

ИНТЕНСИФИКАЦИИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ (НА ПРИМЕРЕ КАВИТАЦИИ)

Под кавитацией в жидкости понимают образование заполненных паром и газом полостей или пузырьков при локальном понижении давления в жидкости до давления насыщенных паров. Соотношение содержания газа и пара в полости может быть различным (теоретически от нуля до единицы). В зависимости от концентрации пара или газа в полости их называют паровыми или газовыми.

Различают:

- гидродинамическую кавитацию, возникающую за счет местного понижения давления в потоке жидкости при обтекании твердого тела,
- акустическую кавитацию, возникающую при прохождении через жидкость акустических колебаний.

Акустическая кавитация представляет собой эффективное средство концентрации энергии звуковой волны низкой плотности в высокую плотность энергии, связанную с пульсациями и захлопыванием кавитационных пузырьков. В фазе разрежения акустической волны в жидкости образуется разрыв в виде полости, которая заполняется насыщенным паром данной жидкости. В фазе сжатия под действием повышенного давления и сил поверхностного натяжения полость захлопывается, а пар конденсируется на границе раздела фаз. Через стены полости в нее диффундирует растворенный в жидкости газ, который затем подвергается сильному адиабатическому сжатию.

В момент схлопывания, давление и температура газа достигают значительных величин (по некоторым данным до 100 МПа и 1000 °С). После схлопывания полости в окружающей жидкости распространяется сферическая ударная волна, быстро затухающая в пространстве.

Акустическая кавитация в жидкостях инициирует различные физико-химические явления:

сонолюминесценцию (свечение жидкостей). Вызывается и электрическим, и тепловыми явлениями.

химические эффекты (звухимические реакции). Инициирование химических рекций за счет акустического воздействия.

эрозию твердого тела (разрушение поверхности). Возникает за счет механического воздействия пузырьков (кумулятивные струйки, микроабразивная обработка).

диспергирование (измельчение твердых частиц в жидкости)

эмульгирование (смешивание и гомогенизация несмешивающихся жидкостей) [1].

Ультрафильтрация – это процесс проникновения мельчайших частиц через разделяющую перегородку (мембрану).

Процесс зависит от поляризации, концентрации и чистоты поверхности мембраны. Это основные факторы, затрудняющие массообмен.

Симон и Пенпепик изучали ультрафильтрацию и обнаружили, что кавитация существенно ускоряет процесс перехода мелких частиц через разделяющую перегородку [2].

Кавитация создается ультразвуковым излучением, состав раствора двухкомпонентный: белок и вода.

Ясунимо Мухаи изучал ультрафильтрацию оротового белка (молярный вес - 67000) и лизоцим (лизозим) белка из яйца (молярный вес - 14300).

Ясунимо Мухаи утверждает, что ультразвуковая кавитация повышает скорость ультрафильтрации раствора с оротовым белком на 120%, а раствора с лизоцим(лизозим) белком остается неизменным.

Аналогичное явление наблюдается с высокими полимерными соединениями. Скорость ультрафильтрации раствора с глюкозой повышается на 100%, а раствора воды с мелкими молекулами остается неизменна.

На частота ультразвука 25 кГц и 48 кГц повышается мощность излучения с 2,5 Вт/см² до 3,4 Вт/см² и скорость процесса. Частоты выше указанных пределов, например 100 кГц, не приводят к повышению мощности или скорости. Это объясняется тем, что ультразвук с частотами 25 кГц и 48 кГц вызывает кавитацию, а к 100 Гц не вызывает.

Интенсификация ультрафильтрации ультразвуковой кавитацией зависит от направления ультразвука, на рисунке 1 представлены схемы направлений излучателя и потока через мембрану.

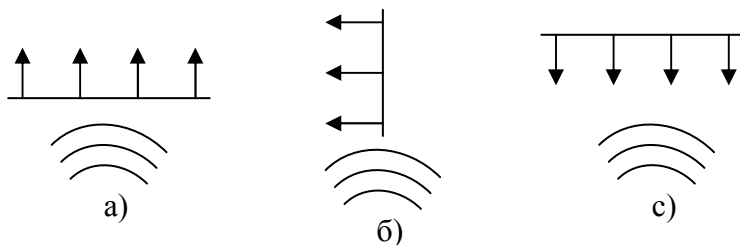


Рис. 1. Способы направления ультразвукового излучения:
а – по ходу потока проходящего через мембрану; б – перпендикулярно потоку проходящего через мембрану; с – против потока проходящего через мембрану

Установлено, что интенсификация ультрафильтрации по данным схемам приложения ультразвукового излучения, к потоку проходящего через мембрану убывает ($a > b > c$).

