

УДК 674.03:621.034

АНАЛИЗ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ИНТРОДУКЦИИ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ СЕКТОР ЭКОНОМИКИ

Гаспарян Г. Д.

ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», г. Братск, 665709, Иркутская обл., г. Братск, ул. Макаренко, д.40, e-mail: gasparyan_garik@mail.ru, garik.gasparian@yandex.ru

Проведены аналитические исследования ультразвуковых технологий, различные применения ультразвука, а также основные параметры ультразвукового излучения с целью определения степени эффективности интродукции ультразвука в различные технологические процессы деревообработки и создания принципиально новых технологий. Статья посвящена применениям ультразвуковых колебаний в различных отраслях промышленности и базируется на результатах современных научных исследований, проводимых предприятиями и организациями, а также на зарубежных научных публикациях последних лет. Статья излагает теоретические основы получения и распространения ультразвуковых колебаний в жидких, твердых, газовых средах и полимерных материалах. На основании данных исследований предстоит провести полнофакторные эксперименты с применением широкодиапазонного ультразвукового излучения, что позволит определить наиболее эффективные режимы реализации технологических процессов. На основании проведённых исследований сделаны выводы и даны практические рекомендации.

Ключевые слова: технологический процесс, ультразвук, инновационные технологии, интродукция технологий, трансфер технологий, ультразвуковая технология.

ULTRASONIC TECHNOLOGY ANALYSIS TO ASSESS THE INTRODUCTION INTO PRODUCTION

Gasparyan G. D.

Bratsk state university, Irkutsk reg., Bratsk city, Makarenko st.40, gasparyan_garik@mail.ru, garik.gasparian@yandex.ru

The analytical study of ultrasonic technology, ultrasonic various applications, and the main parameters of ultrasonic radiation, in order to determine the degree of effectiveness of the introduction of ultrasound in various technological processes and developing innovative technologies. Article focuses on the application of ultrasonic vibrations in various industries and is based on the results of modern scientific research by companies and organizations, as well as international scientific publications in recent years. The article describes the theoretical basis and the receipt of ultrasonic vibrations in the liquid, solid, gaseous media and polymeric materials. On the basis of this research to conduct the full factor experiments with a wide range of ultrasonic radiation, which will determine the most effective modes of implementation of technological processes. Based on the research conclusions and practical recommendations.

Keywords: technological process, ultrasonic, innovative technologies, technology introduction, technology transfer, ultrasonic technology.

Введение

Современное состояние техники и технологии ориентировано на развитие и внедрение инновационных технологий в различные технологические процессы, направленные на повышение эффективности промышленного сектора экономики. Такое развитие не обошло и лесной комплекс. Существующие технологии заготовки и переработки лесных ресурсов также претерпели интродукцию инновационных методов. Одним из новых методов в деревообрабатывающей промышленности является повсеместное использование ультразвукового излучения для различных целей. В связи с этим анализ и исследования существующих ультразвуковых технологий, применяемых в различных сферах деятельности человека, позволит провести оценку степени возможности применения ультразвука в различных технологиче-

ских процессах деревообработки, с целью их модернизации и создания принципиально новых технологических решений [1].

Цель исследования

Целью исследования является комплекс показателей ультразвукового излучения при интродукции его в технологические процессы деревопереработки.

Материалы и методы исследования

Понятие «ультразвук» приобрело в настоящее время более широкий смысл, чем просто обозначение высокочастотной части спектра акустических волн. С ним связаны целые области современной физики, промышленной технологии, информационной и измерительной техники, медицины и биологии.

Характерной особенностью современного состояния физики и техники ультразвука является чрезвычайное многообразие его применений, охватывающих частотный диапазон от слышимого звука до предельно достижимых высоких частот и область мощности от долей милливатта до десятков киловатт. Ультразвук применяется в металлургии для воздействия на расплавленный металл и в микроэлектронике и приборостроении для прецизионной обработки тончайших деталей; в качестве средства получения информации он служит как для измерения глубины, локации подводных препятствий в океане, так и для обнаружения микродефектов в ответственных деталях и изделиях; ультразвуковые методы используются для фиксации малейших изменений химического состава веществ и для определения степени затвердевания бетона в теле плотины. На основании разнообразных воздействий ультразвука на вещество образовалось целое технологическое направление – ультразвуковая технология. В области контрольно-измерительных применений ультразвука в самостоятельный, установившийся раздел выделилась ультразвуковая дефектоскопия, возможности которой и разнообразие решаемых ею задач существенно возросли.

