

*П. Г. Думитраш,
М. К. Болога,
И. С. Панашеску,
Т. Д. Шемякова*

Институт прикладной физики,
Молдова

ПРИМЕНЕНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ СУСПЕНЗИИ БЕНТОНИТА

Показано, что применение ультразвуковой, гидродинамической и бичастотной кавитации для диспергирования бентонита позволяет получить суспензии наноразмерных частиц. Установлены зависимости размеров частиц от амплитуды колебаний, длительности обработки и статического давления. Анализируются результаты электронномикроскопического исследования суспензий.

Ключевые слова: бентонит, диспергирование, ультразвуковая, гидродинамическая, бичастотная кавитация, вино, осветление.

Введение. В винодельческой промышленности для оклейки вин и соков применяется суспензия на основе бентонита [1], который, как правило, импортируется из-за рубежа - Грузии, Италии, Германии и других стран. В то же время имеется возможность применения бентонита местного происхождения [2]. С целью подтверждения его пригодности в винодельческой промышленности была разработана технология приготовления активированной высокодисперсной суспензии бентонита на уровне нанотехнологий с использованием эффектов кавитации.

Оклейка бентонитом с целью осветления и стабилизации вин и соков является одним из главных технологических процессов в винодельческой промышленности. Способность разбухания и адсорбции, главные свойства бентонита, зависят от степени диспергирования кристаллических лепестков. Бентонитовая пудра, особенно Na – бентонит, в воде или вине образует комки и плохо диспергируется традиционными устройствами. Образование комков обусловлено наличием влажного слоя, окружающего частицы бентонита, который разбухает, образует гель и препятствует проникновению воды или вина внутрь комка. Наличие комков препятствует участию значительной части бентонита в процессе осветления обрабатываемого продукта. Для получения гомогенной суспензии необходимо диспергировать мелкодисперсный бентонит в воде или вине при его интенсивном перемешивании.

Известно, что кавитация является мощным средством интенсификации тепломассообменных технологических операций, влияет на структуру газо-жидкостно-твердых систем. Изменения их фаз происходит под воздействием нелинейных кавитационных эффектов, возникающих под влиянием гидродинамических течений за кавитаторами различной геометрической формы или в узких каналах. В результате такого воздействия достигаются высокие локальные температуры и давления, сравнительно большие скорости их изменения по сравнению с известными технологическими процессами. Кавитационные воздействия приводят к физико-химическим превращениям в рабочих средах, которые могут стать решающими в развитии технологических процессов, что особенно актуально и перспективно для создания высокодисперсных (нанодисперсных) газо-жидкостно-твердых фаз.

Приготовление разнообразных по составу и свойствам суспензий на их основе является весьма важным звеном в различных технологических процессах. При этом качественный состав конечного продукта и затраты, связанные с его получением, во многом зависят от применяемых технологических операций.

Применение суспензии бентонита, приготовленной с использованием кавитационных технологий, максимально сохраняет вкусовые и питательные качества конечного продукта. Суспензия бентонита, состоящая из воды, наноразмерных газовых пузырьков и твердых частиц, площадь контакта которых с продуктами обработки на 2 - 3 порядка выше, позволяет значительно интенсифицировать процессы адсорбции и флокуляции веществ в обрабатываемом продукте. С

учетом вышеизложенного, в работе приводятся результаты исследований процесса приготовления суспензии бентонита с исходными твердыми частицами размерами 200 - 300 мкм в ультразвуковом, гидродинамическом и смешанных полях. Это позволило уменьшить размеры частиц до субмикронных, нанометрических (0,4 - 2,1 мкм). Было показано, что полученная высокодисперсная активированная суспензия бентонита позволяет уменьшить почти в 6 раз количество сухого бентонита, используемого при осветлении и депротеинизации вин.

