

УДК 534:663.2 (0.45)

### **Разработка экспериментальной ультразвуковой установки с керамическими мембранными элементами для обработки вина**

Канд. техн. наук **М.А. Иванова**, mtomz85@mail.ru  
аспирант **А.А. Понедельченко**, alexsey@avrora-spb.su

*Университет ИТМО*  
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Сложность производства вин, длительность и трудоемкость технологического процесса требуют постоянного совершенствования многих операций с внедрением новых средств автоматизации, физических методов их осветления и хранения. На основе теоретических исследований процессов и оборудования для подработки вина нами создана экспериментальная установка с керамическими мембранными элементами. Ультразвуковой излучатель за счет контактного наложения колебаний волн на керамический фильтр не только повышает эффективность удаления газов, осветления и фильтрования вин, улучшает органолептические показатели, но и стабилизирует работу фильтров, повышает их производительность. Планомерное использование физических факторов может существенно сократить время отдельных операций и без снижения качества вина. Нами разработана методика исследования процесса дестабилизации коллоидной системы вина в лабораторной установке ультразвуковым воздействием на базе мембранного фильтра «АкваКон» и ультразвукового аппарата «Волна–М» УЗТА-1/22-ОМ.*

**Ключевые слова:** вино; керамический фильтр; ультразвук; фильтрование; повышение производительности; стабилизация процесса.

---

### **Development of an experimental ultrasonic ceramic membrane elements for wine processing**

*Ph.D.* **M.A. Ivanova**, mtomz85@mail.ru  
**A.A. Ponedel'chenko**, alexsey@avrora-spb.su

*ITMO University*  
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*The extraordinary complexity of the production of wine, a long and arduous process of continuous improvement require many operations with the introduction of new automation equipment, physical methods of lightening and storage. On the basis of theoretical studies of processes and equipment for the undermining of wine, we have developed an experimental setup with ceramic membrane elements. Ultrasonic emitter due to the superposition of oscillations of contact waves on the ceramic filter not only improves the efficiency of gas removal, clarification and filtration of wines, improves organoleptic characteristics, but also stabilizes the filter increases their productivity. The systematic use of physical factors can significantly reduce the time of individual operations and without reducing the quality of the wine. We have developed a technique to study the process of destabilization of the colloidal system of wine in a laboratory setting ultrasound treatment on the basis of a membrane filter "AkvaKon" and ultrasonic apparatus "Wave-M" UZTA -1/22nd .*

**Keywords:** wine; ceramic filter; ultrasound; filtration; increase productivity; stabilize the process.

---

Необыкновенная сложность производства вин, длительность технологического процесса и трудоемкость требуют постоянного совершенствования многих операций с внедрением новых средств автоматизации, физических методов подработки и хранения [1]. Большое экономическое значение может иметь технология ускорения процессов подработки вин в результате сокращения продолжительности некоторых технологических процессов. Общеизвестно, что отдельные физические факторы существенно интенсифицируют производство вин. Вопреки, распространенным мнениям, что интенсификация процессов созревания и подработки продукта не обходится без снижения качества, можно возразить следующими доводами. Традиционные способы производства сильно зависят от качества виноматериалов, перемены климатических условий, квалификации специалистов и даже сооружений, где ведется подработка [1]. Планомерное использование физических факторов

может существенно стабилизировать отдельные операции процесса и даже повысить его характеристики. Так операции осветления, фильтрации и обезгаживания вполне поддаются ускорению благодаря разработанным керамическим фильтрам, а стабилизация этого процесса, – применением механической энергии ультразвука, хотя в целом научных работ в этом направлении недостаточно [2].

Сейчас широко применяется для искусственного осветления метод осаждения бентонитом [3]. Имеются исследования по ускорению осаждения примесей в вине с помощью ультразвука и бентонита [4–7]. При другом способе молодое вино фильтруют и пастеризуют при 70–80°C, затем охлаждают до –5°C в течение 6–10 дней и образовавшуюся муть снова фильтруют. Далее нагревают до 50°C и добавляют 0,1% дубовой стружки с умеренным проветриванием через одинаковые промежутки времени [1]. Технологии осветления и созревания вина у каждого производителя отличаются, но характерной особенностью их является большие трудозатраты и время выдержки.

