

УДК 674.03:621.034

## ВЛИЯНИЕ ВОЛН НА КОРУ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОКОРКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Гаспарян Г.Д.

ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет»,  
Братск, e-mail: gasparyan\_garik@mail.ru, garik.gaparian@yandex.ru

В статье рассматриваются принципы воздействия ультразвукового излучения на элементы коры с целью окорки лесоматериалов в водной среде, основанные на теоретических исследованиях волнового воздействия на предметы. Для достижения поставленной в работе цели в статье решены задачи по исследованию поведения ультразвуковых волн в каждом из элементов коры (корки, луба и камбиального слоя), степени поглощения и отражения в указанных слоях. Рассматриваются теоретические основы и экспериментальные данные по влиянию ультразвуковых волн на слои коры, процессы, возникающие при этом. Также определена степень звукокапиллярного эффекта, который способствует интенсивному проникновению влаги в слои коры, резкому вскипанию, что приводит к снижению межэлементного сцепления коры и последующему ее разрушению.

**Ключевые слова:** ультразвуковая окорка, технологические комплексы, кора, окорка лесоматериалов

## WAVES INFLUENCE ON THE BARK TO ASSESS THE ULTRASONIC TIMBER BARKING EFFECTIVENESS

Gasparyan G.D.

Bratsk state university, Bratsk, e-mail: gasparyan\_garik@mail.ru, garik.gaparian@yandex.ru

The article discusses the principles of ultrasonic radiation exposure to the elements bark to timber barking in the aquatic environment based on theoretical studies of wave action on the items. To achieve this goal in the article solved the problem by studying the behavior of ultrasonic waves in each of the elements of the cortex (peel, bast and cambial layer), the extent of absorption and reflection in these layers. Theoretical foundations and experimental data on the effect of ultrasonic waves on the layers of the cortex, processes that occur at the same time. Also determined degree sonocapillary effect which promotes intense penetration of moisture into the layers crust sharp boiling, resulting in lower interelemental clutch cortex and its subsequent destruction.

**Keywords:** ultrasonic barking, technological complexes, bark, timber barking

Для исследования ультразвуковой окорки лесоматериалов и оптимизации параметров окорки необходимо провести исследования поведения ультразвуковых волн на границах между частями коры и древесины.

**Целью исследований** является оценка воздействия ультразвуковых волн на элементы коры в водной среде.

### Методы и результаты исследований

Поведение ультразвуковых волн существенно отличается, когда они попадают на границу корки, луба и камбиального слоя. Условно обозначим слой корки средой  $A$ , слой луба – средой  $B$ , а камбиальный –  $B$ . Представим, что между средами  $A$  и  $B$  находится среда  $B$  толщиной  $d$ , как показано на рис. 1 (для того чтобы объяснить поведение отраженной и проходящей волн на поверхностях, падающая и преломленная волны изображены под углом). Если толщина  $d$  значительна, то есть толщина контактного перехода между средами  $A$  и  $B$  значительна, получается, что ультразвуковые волны падают на границу с двойной поверхностью.

На поверхности между  $A$  и  $B$  часть падающего луча отражается в среду  $A$ , а часть попадает в среду  $B$ . Проходя через  $B$ , луч снова отражается и передается в сле-

дующую среду. После этого луч проходит в среде  $B$ . Описанный процесс протекает последовательно. В результате между  $A$  и  $B$  непрерывно возникают отраженные волны, движущиеся в обоих направлениях. К тому же существует вероятность интерференции между прошедшими и отраженными волнами, что определяется разностью фаз. Прохождение падающей ультразвуковой волны через границу  $A$  и  $B$  зависит от толщины  $d$  прослойки.

### Ситуация 1

Если толщина среды  $B$  между средами  $A$  и  $B$  кратна половине длины волны:

$$d = \frac{n \cdot \lambda}{2}, \quad (1)$$

где  $n = 1, 2, 3$  и т.д., то в прослойке  $d$  происходит максимальная передача ультразвуковой энергии ( $a_i = 1$ ). Если толщина  $d$  значительно меньше длины волны  $d \ll l$ , то и в этом случае при одинаковых волновых сопротивлениях граничащих сред прохождение волны будет максимальным ( $a_i = 1, a_r = 0$ ). Толщина среды  $B$  никак не повлияет на передачу ультразвуковой энергии.

### Ситуация 2

С другой стороны, если толщина среды  $B$  составляет нечетное кратное четверти

длины волны в материале прослойки, передача ультразвуковой энергии будет минимальной ( $a_t = 0$ , максимальное отражение  $a_r = 1$ ):

$$d = \frac{(2n - 1) \cdot \lambda}{4}, \quad (2)$$

где  $n = 1, 2, 3, \dots$  и т.д.