Методика и анализ экспериментальных результатов. Эксперименты проводились на ультразвуковой кавитационной установке (рис. 1), работающей при избыточном статическом давлении; гидродинамической установке с цилиндрическими кавитаторами (рис. 2 а), установке с пульсирующим ротором (рис. 2 б) и на бичастотной установке. Технология была разработана на технологической линии для приготовления высокодисперсной активированной гомогенной суспензии бентонита в полупромышленных условиях.

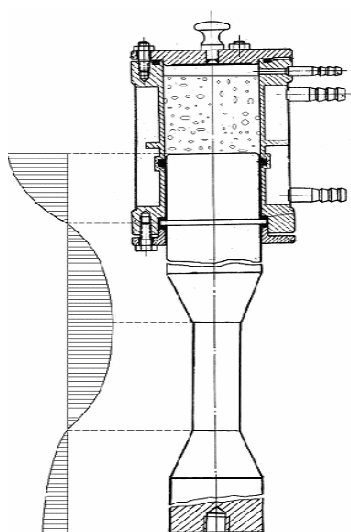


Рис. 1. Ультразвуковая установка для тонкого диспергирования.

Для обоснования технологии нанометрического тонкого диспергирования бентонита с целью улучшения осветления, удаления протеинов и стабилизации обработанного продукта были изучены разные методы генерирования кавитации - ультразвуковой, гидродинамический и бичастотный.

Использование ультразвуковой кавитации при гомогенизации и диспергировании сопровождается большим расходом энергии, и они становятся неэффективными при обработке больших объемов материала. Главное преимущество ультразвукового метода исследования состоит в том, что значительно сокращается продолжительность обработки, и в некоторых случаях метод незаменим. Использование гидродинамической кавитации позволяет увеличить эффективность процессов, однако требует увеличения давления, температуры и продолжительности обработки для эффективной гомогенизации и диспергирования.

С точки зрения технологических требований гидродинамическая и кавитационная обработки не позволяют получать тонкодисперсный гомогенизированный продукт. Следовательно, для уменьшения расхода энергии при получении тонкодиспергированных эмульсий и суспензий в больших объемах без промежуточных химических веществ необходимо искать новые возможности при использовании кавитации.

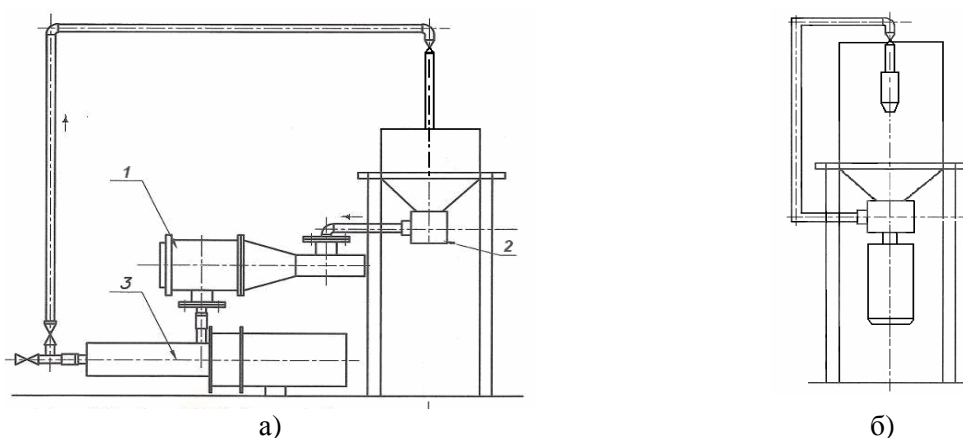


Рис. 2. Схема кавитационной установки: а) с гидродинамическим аппаратом; б) с гидроакустическим пульсирующим ротором.

Независимо от метода генерирования кавитации (ультразвуковой или гидродинамической) необходимо снизить расход энергии, повысить качество обработки многокомпонентной среды, сократить или исключить применение дорогостоящих и токсичных химических реагентов.