В том, что вино в основном созревает в конце лета и осветляется и стабилизируется главным образом зимой – обычная практика виноделов. Технический прогресс позволяет сжать временные рамки процесса. Теперь такие операции, как осветление, стабилизация, коррекция, ранее решаемые только выдержкой, в настоящее время решаются другими средствами, более быстро действующими и надежными. Но как правило, недостатками таких способов являются необходимость значительных капитальных затрат и загрязнение готового продукта химическими реагентами. Введение реагентов повышает себестоимость готовой продукции [8]. Показанные недостатки обуславливают необходимость проведения работ, направленных на поиск и исследование новых способов осветления и обезгаживания вин.

Одним из таких способов может быть комбинированное применение экологически чистых керамических фильтров и дозированного ультразвука, который имеет неоспоримые преимущества по сравнению с известными способами: обеспечивает стерильность конечного продукта; не требует расходных материалов (в сравнении с химическими способами), прост в управлении и автоматизации процесса, снижает влияние человеческого фактора [9, 10]. Ультразвуковой способ фильтрации вин заключается в направлении акустических колебаний высокой интенсивности для активации жидкости и постоянной очистки межпорового объема фильтров [11, 8].

Для внедрения технологии ультразвуковой обработки виноматериалов в промышленное производство выполненных исследовательских работ недостаточно. Правда, уже предлагаются небольшие аппараты для обработки вина ультразвуком [6]. Эта технология (Ultrasonic Wine Decanter) обработки вина в поле ультразвука непосредственно в бутылке в течение 15–20 минут. Такая операция выполняется в специальном устройстве перед употреблением напитка. Предварительно в гнездо, куда ставится бутылка вина для снижения потерь звука, заливается незначительное количество воды. Производитель гарантирует улучшение вкуса и запаха виноградного напитка подобно дополнительной выдержке, а также разрушение диоксида серы, который добавляют в него в качестве консерванта.



**Рис. 1. Ультразвуковые декантеры с дисплеем для обработки вина в бутылках**

Выпуск таких «декантеров» намечен на май 2015 года, и тогда можно будет получить независимые отзывы истинных любителей вина. Такая легкость сделать обычное вино выдающимся потребует серьезных научных исследований. Под действием ультразвука происходит ускорение процесса старения вина. Этому способствует интенсификация физико-химических процессов, которые удаляют вредные компоненты, как метанол, ацетальдегид и др. Высокомолекулярные соединения (амиловый, изоамиловый, пропиловый и др. спирты) частично подвергаются деструкции. Этиловый спирт и органические кислоты вступают в реакцию этерификации, в результате чего образуются эфиры — ароматические вещества, которые видимо, улучшают

вкусовые и ароматические качества напитка. Изменение вкусовых показателей повышает интерес к применению такой технологии в виноделии. Кроме того, до последнего времени ультразвуковые интенсифицирующие воздействия практически не применялись для одновременного ускорения процессов фильтрации и холодной стерилизации вин. Видимо это было обусловлено отсутствием долговечных и качественных фильтров, специализированных ультразвуковых аппаратов, сложностью передачи акустических волн через различные по свойствам материалы и обрабатываемые среды. В настоящее время пока четко определились с диапазоном ультразвуковых колебаний (частота более 20 кГц) и уровнем ультразвукового давления (до 130 дБ). Диапазон используемых частот обусловлен требованиями обеспечения безопасности человека, а уровень звукового давления – необходимостью реализации максимальной эффективности процессов.

Особенно эффективно ультразвуковое воздействие на процессы, протекающие в жидкостных и дисперсных системах [12, 13]. Это обуславливает необходимость создания контактных с вином источников ультразвукового воздействия, например вибрирующих керамических труб-фильтров.

Научная гипотеза заключается в том, что повышение эффективности осветления и фильтрации вин, удаления газов и улучшения органолептических показателей возможно за счет контактного наложения механических колебаний волны ультразвука на керамические мембранные элементы, что изменит скорость процесса и стабилизирует производительность установки.

Наряду с повышением качества, использование мембранных установок (особенно на базе современных керамических мембранных элементов со сроком службы более 10 лет) в составе технологических линий производства вин создает возможность улучшения и экономических показателей предприятий за счет упрощения состава линий и снижения энергоемкости процессов [8]. Мембранные технологии осветления в настоящее время признаны в мировой практике в качестве энергосберегающих технологий разделения жидких пищевых сред, так как исключаются стадии пастеризации (тепловой обработки) и необходимость введения консервантов для обеспечения требуемых сроков хранения [10].

