{2} \leq Z, \quad (1)$$



где P – гидростатическое давление в потоке жидкости; v – скорость потока; ρ – плотность жидкости; Z – объемная прочность жидкости, которую можно принимать равной давлению насыщенных паров $P_{н.п.}$.

Из условия (1) можно определить скорость потока, при которой возникает кавитация (без учета формы кавитатора):

$$v \geq \sqrt{\frac{2(P - Z)}{\rho}} \tag{2}$$

Определим v для потока воды при атмосферном давлении и температуре 20 °С ($Z = 0,002$ МПа):

$$v \geq \sqrt{\frac{2(0,1 - 0,002) \cdot 10^6}{1000}} \geq 14 \text{ (м/с)}.$$

Образующиеся кавитационные каверны в потоке жидкости переносятся в область с повышенным давлением, где они схлопываются с образованием гидравлического удара. Возникающее при этом давление P_y можно определить по формуле Н.Е. Жуковского для прямого гидроудара:

$$P_y = \rho \cdot v \cdot c, \tag{3}$$

где c – скорость распространения ударной волны, которую можно принимать равной скорости звука в жидкости.

Полагая $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $v = 14 \text{ м/с}$; $c = 1400 \text{ м/с}$, по формуле (3) получим $P_y = 19,6$ МПа. Импульсы давления такой амплитуды, к тому же повторяющиеся с частотой в сотни Герц, при схлопывании вокруг твердых частиц тампонажного или бурового раствора способствуют их качественному диспергированию и гомогенизации. Кроме того, при кавитационном диспергировании вновь образующаяся поверхность частиц чрезвычайно активна, в результате можно получить стабильный раствор с минимальной химической обработкой или даже без таковой

Кавитационная технология экологически безопасна, менее энергозатратна по сравнению с гидравлическими, механическими перемешивателями-диспергаторами. Известен ряд устройств, в которых используется кавитация для диспергирования и гомогенизации. Некоторые из них не являются проточными и, соответственно, высокопроизводительными. Часть диспергаторов сложны в изготовлении, материалоемки (к примеру, шаровые мельницы), не позволяют контролировать содержание твердой фазы в растворе, вводить дополнительные компоненты, химические реагенты одновременно с процессом диспергирования и гомогенизации [3]. Главным недостатком большинства устройств для диспергирования растворов является то, что при их работе в растворах не достигаются отрицательные давления, а процесс диспергирования представляет собой механическое дробление.

Задачей настоящей работы являлось создание устройства, лишённого вышеперечисленных недостатков, и направленного на реализацию механизма интенсификации процессов смешивания, диспергирования, эмульгирования, гомогенизации при приготовлении буровых и тампонажных растворов с целью повышения их качества.

В принципе возможно создание различных по конструкции устройств для приготовления растворов, основанных на кавитационном диспергировании дисперсной фазы, но всегда экономически и технически целесообразнее, прежде всего, пытаться использовать имеющиеся и хорошо апробированные на практике конструкции со сходным принципом действия. В этой связи представляет интерес, разработанный заслуженными изобретателями СССР Л.А. Спириным и Э.И. Артамоновым аппарат, названный авторами роторно – пульсационным (РПА), предназначенный для приготовления и гомогенизации суспензий и эмульсий, в том числе и из трудно смешиваемых в обычных условиях жидкостей. В процессе работы РПА реализуются различные режимы течения: от ламинарного до турбулентного, от стационарного до нестационарного.

В РПА возникает кавитация вследствие периодического прерывания потока, вызывающего понижение давления в жидкости. Необходимо отметить, что давление, возникающее при схлопывании пузырьков газа, достигает величины порядка 108 Па, что выше предела прочности глины (104–106 Па).

Аппараты роторного типа обеспечивают многофакторное воздействие на жидкую среду, включая такие факторы, как пульсации давления и скорости потока, интенсивное акустическое воздействие в ультразвуковом диапазоне, эффективная турбулентность, а также возникновение и схлопывание многочисленных кавитационных полостей. В результате многофакторного воздействия в жидкости формируется виброкавитационный гидродинамический процесс, который является основной причиной интенсификации физических и химических процессов в жидких средах, в том числе процессов диспергирования.



В результате обзора различных конструктивных схем РПА было установлено, что, несмотря на существенные преимущества аппаратов и их многообразие, они имеют ряд недостатков, а именно:

- наличие «холостого хода», т.е. времени работы, когда каналы статора перекрыты промежуточными между каналами ротора. В этот момент возникают транзитные течения через радиальный зазор между ротором и статором, уменьшающие гидравлическое сопротивление аппарата и, в конечном счете, уменьшающие интенсивность акустических колебаний;
- низкая интенсивность кавитационной обработки среды в отверстиях статора, так как кавитация возбуждается в основном только за счет их перекрытия;
- недостаточная интенсификация технологического процесса;
- незначительная интенсивность кавитации на выходе из канала статора.

В результате анализа недостатков существующих конструкций роторно-пульсационных аппаратов, была предложена усовершенствованная конструкция аппарата, которая решает существующие недостатки, рассмотренные выше.