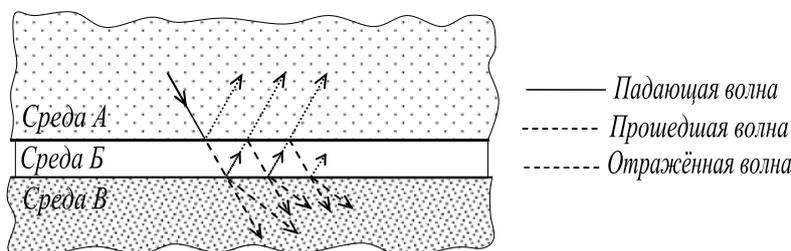


Рис. 1. Поведение волны на границах между элементами коры и древесиной: среда А – корка; среда Б – лубяной слой; среда В – камбиальный слой

Следовательно, для оптимального прохождения толщина среды Б должна составлять либо  $\lambda/2$ , либо  $n \cdot \lambda/2$ .

Когда коэффициент отражения равен нулю ( $a_r = 0$ ), передача ультразвуковой энергии максимальна, то есть  $a_t = 1$ . Для этого случая волновое сопротивление среды в граничной области или среде Б между двумя средами ( $Z_1$  и  $Z_2$  – волновые сопротивления этих сред) вычисляется следующим образом:

$$Z_0 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}. \quad (3)$$

Итак, когда граничная область имеет большую по размерам площадь, характер поведения отраженной и проходящей волн зависит от толщины камбиального слоя. Следовательно, очень важно выбрать подходящий ультразвуковой инструмент для обеспечения соответствующей длины волны для максимальной эффективности его воздействия на слои коры.

Рассмотрим падение ультразвуковой волны на границу двух сред с различными

волновыми сопротивлениями под любым углом, кроме прямого. Получающиеся в результате этого отраженная и преломленная волны имеют более сложный характер, чем при нормальном падении. Так, при прохождении ультразвуковой волны под косым углом из одной среды в другую может наблюдаться явление преломления (изменение направления движения волны) и конверсии (изменение характера движения, типа волны). Преломление происходит при пересечении ультразвуковой волной границы двух сред из-за изменений в ее скорости и направлении. Как отражение, так и преломление аналогичны явлениям, наблюдаемым в опытах со световыми лучами.

Соотношение между углами падения и преломления определяет закон Снеллиуса:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{U_A}{U_B}, \quad (4)$$

где  $\theta_i$  и  $\theta_r$  соответственно угол падения и угол преломления;  $U_A$  и  $U_B$  – скорость ультразвуковых волн в средах А и В.