Недостатком мембранной фильтрации является низкая производительность и ее существенное снижение в процессе работы, что требует периодически переключать потоки фильтруемого вина на резервные фильтры. Это повышает стоимость обработки. Для достижения высокой производительности мембранных фильтров применяют обработку под давлением, что также сказывается на энергетических затратах. Ультразвуковое воздействие на мембранные фильтры коренным образом решает эти проблемы: снижается гидравлическое сопротивление фильтров и, следовательно, повышается производительность аппаратов, идет непрерывная очистка пор, задержка или реструктурирование высокополимерных спиртов [13]. Основной задачей исследования является разработка непрерывной технологии мембранного осветления винопродуктов, состава технологической линии и конструкции промышленной мембранной установки с керамическими мембранами, обеспечивающими стабильный процесс, а в совокупности решение задачи снижения себестоимости и повышения качества продукта. Внедрение предлагаемого инновационного технологического процесса в производство обеспечит достижение следующих преимуществ по сравнению с традиционными методами: 1) повышение качества осветленного вина; 2) устранение традиционных аппаратов фильтрации с упрощением состава технологической линии; 3) уменьшение потерь при фильтрации; 4) существенное снижение энергопотребления.

Поэтому актуальность создания проточной микрофильтрационной установки непрерывного действия с ультразвуковыми керамическими мембранными элементами для осветления вина очевидна.

Для обоснования рациональных параметров установки создан экспериментальный стенд. При этом нами учтены практические результаты исследований и разработок ультразвуковых аппаратов и технологий в лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института (филиала) государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», также работы многих институтов и фирм, совершенствующих керамические мембранные фильтры [14].

Акустическое воздействие непосредственно на керамику и прокачиваемый виноматериал создавалось ультразвуковым аппаратом «Волна–М» УЗТА-1/22-ОМ с потребляемой мощностью до 1000 Вт и частотой 20000 Гц. (Рис 2).



Рис. 2. Ультразвуковой аппарат «Волна – М» УЗТА-1/22-ОМ

В качестве керамического фильтра использовали многослойные мембраны фирмы «Аква Кон 0,15» с характеристиками близкими для использования с данным ультразвуковым аппаратом. Производительность до 100 л/ч при давлении 0,2–0,4 МПа и габаритных размерах 352 x 65 мм. В собранном виде фильтр Аква Кон 0,15 изображен на рис. 3. Керамические мембранные фильтры для воды Аква Кон состоят из мембранного трубчатого блока, закрепленного в корпусе из высококачественной пищевой нержавеющей стали. Корпус надежно защищает мембраны от механических повреждений. Керамические мембраны предназначены для работы в режиме тангенциальной фильтрации, но требуют периодической очистки. Так регенерация мембранного фильтра при тонкой очистке воды «Аква Кон» осуществляется раз в два года или чаще (для винопродуктов), срок службы не менее десяти лет.

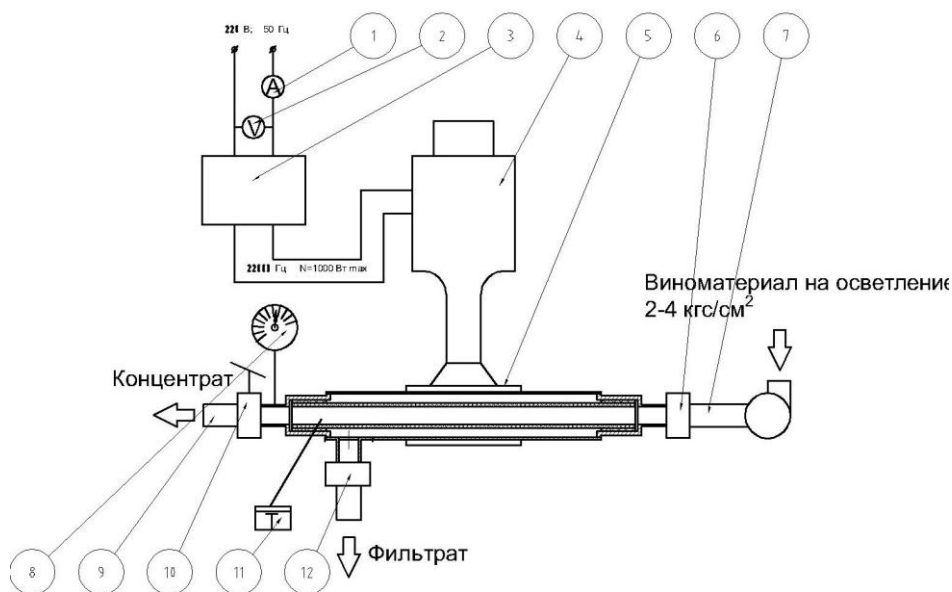
Для передачи механических воздействий от ультразвукового излучателя к фильтрующим керамическим элементам изготовлено и запатентовано звукопередающее приспособление, надеваемое на металлический корпус фильтра и жестко соединенное с излучателем ультразвука [11].