В самое последнее время сформировались как самостоятельные области – акустоэлектроника и акустооптика. Первая из них связана с обработкой электрических сигналов, использующей их преобразование в ультразвуковые. Из устройств акустоэлектроники наиболее известными и давно используемыми являются линии задержки и фильтры. Достижения в области изучения поверхностных волн, генерации и приёма гиперзвуковых волн, установление связи упругих волн с элементарными возбуждениями в твёрдом теле привели к существенному расширению возможностей этих устройств и к созданию новых приборов акустоэлектроники, обеспечивающих более сложную обработку сигналов. Рассматривая многообразие практических применений ультразвуковых колебаний и волн, нельзя не упомянуть об ультразвуковой медицинской диагностике, которая даёт в ряде случаев более детальную информацию (и является более безопасной, чем другие методы диагностики) об ультразвуковой

терапии, занявшей прочное положение среди современных физиотерапевтических методов, и, наконец, о новейшем направлении применения ультразвука в медицине – ультразвуковой хирургии.

Наряду с применениями практического характера ультразвук играет важную роль в научных исследованиях. Нельзя себе представить современную физику твёрдого тела без применения ультразвуковых и гиперзвуковых методов, без понятия о фононах, их поведении и взаимодействиях с различными полями и возбуждениями в твёрдом теле. В изучении жидкостей и газов широко используются методы молекулярной акустики; всё большую роль играют ультразвуковые методы в биологии [2, 3, 4].

Интерес к ультразвуку, к ультразвуковой технике всё возрастает, благодаря его проникновению в самые различные области человеческой деятельности. Инженеры и научные работники, занятые в самых различных областях народного хозяйства и науки, оценивают возможности использования ультразвуковых методов для своих конкретных задач и в связи с этим хотят получить представление о различных аспектах физики и техники ультразвука на современном уровне.

Важной физической характеристикой ультразвуковых колебаний является амплитуда волны или амплитуда смещения. Амплитудой волны называется максимальное смещение колеблющихся частиц среды от положения равновесия [7]. Мощность звука при одной и той же частоте зависит от амплитуды колебания звучащего тела. Тело, совершающее колебания с большей амплитудой, будет вызывать более резкое изменение давления среды, и звук будет сильнее.

Скорость, с которой частицы среды колеблются около среднего положения, называется колебательной. Колебательная скорость (v) определяется выражением:

$$v = \omega \cdot A \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right), \text{ м/с}, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi \cdot f$ – круговая частота; A – амплитуда смещения частиц среды; t – время; x – расстояние от колеблющейся частицы до источника колебаний; c – скорость распространения колебаний в среде; $\omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$ – фаза колебаний.

В энергетическом отношении реальные колебательные системы характеризуются изменением энергии вследствие частичной ее затраты на работу против сил трения и излучением в окружающее пространство. В упругой среде колебания постепенно затухают. Для характеристики затухающих колебаний используются коэффициент затухания (S), логарифмический декремент (Θ) и добротность (Q).

Коэффициент затухания отражает быстроту убывания амплитуды с течением времени. Если обозначить время, в течение которого амплитуда уменьшается в $e=2,718$ раза, через τ , то:

$$S = \frac{I}{\tau}. \quad (2)$$

Уменьшение амплитуды за один цикл характеризуется логарифмическим декрементом. Логарифмический декремент равен отношению периода колебаний ко времени затухания τ :

$$\Theta = \frac{T}{\tau}. \quad (3)$$

Добротность системы – это величина, равная числу полных колебаний, соответствующих уменьшению амплитуды в e^π раз. Время, необходимое для такого уменьшения амплитуды, определяется произведением $\tau\pi$. Отсюда число периодов, укладывающихся в этот промежуток времени, или добротность Q выражается формулой:

$$Q = \frac{\tau\pi}{T}. \quad (4)$$

Пользуясь понятием добротности механической системы, можно вывести формулу собственной частоты затухающих колебаний:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4} Q^2} \quad (5)$$

Свойство среды проводить акустическую энергию, в том числе и ультразвуковую, характеризуется акустическим сопротивлением. Акустическое сопротивление среды выражается отношением звуковой плотности к объемной скорости ультразвуковых волн. Удельное акустическое сопротивление среды устанавливается соотношением амплитуды звукового давления в среде к амплитуде колебательной скорости ее частиц. Чем больше акустическое сопротивление, тем выше степень сжатия и разряжения среды при данной амплитуде колебания частиц среды. Численно удельное акустическое сопротивление среды (Z) находится как произведение плотности среды (ρ) на скорость (c) распространения в ней ультразвуковых волн.

