

В.А. МУНТЯН, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Таврийский агротехнологический университет, Мелитополь

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССАХ МОЙКИ ШЕРСТИ

На основі аналізу використання акустичних та ультразвукових коливань в технологічних процесах, а також аналізу гідродинамічних випромінювачів показана доцільність і переваги використання гідродинамічних випромінювачів при митті вовни.

На основе анализа использования акустических и ультразвуковых колебаний в технологических процессах, а также анализа гидродинамических излучателей показана целесообразность и преимущества использования гидродинамических излучателей при мойке шерсти.

Введение. Существующие технологии первичной обработке шерсти (ПОШ) отличаются значительным энергопотреблением и расходом воды, особенно в процессах мойки, а также неудовлетворительным качеством мытой шерсти. Уменьшение энергозатрат процессов ПОШ возможно путем использования новых физических факторов и явлений, которые существенно могут интенсифицировать обработку шерсти, а также могут способствовать улучшению ее качества. Одним из таких факторов являются акустические и ультразвуковые колебания, которые широко применяются в технологических процессах промышленности [1,2], стирке в бытовых условиях, медицине, и которые могут быть эффективно использованы в технологиях мойки шерсти.

Цель работы – обоснование целесообразности использования гидродинамических излучателей акустических и звуковых колебаний в процессах мойки шерсти.

Физика процессов. Ультразвуковые колебания в моечных растворах значительно ускоряют процесс очистки, а также позволяют получить высокую чистоту поверхности, заменить ручной труд, исключить пожароопасные и токсичные растворители. При помощи ультразвука удаляются следующие виды загрязнений: различные масла, жиры (растительного, минерального и животного происхождения), мазут, мыла; механические загрязнения (твердые частички металла, металлическая

стружка, частички абразива, волокна, пыль; загрязнения в виде продуктов коррозии; предохраняющие, консервирующие и защитные покрытия: защитные эмали, смазочные масла. Эффективность ультразвуковой очистки зависит как от частоты и интенсивности ультразвука, так и от физико-химических свойств жидкости (поверхностного натяжения, вязкости, упругости насыщенных паров, плотности, содержания газа), а также температуры и гидростатического давления [2].

Высокая эффективность ультразвуковой очистки объясняется явлением кавитации, сопровождающейся пульсацией и захлопыванием множества кавитационных пузырьков. Максимальная скорость движения стенок пузырька может достигать значения до 600 м/с. В момент схлопывания пузырька, давление и температура газа достигают значительных величин, соответственно до 100 МПа и 5000-25000 °K [3]. После схлопывания полости в окружающей жидкости распространяется сферическая быстрозатухающая ударная волн. Это приводит к появлению в жидкости потоков, скорость которых может быть до 150 м/с. Таким образом, кавитационная область в жидкости представляет собой своеобразный трансформатор мощности, в котором сравнительно медленно накапливаемая энергия освобождается в течение очень короткого времени, в результате чего мгновенная мощность во много раз превосходит среднюю, вводимую излучателем в кавитационную область [1, 4].

Под действием звукокапиллярного эффекта и интенсивных микропотоков жидкость проникает в поры и трещины, где при захлопывании кавитационных пузырьков возникает мощная ударная волна, способствующая разрушению материалов. Кумулятивные струйки разрушают поверхность твердого тела за счет кинетической энергии жидкости [5].

При захлопывании пузырьков создаются импульсы давления величиной до нескольких тысяч атмосфер, что и является основной причиной отрыва загрязнений от поверхности тела, подвергающегося очистке. Величина максимального ударного давления P определяется как:

$$P = P_{\Gamma} \left[(k-1) \frac{P_0}{P_1} \right]^{k(k-1)}, \quad (1)$$

где P_{Γ} и P_0 – соответственно давление газа в пузырьке и жидкости; k – отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме.

Количество и размеры кавитационных пузырьков в жидкости зависят от параметров поля: интенсивности, частоты и звукового давления, а также характеристик жидкости: вязкости, плотности температуры, поверхностного натяжения и давления парогазовой смеси.

Интенсивность ультразвуковых колебаний определяется по формуле:

$$I = 2(\pi f \xi)^2 \rho c, \quad (2)$$

где f и ξ – частота и амплитуда колебательных смещений; ρ и c – плотность и скорость звука в жидкости.

В результате потерь акустической энергии, обусловленных вязкостью жидкости, эрозионная активность жидкости в ультразвуковых полях малой интенсивности уменьшается, и процесс очистки замедляется, но при большей интенсивности ультразвука в вязких жидкостях ($\nu \geq 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$) создаются благоприятные условия для кавитационных процессов.