Рис. 3. Фильтр Аква Кон 0,15(справа без корпуса)

Мембранный фильтр для воды «АкваКон» исключает возможность вторичного загрязнения фильтрата ранее задержанными загрязнителями, как постоянно смываемые, что зачастую происходит при использовании сорбционных картриджных фильтров, так широко применяемых в виноделии.

На базе фильтра Аква Кон 0,15 нами создана экспериментальная установка для интенсификации фильтрации виноматериалов ультразвуком (Рис.4). Виноматериал под действием насоса 7 подается в фильтр 5, вибрирующий под действием ультразвука, фильтруется и подается на дальнейшую операцию. Часть виноматериала в виде концентрата поступает на разделение осадка (например, центрифугированием). Дополнительно скорость и качество фильтрации регулируется вентилями 6; 9; 12 и изменением подачи мощности от генератора ультразвука 2 в излучатель 3. Потребляемая мощность снимается с приборов 1 и 2, температура и давление в системе фильтрации определяются по приборам 11 и 8.



**Рис. 4. Схема экспериментальной установки для интенсификации фильтрации виноматериалов ультразвуком**

Допускаем, что конструкцию фильтра и экспериментальной установки в результате дальнейших опытов незначительно изменим, но принципиально мы можем получить следующие результаты:

- на разработанной лабораторной установке отработать методику и исследовать процесс дестабилизации коллоидной системы вина методами ультразвукового воздействия;
- получить уравнения, адекватно описывающие зависимость динамической вязкости, производительности, давления и степени осветления вина от силы и длительности ультразвукового воздействия;
- разработать математическую модель нестационарного процесса проточной микрофильтрации и установления эффективных параметров микрофильтрационной установки;
- разработать методику расчета многоступенчатой микрофильтрационной установки непрерывного действия и дать рекомендации по выбору эффективных параметров для внедрения ее в производство.

### *Литература*

1. Зайчик Ц.Р., Прохоренко П.П. Технологическое оборудование винодельческих предприятий: учебник. М.: ИНФРА-М, 2014. 496 с.
2. Патент РФ на полезную модель № 146625, 16.09.14.
3. Ратушный Г.Д. К вопросу о применении ультразвука при оклейке вин бентонитом // Виноделие и виноградарство СССР. 1968. № 2. С. 16-18.
4. Белоконов В.С., Фридман Б.С. Об осветлении вина бентонитовыми суспензиями, обработанными ультразвуком // Виноделие и виноградарство СССР. 1968. № 7. С. 16.
5. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Кузовников Ю.М. Изучение влияния ультразвукового воздействия на процессы осветления облепихового виноматериала // Материалы XII Международной конференции-семинара по микро/нанотехнологиям и электронным устройствам EDM' 2011 (Новосибирск, 2 июля 2011 г.). Новосибирск: НГТУ, 2011.
6. Рожнов Е.Д., Кузовников Ю.М., Хмелев В.Н., Севодин В.П. Влияние ультразвука на процесс осветления облепихового виноматериала // Виноделие и виноградарство. 2011. № 5. С.14-15.
7. Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Barsukov R.V., Sevodin V.P., Rozhnov E.D., Kuzovnikov Y.M., Abramenko D.S. Studying of ultrasonic treatment effect on sea-buckthorn wine clarification. 12<sup>th</sup> International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2011. Proceedings 2011. С. 265-268.
8. Истратова Е.Е., Пашкевич А.А. Определение технологических параметров процесса мембранного концентрирования сыворотки // Техника и технология пищевых производств: сб. науч. тр. Кемерово, 2006. С. 48-50.