$$Z = \rho \cdot c, \text{ Па}\cdot\text{с/м}. \quad (6)$$

Звуковое или акустическое давление в среде представляет собой разность между мгновенным значением давления в данной точке среды при наличии звуковых колебаний и статического давления в той же точке при их отсутствии. Иными словами, звуковое давление есть переменное давление в среде, обусловленное акустическими колебаниями. Максимальное значение переменного акустического давления (амплитуда давления) может быть рассчитано через амплитуду колебания частиц:

$$P = 2\pi \cdot f \cdot \rho \cdot c \cdot A. \quad (7)$$

где P – максимальное акустическое давление (амплитуда давления); f – частота; c – скорость распространения ультразвука; ρ – плотность среды; A – амплитуда колебания частиц среды.

На расстоянии в половину длины волны ($\lambda/2$) амплитудное значение давления из положительного становится отрицательным, то есть разница давлений в двух точках, отстоящих друг от друга на $\lambda/2$ пути распространения волны, равна $2P$.

Максимальные значения величин ускорения и давления, возникающие в среде при прохождении в ней ультразвуковых волн, для данной частицы не совпадают во времени. В момент, когда перепад ускорения достигает своего максимума, перепад давления становится равным нулю. Амплитудное значение ускорения (a) определяется выражением:

$$a = \omega^2 A = (2\pi \cdot f)^2 \cdot A, \quad (8)$$

то есть ускорение пропорционально квадрату частоты и амплитуде смещения.

Если бегущие ультразвуковые волны наталкиваются на препятствие, оно испытывает не только переменное давление, но и постоянное. Возникающие при прохождении ультразвуковых волн участки сгущения и разрежения среды создают добавочные изменения давления в среде по отношению к окружающему ее внешнему давлению. Такое добавочное внешнее давление носит название давления излучения (радиационного давления). Оно служит причиной того, что при переходе ультразвуковых волн через границу жидкости с воздухом образуются фонтанчики жидкости и происходит отрыв отдельных капелек от поверхности.

Интенсивность (сила) ультразвука – поток акустической энергии, отнесенный к единице поверхности, перпендикулярной направлению распространению ультразвука, или, иными словами, акустическая мощность, приходящаяся на единицу поверхности.

$$I = \frac{W}{S \cdot t}, \quad (9)$$

где W – энергия потока ультразвука, проходящего через площадь S за время t . Интенсивность ультразвука связана с амплитудой колебания, величиной переменного акустического давления и колебательной скоростью частиц среды.

Зависимость интенсивности ультразвука от амплитуды выражается формулой:

$$I = \frac{\rho \cdot c \cdot \omega^2}{2} \cdot A^2, \quad (10)$$

где ρ – плотность среды; c – скорость распространения ультразвуковых волн; ω – круговая частота; A – амплитуда колебаний.

Соотношение интенсивности ультразвука с величиной переменного акустического давления (P) для плоской ультразвуковой волны устанавливается следующим образом:

$$I = \frac{P}{2\rho \cdot c}. \quad (11)$$

Интенсивность ультразвука связана с колебательной скоростью частиц среды соотношением:

$$I = \frac{\rho \cdot c \cdot v^2}{2}, \text{ Вт/м}^2, \quad (12)$$

v – колебательная скорость частиц среды, м/с.

Для определения мощности (N) акустического излучателя любого ультразвукового аппарата достаточно интенсивность ультразвука умножить на площадь поверхности излучающей головки

$$N = I \cdot S.$$

Поглощенная в единице объема энергия называется физической дозой (D):

$$D = \frac{I \cdot t \cdot S}{V}, \quad (13)$$

где I – интенсивность ультразвуковых колебаний, падающих на озвучиваемую поверхность тела; t – время озвучивания; S – площадь облучаемой поверхности тела; V – объем слоёв коры, подвергнутых воздействию.

В процессе распространения плоских ультразвуковых волн в среде интенсивность ультразвука (I) уменьшается по мере удаления от источника излучения согласно формуле:

$$I = I_0 \cdot e^{-2ax}, \quad (14)$$

где I_0 – начальная интенсивность; x – расстояние от источника; a – коэффициент поглощения звука в среде.

Частицы среды, участвующие в передаче энергии волны, колеблются около положения своего равновесия. Скорость, с которой частицы колеблются около среднего положения равновесия, называется колебательной скоростью. Колебательная скорость частиц изменяется согласно уравнению:

$$V = U \cdot \sin(\pi \cdot f \cdot t + G), \quad (15)$$

где V – величина колебательной скорости; U – амплитуда колебательной скорости; f – частота ультразвука; t – время; G – разность фаз между колебательной скоростью частиц и переменным акустическим давлением.

