

# Ультразвуковой гидроакустический комплекс для повышения дебита нефтяных скважин

Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Хмелев С.С.

Бийский технологический институт (филиал) государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

**Abstract** — статья посвящена использованию ультразвуковых технологий для нужд нефтяной промышленности. Описывается использование ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для увеличения дебита нефтяных скважин. Представлен разработанный ультразвуковой гидроакустический комплекс.

## **Index Terms** — Ultrasonic

Основное внимание в современной нефтяной промышленности уделяется решению проблем связанных с повышением эффективности процессов нефтедобычи, транспортировки и хранения. К сожалению, на каждом этапе технологического процесса возникают неизбежные потери и проблемы, на устранение которых направлены усилия ученых и технологов.

Одна из основных проблем современной нефтедобычи связана с тем, что в процессе эксплуатации нефтяных скважин их продуктивность может снижаться вследствие образования участков пониженной проницаемости в их призабойных зонах. Образование этих участков происходит из-за физической и физико-химической коагуляции призабойной зоны. Микроскопические частицы глин, парафинов и асфальтен-смолистых веществ с размером, много меньшим сечения пор, скапливаются в этой области сближаются между собой на расстояния, при которых преобладает электростатическое притяжение. Такая поровая жидкость представляет собой структуру коллоидного типа, характеризующуюся предельным напряжением сдвига. В результате процесс фильтрации в призабойной зоне замедляется, а иногда и прекращается полностью [1].

В настоящее время нефтяные компании проявляют все больший интерес к повышению нефтеотдачи за счет воздействия на нефтяные пласты с помощью гидроакустических излучателей, работающих в ультразвуковом диапазоне частот с интенсивностью воздействия до  $1 \text{ Вт/см}^2$  и выше. При таком ультразвуковом воздействии коагулирующий материал разрушается за счет создания значительных колебательных нагрузок, в результате чего на контактах частиц создаются напряжения,

превышающие предел прочности этих структур. В применении к добывающим скважинам это означает, что ранее не работавшие из-за коагуляции нефтенасыщенные пласты могут включиться в процесс фильтрации, что приведет к увеличению дебита и снижению обводненности продукции. За счет инерционных сил, акустические волны также эффективно производят очистку пористой среды от коагулирующего материала, что необходимо для восстановления работы нагнетательных скважин.

Наличие теоретических и экспериментальных исследований свидетельствует о высокой эффективности метода [2]. Однако он не получил широкого распространения из-за отсутствия специализированного высокоэффективного ультразвукового оборудования.

Для интенсификации добычи нефти и повышения дебита нефтяных скважин лабораторией акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института разработан универсальный высокоэффективный ультразвуковой гидроакустический комплекс. Он состоит из электронного генератора и ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) погружного типа. Внешний вид комплекса показан на рисунке 1.

Электронный генератор представляет собой источник электрических колебаний ультразвуковой частоты. Он построен на современной элементной базе на основе микропроцессорного управления. Выходная мощность составляет 3000 Вт с возможностью плавной регулировки от 40% до 100%. Генератор имеет возможность как автоматической, так и ручной подстройки рабочей частоты в диапазоне от 22,5 кГц до 23,5 кГц.

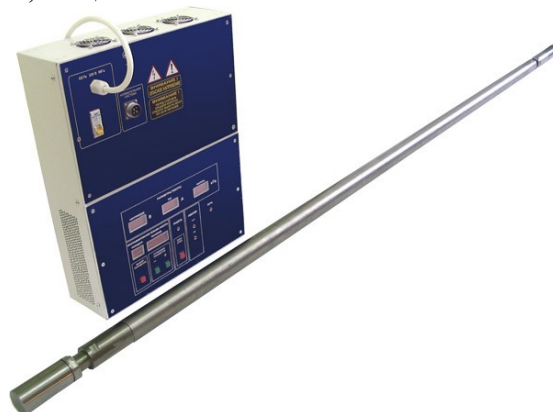


Fig 1. Ультразвуковой гидроакустический комплекс

Так как глубина скважины может достигать нескольких тысяч метров и удаленность скважин от источников питания промышленной частоты может составлять также несколько тысяч метров, то и в электронном генераторе и в УЗКС предусмотрено устройство согласования. Оно обеспечивает необходимый и достаточный режим работы при длине соединяющего кабеля до 7000 метров.

Ультразвуковая колебательная система представляет собой излучатель в виде полого стержня торцевыми поверхностями механически и акустически связанного с двумя пьезоэлектрическими преобразователями, состоящими из последовательно установленных и акустически связанных между собой рабочей частотопонижающей накладки, пьезоэлектрических элементов и отражающей частотопонижающей накладки. Каждая рабочая и отражающая частотопонижающие накладки выполняются ступенчато переменными по длине, причем количество участков одного продольного размера выбирается равным количеству минимумов амплитудно-частотной характеристики собственных механических колебаний рабочего излучающего элемента в заданном диапазоне частот.

Конструкция ультразвуковой колебательной системы показана на рисунке 2. Позиция 1 соответствует рабочему излучающему элементу, позиция 2 – отражающей частотопонижающей накладке, позиция 3 – рабочей частотопонижающей накладке, позиция 4 – пьезоэлектрическим элементам.

Суть предложенного технического решения заключается в создании широкополосной ультразвуковой колебательной системы с возможностью формирования заданной амплитудно-частотной характеристики для установления оптимального режима ультразвукового воздействия.