На процесс ультразвуковой очистки также влияет поверхностное натяжение жидкости σ . При увеличении поверхностного натяжения ухудшается смачивание очищаемой поверхности, и соответственно, это мешает проникновению моющего раствора в узкие щели и отверстия. Для уменьшения поверхностного натяжения в жидкостях, используемых для ультразвуковой очистки, применяются поверхностно-активные вещества, улучшающие смачивание поверхностей, а также способствует разъединению частиц, и препятствуют их слипанию.

Очистка ультразвуком может происходить, как при низких, так и при высоких частотах. Низкие частоты используются для удаления жировых пленок. При низких ультразвуковых частотах кавитация возникает при небольшой интенсивности ультразвуковых колебаний. Повышение частоты больше чем 20-40 кГц является нецелесообразным в результате увеличения минимального значения звукового давления, достаточного для возникновения кавитации при заданных условиях [5].

При определенной интенсивности ультразвука происходит разрушения бактерий и вирусов; при этом разрушающий эффект прямо пропорционален интенсивности ультразвука. Ультразвук разрушают тифозные и туберкулезные палочки, возбудители коклюша, вирусы полиомиелита, энцефалита, бактерии таких видов, как стафилококки, стрептококки. Разрушающее действие ультразвуковых колебаний на микроорганизмы обусловило использование ультразвука для дезинфекции и стерилизации. Так с помощью ультразвуковых колебаний в течение 5 минут удалось достичь полной стерилизации воды без применения каких-либо химикатов. Предполагается, что в ультразвуковом поле происходит главным образом механическое разрушение бактерий, которое сопровождается разрушением клеточной оболочки и плазмолизом. Механическое разрушение бактерий возникает за счет

высокого переменного давления и температуры при кавитации, что приводит к полному уничтожению патогенной микрофлоры [6].

Также были получены положительные результаты при применении УЗ колебаний для отмывания загрязнений с тканей [7]:

- процесс отмывания загрязненных тканей значительно ускоряется и может проводиться при относительно низких температурах (40-50 °С);

- имеет место обеззараживание тканей и сточных вод;

- лучше сохраняются механические свойства тканей.

Экспериментально установлено, что частота колебаний влияет на количество слоев, которые одновременно обрабатываются, причем низкие ультразвуковые колебания поглощаются текстильной тканью меньше чем высокие. Например, при частоте 22 кГц одновременно можно отстирать четыре слоя хлопчатобумажной ткани, при 30 кГц – три, при 46 кГц – два и при 450-800 кГц – один. Полученные результаты совпадают с теорией поглощения плоской волны, которая характеризуется коэффициентом поглощения, и пропорциональна квадрату частоты колебаний.

Экспериментальные исследования по стирке ткани с помощью магнестрикционного излучателя на частоте 22 кГц и интенсивностью 4 Вт/см² в мыльно содовом растворе (3 г/л) при температуре 50 °С показали, что качество стирки хлопчатобумажной ткани вместе с дезинфекцией (полное уничтожение бактерий) удовлетворительное для *Bact. Coli* за 3 минуты, *Staphilococ* – за 5 минут и *Bact. Antrocoidas* – за 20 минут.

Соответственно упругие колебания способствуют интенсификации процесса стирки, улучшая гигиенические свойства обрабатываемой текстильной ткани, увеличивают пенообразующие и эмульгирующие свойства моющих веществ [7].

Использование ультразвуковых колебаний в процессах кожевенного производства улучшает эффективность процесса, сокращая время процесса и улучшая качество производимой кожи. Использование ультразвуковых колебаний частотой 33 кГц и мощностью 150 Вт уменьшает время крашения кожи до 55%, а также приводит к сокращению химических реагентов [8].

Лабораторные опыты по очистке грязной шерсти мериноса с жиренностью 17,46 и 20,72 % с помощью кварцевых вибраторов, генерирующие колебаний с частотой от 300 до 1600 кГц, показали эффективность мойки и обеззараживания шерсти при использовании УЗ колебаний [9]. Шерсть после мойки с помощью УЗ колебаний имела

лучшее качество, большую белизну и мягкость волокон.

Устройства для создания колебаний в жидкости. Для создания звуковых и ультразвуковых колебаний могут применяться электродинамические, пьезоэлектрические, магнитострикционные и гидродинамические излучатели. В ультразвуковом диапазоне наиболее распространены пьезоэлектрические и магнитострикционные излучатели в которых используется прямой пьезоэлектрический и магнитострикционный эффект в переменных магнитных и электрических полях. Диапазон частот возбуждения преобразователей является очень широким (от 8 кГц до 44 кГц и выше). Ультразвуковые колебания от преобразователя передаются в растворы через специальные трансформирующие и согласующие устройства (концентраторы, пластины и др.), заканчивающиеся излучающей поверхностью.