Результаты исследований подтверждают целесообразность применения бичастотной кавитации. Одновременное воздействие вибрации с диапазоном разных частот на физико-химические процессы обработки значительно увеличивает эффективность кавитационного действия [3 - 6]. При анализе действия двух частот модифицированное уравнение Нолтинга - Непейраса было решено путем разложения движения кавитационной каверны на «плавное» и «быстрое» [6]. Показано, что вибрация высокой частоты при взаимодействии с колебаниями низкой частоты увеличивает соотношение максимального размера кавитационной каверны по отношению к минимальному; одновременно фаза ее взрыва смещается, что приводит к значительному повышению коэффициента эрозии кавитационной каверны. Эти свойства определили направления исследований действия бичастотной кавитации на физико-химические процессы, которые происходят на поверхности раздела жидкость - жидкость, жидкость - твердое тело, жидкость - жидкость - газ, жидкость - твердое тело - газ.

Экспериментальная обработка была выбрана на основе расчетных и опытных данных, свидетельствующих, что максимальное влияние на повышение эффективности ультразвукового и гидродинамического диспергирования суспензии бентонита оказывают звуковое и статическое давление [7]. В реактор установки объемом 1 дм³ засыпался порошковый бентонит и подавалась вода. Концентрацию твердой фазы в суспензии бентонита варьировали от 5 до 20 %. Ультразвуковую установку настраивали на резонансную частоту и амплитуду колебаний для обработки. Амплитуду колебательного смещения измеряли с помощью электродинамического датчика [8]. Режим кавитации регистрировали по сигналам, поступающим от волнового щупа на осциллограф, о чем свидетельствовала характерная картина спектра кавитационного шума.

Процесс нанодиспергирования бентонита в воде под воздействием ультразвуковой и гидродинамической кавитации изучался в зависимости от продолжительности обработки и амплитуды колебаний волновода, от скорости и давления потока. Размер частиц и степень дисперсности суспензии определяли методом электронной микроскопии.

Результаты и их обсуждение. Для выявления основных закономерностей, характеризующих ультразвуковое и гидродинамическое кавитационное диспергирование суспензии бентонита, возможностей регулирования и моделирования процесса были изучены его кинетические особенности и взаимосвязь свойств суспензии из нанометрических частиц с качеством обрабатываемого продукта – вина.

При диспергировании твердых частиц бентонита ультразвуковой кавитацией наиболее существенное влияние оказывает продолжительность обработки, что показано на рис. 3. Увеличение продолжительности обработки сопровождается интенсивным уменьшением размеров частиц бентонита до достижения тонкой постоянной дисперсии, начиная с 12 минут обработки для всех используемых амплитуд колебаний.

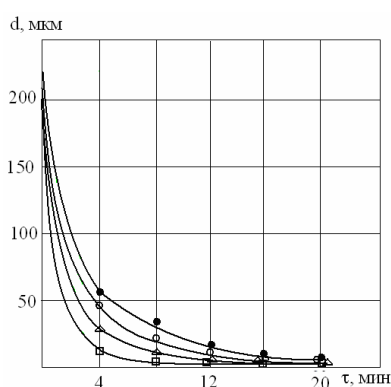


Рис. 3. Размеры частиц бентонита (d, мкм) в зависимости от продолжительности обработки ультразвуковой кавитацией (τ, мин).

Электронномикроскопический анализ показал, что в обрабатываемой суспензии содержатся частицы разных размеров. Первоначальные средние размеры частиц составляют 100 - 200 мкм (рис. 4 а). Микроскопическая визуальная оценка суспензии бентонита подтверждает эффект ультразвуковой обработки, поскольку суспензия в основном состоит из субмикронных частиц одинакового размера. Для достижения 100% гомогенной тонкой суспензии необходима амплитуда колебаний выше 15 - 20 мкм при продолжительности обработки более 12 минут (рис. 4 б).