9. Гаврилов Г.Б., Остроумов Л.А. Концентрирование компонентов молочной сыворотки ультрафильтрацией: сб. науч. тр. Кемерово, 2006. С. 48-50. Деп. в ВИНТИ 15.11.05, №1467-В 2005.
10. Патент В01D31 SU 856495 Керамический фильтр.
11. Патент РФ на изобретение № 2178461, 20.01.2002.
12. Технологии и оборудование для ультразвуковой интенсификации обогатительных процессов // Сборник материалов IX Конгресса обогатителей стран СНГ. 2013. Том I. С. 338—341.
13. Хмелев В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности. Барнаул: АлтГТУ, 2007. 416 с.
14. Прохоренко П.П., Дежкунов Н.В., Коновалов Г.Е. Ультразвуковой капиллярный эффект. Минск.: Наука и техника, 1981. 135 с.
15. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Шалунов А.В. Управление работой электронного генератора при ультразвуковом воздействии на кавитирующие технологические среды // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». 2004. № 2. С. 32–40.
16. Верболоз Е.И., Распопов К.С., Амирова Э.Р. Ресурсосберегающая установка для обработки суспензии цитрусовых в поле ультразвука // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 4.

### References

1. Zaichik Ts.R., Prokhorenko P.P. *Tekhnologicheskoe oborudovanie vinodel'cheskikh predpriyatii*: uchebnik. M.: INFRA-M, 2014. 496 p.
2. Patent RF na poleznuyu model' № 146625, 16.09.14.
3. Ratushnyi G.D. K voprosu o primeneniі ul'trazvuka pri okleike vin bentonitom. *Vinodelie i vinogradarstvo SSSR*. 1968. No. 2, pp. 16-18.
4. Belokon' V.S., Fridman B.S. Ob osvetlenii vina bentonitovymi suspenziyami, obrabotannymi ul'trazvukom. *Vinodelie i vinogradarstvo SSSR*. 1968, no. 7, P. 16.
5. Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Barsukov R.V., Kuzovnikov Yu.M. Izuchenie vliyaniya ul'trazvukovogo vozdeistviya na protsessy osvetleniya oblepikhovogo vinomateriala. *Materialy XII Mezhdunarodnoi konferentsii-seminara po mikro/nanotekhnologiyam i elektronnyim ustroystvam EDM' 2011 (Novosibirsk, 2 iyulya 2011 g.)*. Novosibirsk: NGTU, 2011.
6. Rozhnov E.D., Kuzovnikov Yu.M, Khmelev V.N., Sevodin V.P. Vliyanie ul'trazvuka na protsess osvetleniya oblepikhovogo vinomateriala. *Vinodelie i vinogradarstvo*. 2011, no. 5, pp.14-15.
7. Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Barsukov R.V., Sevodin V.P., Rozhnov E.D., Kuzovnikov Y.M., Abramenco D.S. Studying of ultrasonic treatment effect on sea-buckthorn wine clarification. *12th International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM'2011. Proceedings 2011*, pp. 265-268.
8. Istratova E.E., Pashkevich A.A. Opredelenie tekhnologicheskikh parametrov protsessa membrannogo kontsentrirvaniya syvorotki. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv: sb. nauch. tr.* Kemerovo, 2006, pp. 48-50.
9. Gavrilov G.B., Ostroumov L.A. *Kontsentrirvanie komponentov molochnoi syvorotki ul'trafil'tratsiei*: sb. nauch. tr. Kemerovo, 2006, pp. 48-50. Dep. v VINITI 15.11.05, №1467-V 2005.
10. Patent В01D31 SU 856495 Keramicheskii fil'tr.
11. Patent RF na izobretenie № 2178461, 20.01.2002.
12. Tekhnologii i oborudovanie dlya ul'trazvukovoi intensifikatsii obogatitel'nykh protsessov. *Sbornik materialov IX Kongressa obogatitelei stran SNG*. 2013, V. 1, pp. 338–341.
13. Khmelev V.N. *Ul'trazvukovye mnogofunktional'nye i spetsializirovannye apparaty dlya intensifikatsii tekhnologicheskikh protsessov v promyshlennosti*. Barnaul: AltGTU, 2007. 416 p.
14. Prokhorenko P.P., Dezhkunov N.V., Konovalov G.E. *Ul'trazvukovoi kapillyarnyi effekt*. Minsk.: Nauka i tekhnika, 1981. 135 p.
15. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Shalunov A.V. Upravlenie rabotoi elektronnoho generatora pri ul'trazvukovom vozdeistvii na kavitiruyushchie tekhnologicheskie sredy. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Tekhnologicheskaya sistemotekhnika»*. 2004, no. 2, pp. 32–40.
16. Verboloz E.I., Raspopov K.S., Amirova E.R. Resursosberegayushchaya ustanovka dlya obrabotki suspensii tsitrusovykh v pole ul'trazvuka. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2014, no. 4.