В гидродинамических излучателях возбуждение колебаний резонирующих элементов в виде пластин, стержней или мембран осуществляется набегающей струей жидкости. В пластинчатых излучателях с двухточечным (рис. 1,а) или консольным креплением (рис. 1,б) вибрирующей пластины струя жидкости вытекает с большой скоростью из конусно-цилиндрического или щелевого сопла 1 и попадает на пластину с клиновидным краем 2.

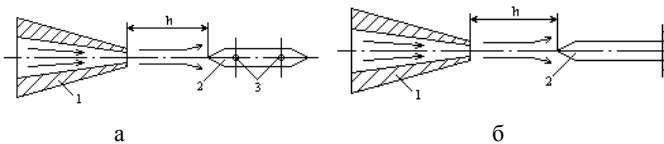


Рис. 1.

При этом происходит срыв струи, и возникают вихревые пульсации. Основная собственная частота изгибных колебаний пластинки определяется по формуле:

$$f_{PL} = \left(\alpha t / l^2 \right) \sqrt{E / \rho}, \quad (3)$$

где α – коэффициент пропорциональности, зависящий от способа крепления пластинки (при креплении пластинки в двух узлах $\alpha = 2,82$, при консольном креплении $\alpha = 0,162$); l , t – соответственно длина и толщина пластинки; E – модуль упругости материала пластинки; ρ – плотность материала, из которого изготовлена пластинка.

В натекающей струе возникают автоколебания с частотой:

$$f_c = kV / h, \quad (4)$$

где V – скорость струи; h – расстояние между соплом и пластинкой; k – коэффициент пропорциональности, зависящий от V и h .

Для возбуждения интенсивных колебаний необходимо совпадение f_C и f_{PL} .

Подобный принцип превращения кинетической энергии струи в энергию акустических колебаний используется в многостержневых гидродинамических излучателях (рис. 2). Струя жидкости, вытекающая из конусоцилиндрического сопла 1, ударяется в воронкообразный отрагатель 2 и веерообразно расходится, попадая на заостренные выступы стержней 3, закрепленных по цилиндрической образующей параллельно оси сопла. Происходит возбуждение колебаний стержней, которые создают в окружающей среде достаточно мощное звуковое поле. При использовании конусоцилиндрического сопла и отрагателя с лункой, близкой по форме к параболоиду вращения между торцами сопла и отрагателя формируется пульсирующая кавитационная область, определяющая параметры образующегося акустического поля. Пульсации кавитационной области создают переменные поля скоростей и давлений, которые возбуждают в стержнях 3 изгибные колебания на их собственной частоте, что дает вклад в излучение, повышая его интенсивность и монохроматичность. Собственная частота стержней $f_{ст}$ определяется по той же формуле, что и f_{PL} (коэффициент α при двустороннем закреплении стержней равен 1,03, а при консольном – 0,7).

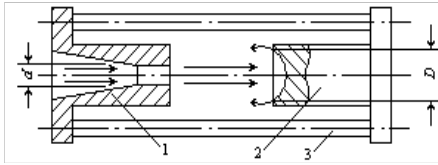


Рис. 2.

В прямоточном ГДИ [8] с кольцевым соплом и ступенчатым препятствием (рис. 3) вытекающая из кругового щелевого сопла в корпусе 1 затопленная струя формирует упругую жидкостную оболочку 2, которая жестко защемлена на выходе из сопла, причем другое ее основание является свободным. Ступенчатое препятствие 3 способствует тому, что часть кинетической энергии струи расходуется на формирование первичного вихря 4, внутри которого за счет эффекта Бернулли создаются условия для развития кавитации. Неустойчивость

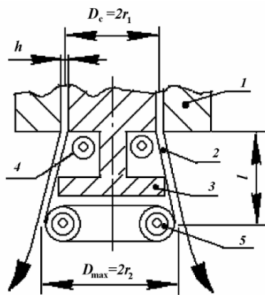


Рис. 3.

на формирование первичного вихря 4, внутри которого за счет эффекта Бернулли создаются условия для развития кавитации. Неустойчивость

этого тороидального вихря возбуждает колебания струйной оболочки на собственной частоте. При растяжении оболочки содержимое вихря 4 выходит наружу и за счет эффекта Кармана образуется вторичный тороидальный вихрь 5, генерирующий тональный звук в результате синфазного схлопывания паровых каверн.

При этом часть потока струи уходит в окружающее пространство и в автоколебаниях не участвует. Гидродинамическими параметрами системы являются ρ , γ , P – плотность, параметр адиабатической сжимаемости, внутреннее давление (прочность жидкости) соответственно и V – скорость струи на выходе из сопла. В диапазоне гидростатических давлений от 0,1 до 0,6 МПа интенсивность упругих волн, возбуждаемых прямоточным ГДИ, вблизи активной зоны достигает величины до 10 Вт/см² [8].

