

ТЕХНОЛОГИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИДКИЕ СРЕДЫ

Бобков Г.В., Геталов А.А., Рухман А.А., Рухман Е.П., Саргин Б.В., Писарев В.Н.

ООО «ДЕРМАНИКА-ТРЕЙД»

г. Москва, Россия, E-mail: dermanika@mail.ru

С целью повышения эффективности процессов гомогенизации были исследованы резонансные синфазные колебания каналов различного сечения на ультразвуковой частоте. Были выявлены зависимости распределения кавитационного поля в различных жидких средах (эмульсии, суспензии) от формы и размеров сечения канала, а также от конструкции преобразователя пьезокерамического (ППК). Были исследованы следующие акустические эффекты: резонансы (собственные и вынужденные) конструкций каналов различного геометрического профиля, резонансы жидкой среды внутри канала (установление стоячей волны поперек канала с жидкой средой) (1), явление бегущей волны в жидкой среде между круглым каналом и насосно-компрессорной трубой (НКТ)(2). Выявленные акустические эффекты определяющим образом влияют на эффективность процессов гомогенизации эмульсий и суспензий. Гомогенизация эмульсий является основой технологии приготовления косметического крема. Гомогенизация суспензий является основой технологии выщелачивания редких металлов из концентратов и руд. Образование эмульсий и суспензий также наблюдается в очистке насосно-компрессорных труб от асфальто-смолопарафинистых отложений (АСПО) при добыче нефти и газа и от солевых отложений при добыче редких металлов.

В косметических производствах важно формирование стабильной эмульсии устойчивой к коалесценции. Для управления структурой косметического крема предложено решение по увеличению гомогенности и снижению дисперсности структуры крема с помощью резонансных синфазных колебаний каналов различного сечения на ультразвуковой частоте в средах, протекающих внутри канала. (3)

В производстве редких металлов для интенсификации гидромеханических процессов при переработке трудновскрываемых руд важно повысить качество получаемых продуктивных растворов (увеличение процента выхода редких металлов) и уменьшить продолжительность выщелачивания. Главными причинами снижения скорости выщелачивания являются недостаточное снижение крупности руды при подготовке ее к выщелачиванию, коагуляция пор и поверхности кусков руды продуктами ее разложения, канализирование потоков выщелачивающих растворов. Использование ультразвука повышает трещиноватость руды, повышает смачиваемость, увеличивает эффективность омывания и интенсивности растворения металлов, повышает энергию растворителя. При этом методе возможно воздействие на более крупные фракции руды (до 0,5-0,25 мм) и снижение требований к температуре и давлению в зоне реакции находящейся внутри канала.

При добыче нефти и газа неизбежен процесс отложения АСПО на стенки НКТ. При очистке НКТ важны эффективность снятия АСПО с поверхности трубы, их эмульгирование и удаление. Интенсификация этого процесса достигается новым методом резонансных синфазных колебаний каналов различного сечения на ультразвуковой частоте излучаемых в среду, находящуюся снаружи канала. Это техническое решение используется при разработке новых скважинных инструментов очистки НКТ.

В основе технологии лежит использование собственных резонансов каналов различного геометрического профиля (прямоугольных, ромбовидных, квадратных, круглых и т.д.). Оптимальными для процессов гомогенизации являются ромбовидные конструкции, так как созданная стенкой волна набегает на поверхность противоположной стенки, которая находится под углом к волне, за счет таких переотражений увеличивается дистанция пробега волны до ее затухания, возникает более равномерное распределение акустической энергии по сечению канала. Однако использование ромбовидных каналов сопряжено с дополнительными затратами на их

изготовление. В прямоугольных и квадратных каналах использовалась возможность создания стоячих волн и создание локальных зон мощной кавитации, не заполняющих все сечение канала равномерно. Для каналов круглого сечения использовались режимы радиальных колебаний, эффективно излучающие ультразвук снаружи канала в трубах НКТ. При изготовлении прямоугольных, квадратных и круглых каналов использовались стандартные профили труб, производимые отечественной промышленностью, что существенно удешевляло разработку и изготовление серийных образцов.