Главный недостаток ультразвукового метода заключается в том, что он не позволяет обрабатывать бентонит в больших объемах. Метод гидродинамической кавитации позволяет диспергировать и гомогенизировать жидкость и твердые частицы в большом количестве. Этот процесс диспергирования бентонита был изучен на гидродинамическом кавитационном аппарате при частоте кавитаторов 400-450 Гц (рис. 2 а) и на пульсирующем роторе с частотой 2,5-3,0 кГц (рис. 2 б).

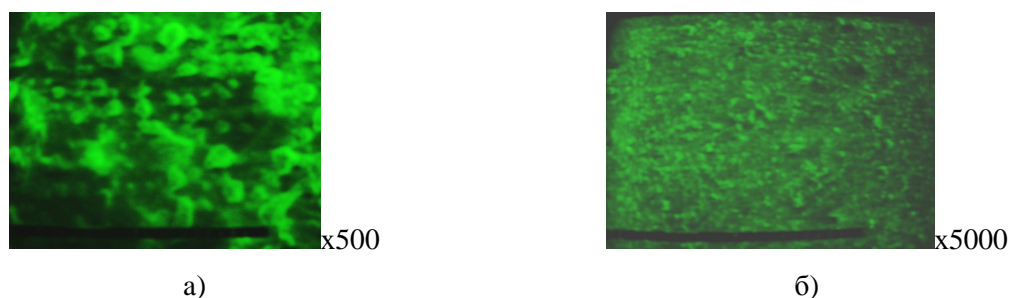


Рис. 4. Электронномикроскопические фотографии суспензии бентонита, полученной под действием ультразвуковой кавитации; первоначальные размеры а) (300 – 150) мкм; б) – $A = 20$ мкм, $\tau = 20$ мин, $d = 0,4$ мкм.

Результаты (рис. 5) свидетельствуют, что с повышением продолжительности обработки размеры частиц уменьшаются до одинакового размера: с гидродинамическим аппаратом – 35 - 40 мкм, с пульсирующим ротором – 8 - 15 мкм.

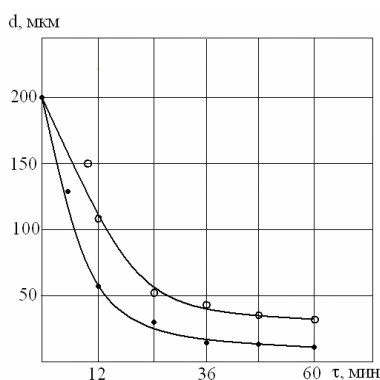


Рис. 5. Диспергирование бентонита под воздействием гидродинамической кавитации. Размеры частиц бентонита в зависимости от продолжительности обработки:
 о – гидродинамический аппарат, $f = 450$ Гц;
 ● – пульсирующий ротор, $f = 3600$ Гц

При гидродинамической обработке продолжительностью до 60 мин размеры частиц бентонита не изменяются, оставаясь постоянными (8 - 15 мкм).

Для повышения эффективности различных методов генерирования обработки больших объемов в процессах диспергирования и гомогенизации необходимо использовать одновременное воздействие колебаний нескольких частот. Для проведения исследований применялась технологическая линия, показанная на рис. 6. Диспергирование и гомогенизация суспензии бентонита бичастотной кавитацией эффективна и оптимальна, если правильно подбираются давление рециркуляции суспензии, продолжительность гомогенизации и соотношение фаз жидкость - твердое тело (концентрация сухих веществ в суспензии). Статическое давление в кавитационной акустической зоне в соответствии с полученными экспериментальными данными для эффективной обработки должно быть не менее 4 - 6 атм.



Анализ графиков диспергирования бентонита под действием бичастотной кавитации (рис. 7) показывает, что преобладают частицы размерами (0,3 - 2 мкм).

Рис. 6. Технологическая линия для тонкого диспергирования бентонита.