Гидродинамические излучатели способны излучать акустические колебания в частотном диапазоне от 0,3 до 35 кГц с интенсивностью 1,5–10 Вт/см². Общими преимуществами гидродинамических излучателей являются дешевизна получаемой акустической энергии, простота конструкций и их эксплуатации, а так же то, что струя жидкости приводит к интенсивному перемешиванию шерсти и удалению загрязнений. Преимуществом пластинчатых гидродинамических излучателей является то, что они могут работать при относительно низких напорах, начиная примерно с 2 атм.; недостатком – частые поломки пластин из-за усталостных напряжений, трудность расположения опор точно в узловых точках, затруднения при генерировании колебаний в вязких средах. Недостатком стержневых гидродинамических излучателей является то, что они работают при повышенных напорах, начиная примерно с 4 атм.

Использование стержневых ГДИ для процесса мойки шерсти, позволило получить экологически чистую мытую шерсть и многократно использовать воду в замкнутом цикле. При этом расход воды уменьшался в 30 раз на 1 т мытой шерсти, кроме того, осуществлялась дезинфекция шерсти, осадка и промывной воды, без химических средств. Для создания акустического процесса в ванне, для мойки шерсти в водянном растворе с поверхностно активными веществами применялись гидродинамические излучатели, возбуждающие колебания частотой 5...7 кГц и звуковым давлением $8 \cdot 10^4 \dots 20 \cdot 10^4$ Н/м² [10].

Выводы. Таким образом, акустические и ультразвуковые колебания широко используются в разных отраслях промышленности, сельского хозяйства и медицины. Обзор литературы подтверждает целесообразность использования гидродинамических излучателей для интенсификации процессов мойки шерсти, в результате чего будут получены следующие результаты:

- высокое качество шерсти;
- уменьшение расхода воды в связи с многократным использованием моечного раствора в замкнутом цикле;
- исключение отрицательного влияния процесса ПОШ на окружающую среду;
- проведение дезинфекции промывных вод и шерсти без специальных средств:

Список источников информации: **1.** Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. – М.: Химия, 1983. – 192 с. **2.** Ультразвуковая технология / Под ред. Б.А. Аграната. – М.: Металлургия, 1977. – 504 с. **3.** Промтов М.А. Кавитация. Режим доступа к статье: <http://www.tstu.ru/structure/kafedra/doc/maxp/eito14.doc>. **4.** Флинн Г. Физика акустической кавитации в жидкостях // Физическая акустика / Под ред. У. Мезона. – М.: Мир, 1967. – Т. 1, Ч. Б. – С. 7-138. **5.** Основы физики и техники ультразвука: Учеб. пособие для вузов / Б.А. Агранат, М.Н. Дубровин, Н.Н. Хавский и др. – М.: Высш. шк., 1987. – 352 с. **6.** Эльтнер И.Ч. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. – М.: Физ.мат., 1962. – Т. 3. – 186 с. **7.** Гусев В.Г. Сырье для шерстяных и нетканых изделий и первичная обработка шерсти. – М.: Легкая промышленность, 1977. – 408 с. **8.** Энергетика прямого гидродинамического излучателя в условиях гидростатического давления / Ю.М. Дудзинский, О.В. Сухарьков, Н.В. Маничева // Акустичний вісник. – 2004. – Т. 7. – №1. – С. 44-49. – Режим доступа до журн: [http://www.hydronech.kiev.ua/rus/av-html/av-007/1/pdf/av-07-1\(44-49\).pdf](http://www.hydronech.kiev.ua/rus/av-html/av-007/1/pdf/av-07-1(44-49).pdf). **9.** Фаерман В.Г. Применение ультразвука для обработки текстильных материалов. – М.: Легкая промышленность, 1969. – 435 с. **10.** Серета А.І. Обґрунтування та розробка методів і пристроїв для первинної обробки вовни з використанням пружних та електромагнітних коливань. – Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.09.16 / А.І.Серета. – Харків, 2006. – 20 с.



Мунтян Володимир Олексійович, доцент, доктор технічних наук. Захистив диплом інженера, дисертації кандидата і доктора технічних наук в Мелітопольському інституті механізації сільського господарства (Таврійський державний агротехнологічний університет) за фахом інженер-електрик, відповідно у 1980, 1990 та 2008 рр. Завідувач кафедри "Електропостачання сільського господарства" Таврійського державного агротехнологічного університету. Наукові інтереси пов'язані з проблемою оцінки якості біооб'єктів та контролю впливу на них низькоенергетичних електромагнітних полів.

Поступила в редколлегию 10.12.2009