Наличие кавитации в потоке решает одну из основных проблем ультрафильтрации: забивка пор и соответственно загрязнение перегородки.

Вызванная ультразвуком кавитация создает дополнительное перемешивание и сообщает примесям (мелким частицам) огромную скорость, что благоприятно влияет на проникновение частиц через отверстия, а также исключает загрязнение поверхности мембраны.

Отрицательное действие кавитации заключается в разрушении перегородки. Кавитация способствует появлению потоков жидкости со скоростью до 1000 м/с на микро уровне, это похоже на «стихийное воздействие» которое своей мощью разрушает перегородку. Поэтому возникает проблема в поиске материала перегородки подходящего для таких условий работы [2].

Очистка сточных вод – одна из основных проблем химических производств. В сточных водах химических производств, таких как бумажные комбинаты, заводы по окраске тканей и других, содержатся вредные вещества, например, толуол, хлорфенол. Хлорфенол характеризуется жесткой структурой. Необходимо мощное энергетическое воздействие, в результате которого произойдет переход вещества в аморфное состояние. Существующие методы очистки: химические, физические, микробиологические и другие, требуют больших затрат времени и имеют невысокую степень очистки.

Для интенсификации химических реакций в процессе очистки сточных вод применяют кавитацию, созданную ультразвуком [3].

Для сравнения берутся два раствора с концентрацией хлорфенола 0,035 мг/мл и 2 мг/мл. Они подвергаются воздействию ультразвуком с частотой $f=1,7$ МГц, мощностью $N=1,5$ Вт/см². Кроме ультразвука другие воздействия не используются. Результаты ультразвукового воздействия приведены в таблице 1 для раствора с концентрацией 0,035 мг/мл и в таблице 2 для раствора с концентрацией 2 мг/мл.

Т а б л и ц а 1

Ультрафиолетовый абсорбирующий гамма-спектр (0,035 мг/мл)

Время воздействия, мин	225 нм		280 нм	
	концентрация, С, мг/мл	изменение концентрации ΔС, %	концентрация, С, мг/мл	изменение концентрации ΔС, %
начало	2,034		0,4644	
30	1,8773	7,7	0,4128	11,1
60	1,6071	21,0	0,3510	23,1

При воздействии ультразвуку в течение 4-6 часов распад хлорфенола прекращается, потому что при кавитации происходит насыщение ионами H^- и OH^- (свободный). При понижении концентрации хлорфенола, H^- и OH^- взаимодействуют между собой, и происходит образование воды (H_2O).

Т а б л и ц а 2

Ультрафиолетовый абсорбирующий гамма-спектр (2 мг/мл)

Время воздействия, мин	225 нм		280 нм	
	концентрация, С, мг/мл	изменение концентрации ΔC , %	концентрация, С, мг/мл	изменение концентрации ΔC , %
начало	1,8349		0,3660	
60	1,7865	2,6	0,3586	2,0

Из анализа таблиц 1 и 2 можно сделать вывод, что концентрация хлорфенола увеличена в 60 раз, распад хлорфенола в 10 раз больше, поэтому для более эффективной очистки лучше повышать концентрацию вредных веществ в исходном растворе.

При химической очистке путем добавления перекиси водорода H_2O_2 в количестве 0,5 мл на 200 мг в раствор с концентрацией хлорфенола 0,035 мг/мл через 120 минут количество хлорфенола уменьшилось на 19,2 %.

При совместном воздействии перекиси водорода H_2O_2 и ультразвука с частотой $f=1,7$ МГц и мощностью $N=1,5$ Вт/см² в течении того же промежутка времени, концентрация хлорфенола уменьшилась на 69,7%.

Результаты воздействий сведены в таблицу 3.

Т а б л и ц а 3

Сводная таблица воздействий

Вид воздействия	Время, мин	изменение концентрации ΔC , %
Ультразвук	120	32,4
H_2O_2	120	19,2
Ультразвук + H_2O_2	120	69,7

Применение кавитации позволяет интенсифицировать процесс химической очистки, т. е. ту же степень очистки можно получить за меньшее время [3].

Список литературы:

1. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение; 2001. – 260 с.
2. Chen Jian, Xiao Kaijun, Guo Siyuan, Li Lin. Ultraonic enhancement of ultrafiltration [J]. Acta acustica 2002(21).45-48.
3. Wan Hai, Hao Hon wei, chen yi fang, hu yi sheng, lv zhao lin. study on Degradation of p-Chlorophenol and Its Degradation Mechanism Using High Frequency Ultrasound [J]. Environmental protection of chemical industry, 2002(10), 257-261

Кафедра «Машины и аппараты химических производств»