

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ И УСЛОВИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ МАКСИМАЛЬНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЭМУЛЬСИЙ И СУСПЕНЗИЙ

Хмелёв В.Н., Голых Р.Н.*, Доровских Р.С., Ильченко Е.В., Шакура В.А.

Бийский технологический институт (филиал)

ФГБОУ ВО «АлмГТУ им. И.И. Ползунова»

г. Бийск, Россия, E-mail: grn@bti.secn.ru

Один из основных факторов, ограничивающих скорость реализации химико–технологических процессов в жидкодисперсных системах – площадь поверхности раздела взаимодействующих веществ или фаз. Примерами могут служить процессы, протекающие как в системах «жидкость–жидкость» (эмульсиях) [1] – синтез каучука, ферментативные процессы и др., так и «жидкость–твёрдое тело» (сuspензиях) [2] – крекинг нефти, адсорбционная очистка сточных вод и др.

Очевидно, что для обеспечения как можно большей поверхности контакта фаз, необходимо осуществлять диспергирование взвешенных в несущей жидкой фазе мелких фракций (твёрдых частиц или капель другой жидкости).

В настоящее время известно несколько сотен различных видов конструкций аппаратов для диспергирования [1–4]. Несмотря на многообразие, все они являются вариантами аппаратного оформления, где использованы немногие основные физические принципы диспергирования и увеличения межфазной границы взаимодействия разнородных веществ, разработанные ещё в конце 19–го – начале 20–го века (основанные на введении ПАВ или эмульгаторов, механические [2], роторно–импульсные [1] и т. д.).

Из–за базового недостатка, связанного с малой степенью увеличения поверхности раздела фаз, все эти способы не позволяют в полной мере реализовать потенциал указанных химико–технологических процессов. Недостаточное увеличение поверхности раздела фаз обусловлено низкой производительностью, крупными размерами получаемых фракций и высокой энергоёмкостью оборудования, основанного на этих принципах диспергирования. Поэтому перспективным является использование ультразвуковой кавитации, огромный потенциал эффективности которой был доказан ещё к 60–м годам прошлого века [5, 6]. Согласно данному принципу в жидкодисперсную среду осуществляется ввод мощных ультразвуковых (УЗ) колебаний (частота 20...25 кГц) при помощи твёрдотельного излучателя. УЗ колебания создают кавитационные пузырьки, которые периодически расширяются и схлопываются, образуя микроскопические ударные волны с давлениями до 1000 атм. Разрушающее действие кавитационных ударных волн приводит к распаду частиц дисперсной фазы на значительно более мелкие вплоть до размеров 1 мкм и менее.

Однако без оптимизации дозирования энергии и условий воздействия (геометрии технологического объёма), обеспечивающих равномерное распределение вводимой энергии за счёт многократных переотражений колебаний, ультразвуковая кавитация максимальной эффективности не обеспечивает [6, 7]. В связи с этим, для большинства химико–технологических процессов все положительные эффекты УЗ на сегодняшний день получены исключительно в лабораторных условиях, не достигнув промышленного использования.

Поэтому, с целью установления оптимальных режимов и условий УЗ воздействия, была разработана феноменологическая модель формирования кавитационной области и кинетики диспергирования мелких фракций в несущей жидкой фазе. Предложенный подход к моделированию основан на рассмотрении кавитирующей жидкодисперсной системы как единого целого с эквивалентными характеристиками по плотности, скорости звука, коэффициенту затухания УЗ, влияющими на условия распространения и отражения колебаний [6]. При этом учитываются все происходящие внутри объёма самой системы эффекты и явления путём последовательного анализа динамики одиночного пузырька, коалесценции и дробления пузырьков, а также кинетики диспергирования твёрдых частиц и капель в

жидкости.

Анализ кинетики диспергирования частиц (как твёрдых частиц, так и капель эмульсии) проводился на основе вероятностного подхода [8, 9], позволяющего рассчитать эволюцию концентрации частиц каждого размера с течением времени при известных вероятностях их распада. Для определения вероятности распада частиц предполагалось, что частица распадается тогда и только тогда, когда кавитационный пузырёк схлопывается внутри некоторой окрестности, именуемой «окрестностью распада» (рис. 1) [8]. Указанное предположение справедливо ввиду того, что ударная волна, генерируемая кавитационным пузырьком, затухает обратно пропорционально расстоянию от его центра. Соответственно, вероятность зарождения и схлопывания пузырька в «окрестности распада» и определяет вероятность разрушения (диспергирования частицы).