Амплитуда колебательной скорости характеризует максимальную скорость, с которой частицы среды движутся в процессе колебаний, и определяется частотой колебаний и амплитудой смещения частиц среды:

$$U = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot A, \quad (16)$$

Где A – амплитуда смещения частиц среды.

Результаты исследования и их обсуждение

Многообразные применения ультразвука, при которых используются различные его способности, можно условно разбить на три направления. Первое связано с получением информации посредством ультразвуковых волн, второе – с активным воздействием на вещество и третье – с обработкой и передачей сигналов [5, 6]. При каждом конкретном применении используется ультразвук определённого частотного диапазона (табл. 1).

Таблица 1

Частотные диапазоны различных применений ультразвука

Примечания		Частота, Гц										
		10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}		
Получение информации	Научные исследования	в газах жидкостях	■									
		в твёрдых телах		■								
	О свойствах и составе веществ; о технологических процессах	в газах	■									
		в жидкостях		■								
		в тв. телах.	■									
	Гидролокация	■										
	Ультразвуковая дефектоскопия		■									
Контроль уровней, размеров	■											
Медицинская диагностика				■								
Воздействие на вещество	Коагуляция аэрозолей	■										
	Воздействие на горение	■										
	Очистка	■										
	Воздействие на химические и электрохимические процессы	■										
	Эмульгирование	■										
	Диспергирование	■										
	Распыление	■			■							
	Кристаллизация	■										
	Металлизация, пайка	■										
	Механическая обработка	■										
	Сварка	■										
	Пластическое деформирование	■										
	Терапия				■							
Хирургия	■			■								
Обработка сигналов и управление ими	Линии задержки				■							
	Фильтры	■										
	Преобразователи сигналов в акустоэлектронике		■									
	Акустические устройства		■									

Заключение

Высокая эффективность ультразвукового воздействия на различные технологические процессы и образование новых подтверждена многочисленными исследованиями и опытом более чем тридцатилетнего применения на ряде предприятий различных отраслей промышленности. Поэтому для осуществления технологического процесса окорки лесоматериалов в дальнейшем применяется частотный диапазон ультразвуковых колебаний, применяемых для воздействия на вещество ($10^3 - 10^8$ Гц). В связи с этим, применение ультразвука в различных технологических процессах деревопереработки является возможным, в зависимости от характера его применения. Ультразвук в технологических операциях деревопереработки воз-

можно использовать как для создания принципиально новых технологических решений, так и для использования совместно с существующими.

Список литературы

1. Гаспарян Г. Д. Разработка и обоснование параметров установки для окорки лесоматериалов ультразвуком: Дис. ... канд. техн. наук / Гаспарян Гарик Давидович; науч. рук. Г. Л. Козин; Братский государственный университет. – Братск, 2005. – 160 с.
2. Калиманов А. В. Возможности использования ультразвука в промышленности // Применение ультразвука в промышленности: Сб. статей. – 1959. – № 3. – С. 48–57.
3. Ультразвуковые технологии и аппараты [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [Бийск]: Официальный сайт лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института. 1994–2011. – Режим доступа: <http://u-sonic.ru>.
4. Хмелёв В. Н., Попова О. В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве. – Барнаул: АлтГТУ, 1997. – 160 с.
5. Хмелёв В. Н., Барсуков Р. В., Цыганок С. Н. Применение ультразвуковых колебаний для интенсификации технологических процессов. Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов»: В 3 ч. Ч. 2. – Красноярск: КГТУ, 1999. – С. 192–193.
6. Хмелёв В. Н., Шутов В. В. Перспективы совершенствования и применения технологии ультразвуковой обработки хрупких твердых материалов. Материалы 4 международной конференции «Измерение, контроль и автоматизация производственных процессов» («ИКАПП – 97»). – Барнаул: АлтГТУ им. И. И. Ползунова, 1997. – Т. 2. – С. 145–147.
7. Onda Corporation Acoustic and Ultrasound Testing Products and Services [Electronic resource] / – Electronic data. – Washington, cop. 2001. Mode access: <http://www.ondacorp.com>

Рецензенты:

Иванов Виктор Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Лесные машины и оборудование» ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», г. Братск.

Огар Пётр Михайлович, д.т.н., профессор, проректор по научной деятельности ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», г. Братск.