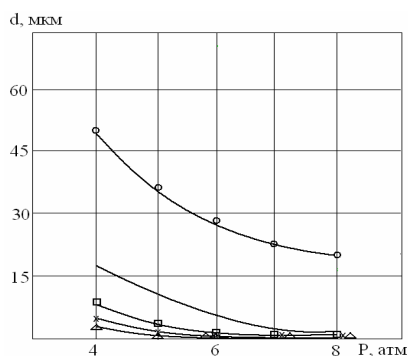


Рис. 7. Размеры частиц бентонита (d , мкм) в зависимости от величины давления в линии рециркуляции.
 $o - \tau = 24$ мин; $\bullet - \tau = 12$ мин; $x - \tau = 48$ мин; $\Delta - \tau = 60$ мин.

Суспензии бентонита, диспергируемые в поле бичастотной кавитации, использованы при осветлении вина классическим методом [9]; показано, что кавитационное диспергирование бентонита позволяет уменьшить его расход до 0,5 г/л, то есть уменьшить количество бентонита в 6 раз.

Выводы. Таким образом, изучен процесс диспергирования бентонита под воздействием ультразвуковой, гидродинамической и бичастотной кавитации; получены частицы нанометрических размеров (0,3 - 0,4) мкм. Разработана бичастотная кавитационная линия для тонкого диспергирования бентонита с целью ее использования при осветлении и депротенизации вин. Использование тонко диспергируемого кавитационным методом бентонита сокращает его объем, применяемый при депротенизации вина, в 6 раз.

Литература

1. Овчаренко Ф. Д. Исследование физико-химических свойств советских и зарубежных бентонитов / Ф. Д. Овчаренко, Е. А. Минакова // Бентонитовые глины Украины. - К.: Изд. АН УССР, 1960. - Вып. 4. - С. 56.
2. Кердиваренко М. А. Молдавские природные адсорбенты и технология их применения / М. А. Кердиваренко. - Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1975. - 192 с.
3. Маргулис М. А. О механизме одновременного воздействия двух частот акустических колебаний на физико-химические и химические эффекты / Маргулис М. А., Хавский Н. И. // Акустическая кавитация и применение ультразвука в химической технологии. - Славское, 1985. - С. 93 - 94.
4. Дмитриева А. Ф. Одновременное действие двух частот ультразвуковых колебаний на протекание звукохимических реакций / А. Ф. Дмитриева // Акустическая кавитация и применение ультразвука в химической технологии. - Славское, 1985. - С. 56.
5. К вопросу о механизме воздействия акустических колебаний на процесс флотации / Б. А. Агранат, Н. Н. Хавский, А. В. Фельдман, А. А. Миловидов // Шестая всесоюзная конференция по ультразвуковым методам интенсификации технологических процессов. - М., 1987. - С. 83.
6. Динамика пульсации кавитационной полости при двухчастотном возбуждении / М. Н. Дубровин, Ю. И. Китайгородский, Н. Н. Хавский // Шестая всесоюзная конференция по ультразвуковым методам интенсификации технологических процессов. - М., 1987. - С. 14.
7. Агранат Б. А. Ультразвуковая технология / Б. А. Агранат. - М.: Металлургия, 1992. - С. 456.
8. Hertz J., Non-contact electrodynamic measurement on metallic vibrators at 20 kHz, Ultrasonics, 1967, v. 5, no. 4, pp. 239 - 240.
9. Валуйко Г. Г. Стабилизация виноградных вин / Г. Г. Валуйко, В. И. Зинченко, Н. А. Мехузла. - Симферополь: Таврида, 1999. - 200 с.

P. G. Dumitras, M. K. Bologa, I. S. Panasescu., T. D. Shemyakova

Application of cavitation technology for preparation of finely dispersed bentonite suspensions

It was demonstrated that application of ultrasonic, hydrodynamic and bifrequency cavitation for bentonite dispergation allows one to obtain suspensions of nanoscale particles. It was investigated how the dimensions of the particles depend on the amplitude of oscillations, duration of the treatment, and static pressure. The results of the electron microscopic examination of the suspensions were analysed.

Keywords: bentonite, dispergation, ultrasonic, hydrodynamic, bifrequency cavitation, wine, clarification.