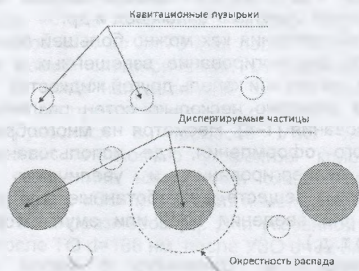
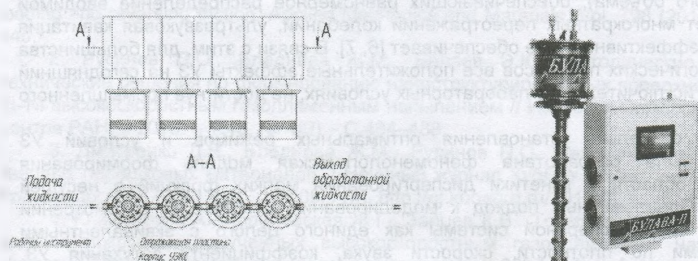


Рисунок 1 – Схематичное изображение формирования кавитационных пузырьков вблизи дисперсных частиц в жидкости

Таким образом, разработанная феноменологическая модель позволяет выявить зависимость удельной площади межфазной поверхности (на единицу объема жидкодисперсной системы) от интенсивности и условий УЗ воздействия.

Рассчитанные теоретические значения оптимальных интенсивностей УЗ воздействия, а также расстояний между излучающей поверхностью и отражающей границей, обеспечивающие максимальную степень увеличения межфазной поверхности, подтверждаются проведенными экспериментальными исследованиями.

Полученные результаты послужили основой для разработки конструкций технологических объемов и изготовления ряда специализированных ультразвуковых технологических аппаратов (рис. 2) [6, 7], обеспечивающих увеличение поверхности контакта фаз в жидкодисперсных системах (эмульсиях и суспензиях) до 1,5 раз.



а) Эскиз многокаскадной конструкции технологического объема

б) Внешний вид одного комплекта ультразвукового аппарата с излучателем

Рисунок 2 – Разработанная конструкция УЗ технологических аппаратов серии «Булава» со специализированными технологическими объемами

Созданные аппараты прошли испытания на предприятиях Российской Федерации и за рубежом.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16–08–01298 а.

Список литературы:

1. Роторно–пульсационный аппарат для получения преимущественно систем «жидкость–жидкость» [Текст]: пат. 2299091 РФ МПК В01F3/08, В01F7/28 / Сакович Г.В., Василишин М.С., Кухленко А.А., Сысолятин С.В., Карпов А.Г. (РФ), патентообладатель: ИПХЭТ СО РАН (РФ), заявка 2005135595/15 от 16.11.2005, опубл. 20.05.2007.

2. Sidor, J. Mechanical layered model of a vibratory mill [Текст] / J. Sidor // *Mechanics and control.* – 2010. – 29(3). – P. 138–148.

3. Реактор с мешалкой и способ осуществления полимеризации с использованием такого реактора [Текст]: пат. 2492921 РФ МПК В01J 4/00 / Карлофф Р., Хайд Й., Пиккенэккер О. (DE), патентообладатель: Эвоник Рем Гмбх (DE), заявка 2010139556/05 от 28.11.2008, опубл. 20.09.2013.

4. Диспергатор для обработки жидких сред [Текст]: пат. 134443 РФ МПК В01F 5/00 / Раткевич И.К. (РФ), Гордеев А.Э. (РФ), Корнеев А.В. (РФ), Саттлер М. (CZ), Кормилицын В.И. (РФ), Сухарев В.Л. (РФ), патентообладатель: ООО «ФАКТОР» (РФ), заявка 2013107490/05 от 21.02.2013, опубл. 20.11.2013.

5. Мощные ультразвуковые поля [Текст] / под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1968. – 268 с.

6. Khmelev, V.N. Determination of Optimum Conditions of Ultrasonic Cavitation Treatment of High–viscous and Non–newtonian liquid media [Текст] / V.N. Khmelev, R.N. Golykh, A.V. Shalunov, V.E. Bazhin, V.A. Nesterov // 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2015: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2015. – P. 208–212.

7. Ультразвуковой проточный реактор для кавитационной обработки высоковязких жидкостей [Текст]: пат. на полезную модель 152620 РФ МПК В01J 19/10 / Хмелев В.Н., Голых Р.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С., Доровских Р.С. (РФ); заявитель и патентообладатель: ООО «ЦУТ АлтГТУ» (РФ), заявка 2014146060/05 от 17.11.2014, опубл. 10.06.2015 – 2 с.: ил.

8. Golykh, R.N. Theoretical and experimental study of cavitation dispersing in «liquid–solid» system for revelation of optimum influence modes [Текст] / R.N. Golykh // *Americal Journal of Engineering Research.* – 2016. – 1. – P. 159–168.

9. Krasulya, O. Impact of acoustic cavitation on food emulsions [Текст] / O. Krasulya, V. Bogush, V. Trishina, I. Potoroko, S. Khmelev, P. Sivashanmugam, S. Anandan // *Ultrasonics Sonochemistry.* – 2016. – Volume 30. – P. 98–102.