Создана методика определения собственных частот параметрических резонансов, нелинейных резонансов и автоколебаний стенок каналов при протекании обрабатываемой жидкости. Анализируются сигналы датчика вибрации стенки канала и датчика кавитации среды, находящейся внутри канала. Оптимальным режимом считали режим, соответствующий максимуму сигнала, а также максимуму первой производной сигнала с этих датчиков. При анализе спектра сигналов выделялось максимальное значение амплитуды основной гармоники, а также максимальный уровень спектральных гармоник в частотном диапазоне 100 кГц. Использование этой методики позволило оценить степень последовательного преобразования электрической энергии ультразвукового генератора в механические резонансные колебания ППК-канал, затем в акустическую энергию и динамику кавитационного кластера, обеспечивающую необходимое технологическое воздействие при изменении параметров среды внутри канала во время обработки. Было замечено, что такие параметры как температура среды изменялись в диапазоне от +5 до +90°C, вязкость среды изменялась в разы. Разработанная методика позволила правильно выбирать режимы возбуждения разработанных каналов в этих реальных производственных условиях.

Для реализации методики разработан целый ряд лабораторных установок для статического и динамического режима обработки жидких сред с различными параметрами. Предложен измерительный комплекс, позволяющий контролировать параметры колебаний резонансных систем и параметры кавитационного поля в жидкой среде, режимы гидродинамического течения в каналах. Таким образом, была создана база экспериментальных данных взятых за основу при построении математических моделей в программных симуляторах Microcap, LT-spice, Proteus и др.. С помощью программного обеспечения оценивались спектральные характеристики сигнала. Исследовались эквивалентные схемы замещения ультразвуковых излучателей, реакция на различные типы сигналов возбуждения, что позволило с достаточной высокой степенью вероятности прогнозировать поведение излучателей в реальных условиях. Обработка всех этих параметров позволяет определить оптимальные технологические режимы, которые требуются заказчику для обработки жидкой среды: частоты, нужный резонансный режим канала, его геометрический профиль, производительность, мощности и т.д.

Ввиду сложности изучаемых процессов (колебания и кавитация) и их высокой степени нелинейности, основным остается экспериментальный метод исследований. Для проверки стабильности технологического воздействия были изготовлены несколько динамических стендов, масштабирующих реальное производство. Первичная проверка технологического эффекта по-прежнему проводилась с помощью тестов на эрозию фольги. Для проведения данных разработок была создана и на сегодняшний день быстро развивается отдельная научно-экспериментальная лаборатория ООО «НТЦ Волна». В активе лаборатории центр измерения виброакустических сигналов, статические и динамические модели ультразвукового воздействия на жидкие среды. С каждым годом растут объемы работ и появляются новые направления исследований.

Часть работ уже имеет промышленное использование, так с 2010 года введены в эксплуатацию и постоянно модернизируются гомогенизаторы для производства тонкодисперсных косметических эмульсий. Косметические кремы под торговой маркой «DERMANIKA» успешно продаются на рынке Российской Федерации в ведущих

торговых сетях, Беларуси, Казахстана и получили заслуженные положительные отзывы у покупателей из-за невысокой цены и хорошего качества.

Экспериментальные работы по ультразвуковой интенсификации гидромеханических процессов при переработке трудноискрываемых руд и очистке НКТ от АСПО позволяют выйти на стадию опытно-промышленных испытаний.

Выводы:

1. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования показали, что использование резонансных свойств каналов при обработке протекающих по ним жидких сред являются очень эффективным методом обработки данных жидких сред для целого ряда технологических процессов (гомогенизация, эмульгирование, растворение, обеззараживание и т.д.).

2. Выбор резонансного режима возбуждения кассеты-канала сильно влияет на технологический эффект. Как правило, резонансные режимы являются смешанными. Из-за сильной нелинейности систем, первая гармоника может относиться к одному из известных резонансных режимов, но всегда присутствуют кратные по частоте высокочастотные гармоники различной интенсивности. Именно энергетический спектр различных гармоник определяет в конечном итоге общий кавитационный эффект.

3. Разработаны и экспериментально проверены рекомендации по созданию такого конструктивного исполнения кассет-каналов, чтобы кавитационный эффект в жидкости был максимальным. При изменении характеристик жидкости в процессе обработки кавитационный эффект может меняться оптимальным образом, снижая время обработки. Использование резонансных свойств кассет-каналов и кумуляция энергии от каждой синфазно излучающей поверхности позволяет получать кавитационные поля высокой интенсивности при минимальных энергозатратах.

Список литературы:

1. Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, М.: Иностранная литература. – 1956.
2. Abramov V.O., Makarov L.O., Ruhman A.A., Alenicev V.I. «Apparatus for the feeding of ultrasonic into liquids or pastous medium», German Patent DE 19539195 A1. – 1995.
3. Геталов А.А. «Способ получения эмульсионного косметического средства», Патент России, RU 2427362, C1, – 2010.