Целью разработки является повышение качества бурового и тампонажного раствора, за счет повышения степени диспергирования твердой фазы буровых и активации тампонажных растворов.

Задачей разработки является создание диспергатора роторно-пульсационного типа, обеспечивающего качественное приготовление растворов, за счет интенсификации процессов гидродинамической кавитации.

Достижение достаточной степени диспергации раствора после прохождения через диспергатор роторно-пульсационного типа позволяет сократить время на приготовление буровых растворов, поэтому нет необходимости осуществлять дополнительный круг циркуляции для диспергирования твердой фазы раствора.

Снижения энергозатрат на нагнетание жидкости в полости ротора и продавливания ее через каналы ротора и статора можно добиться за счет оптимизации формы каналов. Жидкость, находящаяся в роторе, участвует в движениях двух видов:

- радиальном – за счет перепада давления между входным и выходными патрубками;
- тангенциальном – за счет вращения ротора (без проскальзывания).

В этом случае суммарный вектор скорости частиц жидкости направлен под некоторым углом к радиальной оси. Для снижения среднего гидравлического сопротивления необходимо каналы в роторе и статоре ориентировать в соответствии с суммарным вектором скорости частиц жидкости.

Схема разработанного диспергатора роторно-пульсационного типа представлена на рисунке 1.

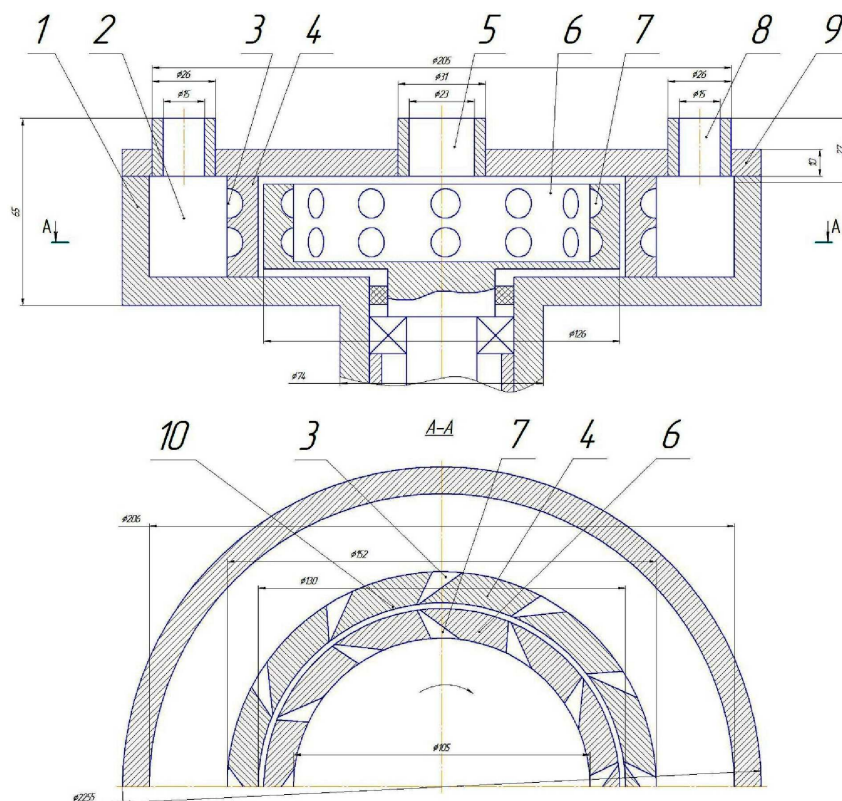


Рисунок 1 – Роторный импульсный аппарат:

- 1 – корпус; 2 – рабочая камера; 3 – канал статора; 4 – статор; 5 – канал ротора; 6 – ротор; 7 – входной патрубок; 8 – выходные патрубки; 9 – крышка; 10 – зазор



Роторный импульсный аппарат содержит корпус 1, в котором установлен подшипниковый узел с валом. На вале установлен ротор 6 в форме диска, в котором выполнены каналы – конфузоры 3. На корпусе установлена крышка 9 с патрубком входа 5 и патрубками выхода 8. Аппарат также содержит статор 4 с каналами – диффузорами 3 в боковых стенках, рабочую камеру 2, образованную корпусом 1, крышкой 9 и статором 4.

Аппарат работает следующим образом. Обрабатываемая среда поступает через патрубок 6 под давлением в полость ротора 2. Затем через каналы 3 ротора 2 и каналы 5 статора 4 проходит в рабочую камеру 9 и выводится из аппарата через патрубки 7. При вращении ротора 2 его каналы 3 периодически совмещаются с каналами 5 статора 4.

В период времени, когда каналы ротора перекрыты стенкой статора, в полости ротора давление возрастает, а при совмещении канала ротора с каналом статора давление за короткий промежуток времени сбрасывается и в результате этого в канал статора распространяется импульс давления. При распространении в канале статора импульса избыточного давления, вслед за ним возникает область пониженного давления, так как совмещение каналов ротора и статора завершилось, и подача жидкости в канал статора происходит только за счет транзитного течения из зазора между ротором и статором. Объем жидкости, вошедший в канал статора, стремится к выходу из канала, и инерционные силы создают растягивающие напряжения в жидкости, что вызывает кавитацию. Жидкость подвергается воздействию импульсов давления, способствующих интенсификации физико-химических процессов.