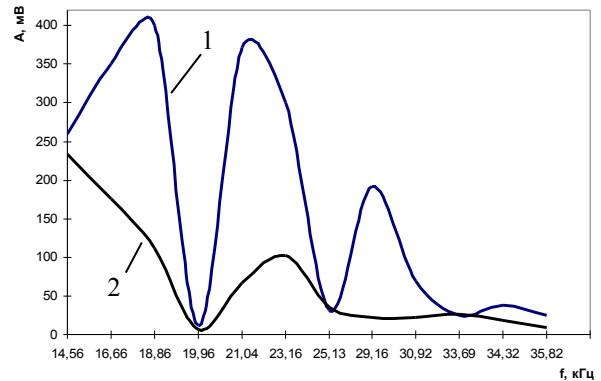
Возможность управлять характеристиками воздействия, а именно частотой и интенсивностью позволяет настроить эти параметры под конкретные задачи и геолого-технические условия и тем самым добиться высокой эффективности.

Наружный диаметр излучающего элемента – 45 мм. Это позволяет использовать ультразвуковую колебательную систему для повышения дебита нефтяных скважин без поднятия насосно-компрессорных труб.

Разработанная и созданная ультразвуковая колебательная система имеет следующие технические характеристики: рабочая частота – 23,12 кГц, акустическая мощность – до 1500 Вт, интенсивность

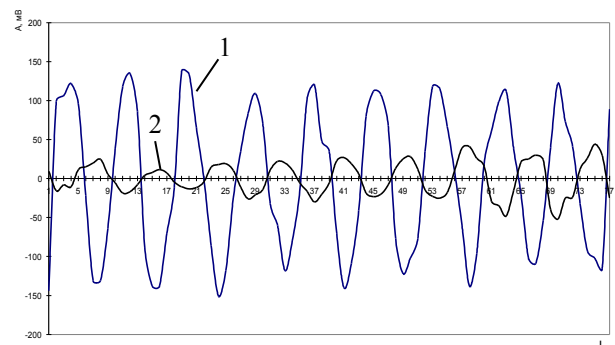
воздействия достигает 4-5 Вт/см<sup>2</sup>. В предложенной конструкции применена схема акустической развязки, обеспечивающая надежную герметизацию пьезоэлектрических элементов колебательной системы при избыточном давлении в обрабатываемой среде до 250 атмосфер.

На рисунках 3 и 4 представлены амплитудно-частотная характеристика и распределение амплитуды колебаний вдоль излучающей поверхности ультразвуковой колебательной системы, соответственно. Измерения осуществлялись посредством пьезоэлектрического щупа с сухим точечным контактом при подключении колебательной системы к низковольтному генератору синусоидальных колебаний ГЗ-112.



1 – на воздухе, 2 – в воде

Fig 2. Амплитудно-частотные характеристики УЗКС



1 – на воздухе, 2 – в воде

Fig 3. Распределение амплитуды колебаний вдоль излучающей поверхности

Для проверки эффективности ультразвукового воздействия был проведен один из стандартных тестов. Он заключался в кавитационном разрушении алюминиевой фольги толщиной 50 мкм в течение

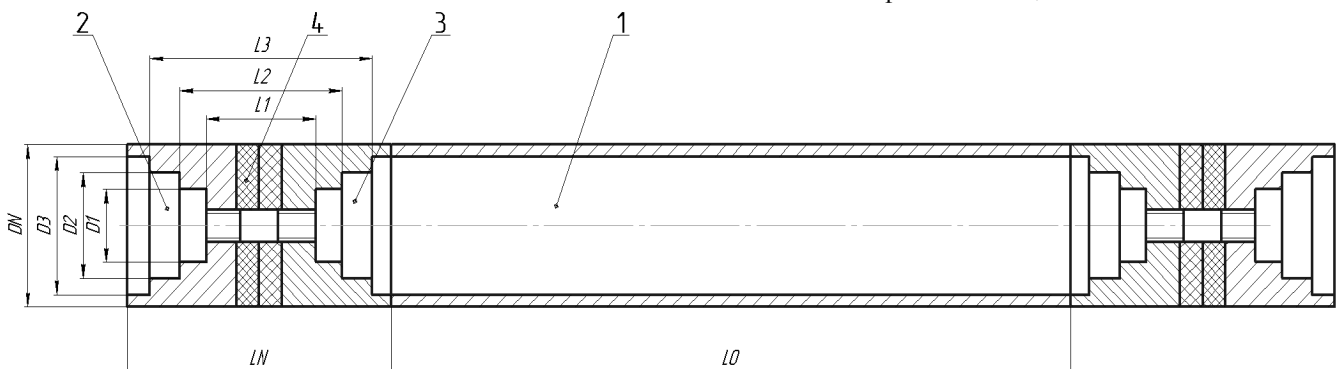


Fig 2. Конструкция ультразвуковой колебательной системы

короткого промежутка времени (до 20 сек) в водопроводной воде. По характеру наблюдаемых разрушений и очагам кавитационной эрозии (рисунок 5) можно сделать вывод о том, что интенсивность колебаний в обрабатываемой среде превышает  $3 \text{ Вт/см}^2$ .



а



б

Fig 4. Металлическая фольга до (а) и после (б) кавитирующего воздействия

Созданный гидроакустический комплекс способен обеспечить повышение скорости ультразвуковой обработки скважин не менее чем в 2 раза по сравнению с имеющимся оборудованием за счет увеличения интенсивности ультразвукового воздействия.

Таким образом, разработанный и созданный универсальный высокоэффективный ультразвуковой гидроакустический комплекс можно рекомендовать для промышленного применения в нефтяной промышленности для повышения дебита нефтяных скважин.

#### Список использованных источников

[1] Горбачев Ю.И. Физико-химические основы ультразвуковой очистки призабойной зоны нефтяных скважин // «Геоинформатика». – 1998. – №3.

[2] ГОСТ 1510 – 84 «Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение».

[3] Заявка