Конструктивной особенностью разработанного роторного импульсного аппарата, отличающей его от аналогов, является то, что каналы ротора и статора выполняются наклонными под углом 35° к радиальной оси. Причем, каналы ротора и статора наклонены в разные стороны от радиальной оси. Угол наклона каналов ротора и статора равный 35° был выбран, как оптимальный исходя из теории лопастных насосов – лопасти в центробежных насосах рекомендуют выполнять под определенным углом, который является углом отклонения вектора скорости истечения жидкости от радиальной прямой при вращении ротора.

В результате того, что направление жидкости в канале статора не претерпевает значительных изменений, гидравлическое сопротивление тангенциального канала минимально. Данная конструкция роторного аппарата обеспечивает низкое гидравлическое сопротивление пары канал ротора – канал статора, уменьшает затраты энергии на подачу жидкости через аппарат, повышает эффективность его работы.

Также, поставленная задача разработки достигается тем, что каналы ротора аппарата выполнены в виде конфузора, а каналы статора в виде диффузора с конусностью $13\text{--}14^\circ$, как наиболее эффективный угол для создания кавитации.

Обрабатываемая среда, проходя конфузорный участок канала, значительно увеличивает скорость течения среды до значения, необходимого для возникновения гидродинамической кавитации, а при необходимости и до образования суперкаверны. Во время перекрывания выходных отверстий каналов – конфузоров перемычками статора создается преграда. Происходит резкое повышение давления прямой гидроудар. Периодически повторяемые гидроудары создают высокоградиентные импульсы давления.

В разработанном роторном пульсационном аппарате решается главная проблема – «холостой ход», который возникает при перекрывании каналов ротора промежутками между каналами статора. Решение проблемы достигается тем, что каналы статора выполняются в виде диффузора. При перекрывании каналов ротора, в каналах – диффузорах статора жидкость устремляется из сужения в широкую часть канала, при этом поток теряет скорость, а давление возрастает, что приводит к возникновению дополнительной кавитации. Возникающие при этом кумулятивные струйки, высокие давления и температура способствуют интенсификации различных технологических процессов, таких как эмульгирование, диспергирование твердых частиц, экстракции, растворения и т.д. Использование диффузорного сечения канала статора вызывает возникновение циркуляционных, вихревых потоков среды в области расширения, что увеличивает турбулизацию потока и время пребывания обрабатываемой среды в активной зоне – каналах статора.

В результате конструктивных изменений в разработанном ротационном импульсном аппарате решается ряд задач за счет того, что кавитация возникает не только когда каналы ротора и статора совмещены, но и когда каналы ротора перекрыты промежутками статора. Применение данной конструкции позволяет получить высокую гомогенность и мелкодисперсность структуры получаемой смеси, значительно интенсифицировать технологический процесс за счет увеличения интенсивности и времени кавитации.

Литература:

1. Ганиев С.Р. Исследование и разработка энергосберегающих технологий приготовления и гомогенизации буровых и тампонажных растворов, основанных на эффектах волновой механики : автореф. дисс. ... канд. техн. наук; Спец 25.00.15; 05.02.13 г. – М., 2010.



2. Пахлян И.А. Исследование гидроэжекторных смесителей, модернизация их конструкций и совершенствование технологии приготовления буровых промывочных и тампонажных растворов : дисс. канд. техн. наук. – Краснодар, 2010.

3. Омелянюк М.В, Пахлян И.А. Разработка устройства для интенсификации процессов смешивания и диспергирования при приготовлении буровых и тампонажных растворов // Инженер-нефтяник. – ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2014. – № 12.

4. Bukharin N. Omelyanyuk M. Cavitating jets in the oil and gas industry : Булатовские чтения / Материалы I Международной научно-практической конференции; сборник статей в 5-ти томах; под общей редакцией О.В. Савенко. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2017.

References:

1. Ganiyev S.R. Research and development of energy saving technologies of preparation and homogenization of the boring and grouting solutions based on effects of wave mechanics : автореф. зев. ... Cand. Tech. Sci.; Specialist 25.00.15; 05.02.13 – М., 2010.

2. Pakhlyan I.A. Research of hydroejector mixers, modernization of their designs and improvement of technology of preparation of boring flushing and grouting solutions : zew. Cand. Tech. Sci. – Krasnodar, 2010.

3. Omelyanyuk M.V. Pakhlyan I.A. Development of the device for an intensification of processes of mixing and dispersgating at preparation of boring and grouting solutions // the oil Engineer. – LLC Ai Dee Es Drilling, 2014. – No. 12.

4. Bukharin N. Omelyanyuk M. Cavitating jets in the oil and gas industry: Bulatovsky readings / Materials the I International scientific and practical conference; the collection of articles in 5 volumes; under the general edition O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – the South, 2017.