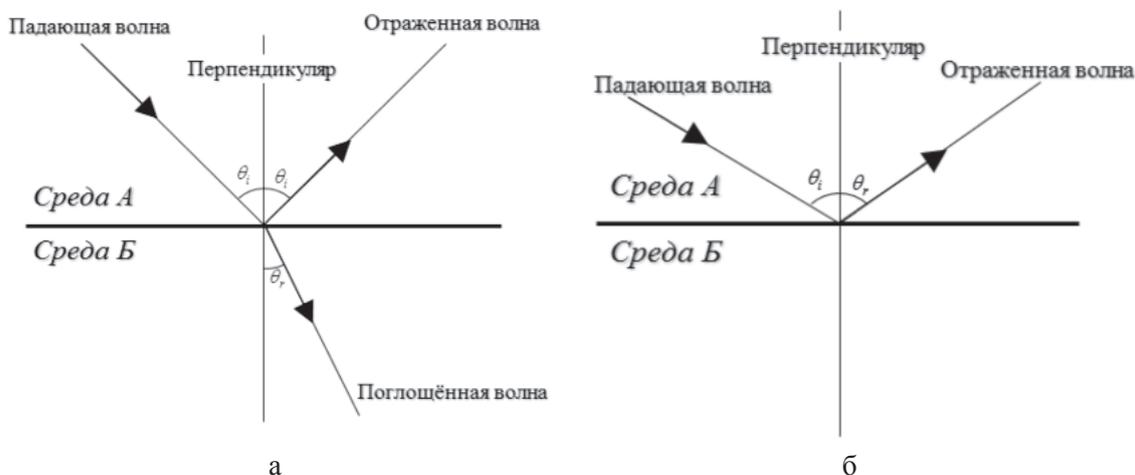


Рис. 2. Отражение и преломление на границах двух сред

Рассмотрим две среды  $A$  и  $B$ , обозначив скорости ультразвуковых волн в них  $U_A$  и  $U_B$ . Пусть волна, проходящая в  $A$ , падает на границу между первой и второй средой. На границе часть волны отражается в  $A$ , а часть преломляется, попадая в  $B$ , как показано на рис. 2, а. Отражение и преломление на границе зависят от скорости волны в обеих средах. С увеличением угла падения  $\theta_i$  происходит увеличение угла преломления  $\theta_r$ . Если  $U_A < U_B$  то при определенном значении угла  $\theta_i$  угол  $\theta_r$  становится равным  $90^\circ$ . Соответствующий угол  $\theta_r$  называется критическим. Если угол преломления превышает  $90^\circ$ , то есть  $\theta_r > 90^\circ$ , падающая волна полностью отражается, и перехода энергии во вторую среду не происходит. Данное явление называется полным внутренним отражением, (рис. 2, б). Это правило справедливо как для продольных, так и для поперечных ультразвуковых волн. Полное внутреннее отражение происходит при выполнении следующего условия:

$$\frac{U_A}{U_B} \sin \theta_i > 1. \quad (5)$$

Согласно Рэлею, интенсивности отраженной  $I_r$  и преломленной  $I_t$  ультразвуковых волн можно записать в следующем виде:

$$I_r = I \cdot \frac{\left[ \sqrt{1 - \sin^2 \theta_i} - \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \sqrt{\frac{U_A^2}{U_B^2} - \sin^2 \theta_i} \right]^2}{\left[ \sqrt{1 - \sin^2 \theta_i} + \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \sqrt{\frac{U_A^2}{U_B^2} - \sin^2 \theta_i} \right]^2} \quad (6)$$

и

$$I_t = I \cdot \frac{4 \cdot \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \sqrt{\frac{U_A^2}{U_B^2} - \sin^2 \theta_i}}{\left[ \sqrt{1 - \sin^2 \theta_i} + \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \sqrt{\frac{U_A^2}{U_B^2} - \sin^2 \theta_i} \right]^2}, \quad (7)$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – плотности сред  $A$  и  $B$ .

Ультразвуковая энергия полностью передается второй среде, когда  $I_r = 0$ . Из формулы (6) следует, что значение  $I_r$  будет нулевым только тогда, когда:

$$\sqrt{1 - \sin^2 \theta_i} = \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right) \sqrt{\frac{U_A^2}{U_B^2} - \sin^2 \theta_i}. \quad (8)$$

Следовательно, когда волна проходит границу двух сред, предельный угол полного отражения составляет:

$$\theta_r = \arcsin \left[ \frac{Z_1^2 - Z_2^2}{(\rho_1^2 - \rho_2^2) \cdot U_A^2} \right], \quad (9)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – волновое сопротивление сред  $A$  и  $B$ .

Рассмотрим продольную ультразвуковую волну, падающую на границу двух сред. На границе часть падающей волны отражается, образуя продольную волну под углом  $\theta_i$  к нормали, а часть преломляется, также формируя продольную ультразвуковую волну под углом  $\theta_r$  к нормали, как показано на рис. 3. К примеру, на границе воды и стали продольная волна полностью отражается при значении критического угла  $15^\circ$ .

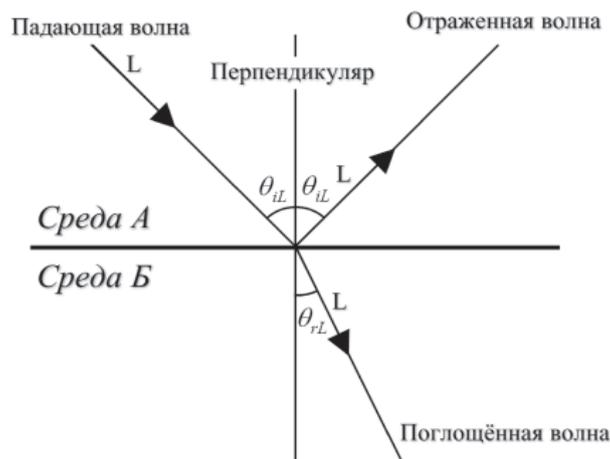


Рис. 3. Поведение продольной волны на границе корки и луба

Допустим, что обе соприкасающиеся среды твердые. Когда ультразвуковая волна (скажем, продольная) падает на границу, образуются два критических угла: один для

продольных волн, другой – для поперечных. Так, при падении продольной ультразвуковой волны на границу сред  $A$  и  $B$  образуются сразу две отраженные волны (рис. 4).

Подобное явление называется волновой конверсией (трансформацией волн).

Продольная волна отражается под углом  $\theta_{iL}$ , а поперечная – под углом  $\theta'_{iL}$ , который

меньше, чем  $\theta_{iL}$ . Аналогично для преломленного луча: продольная волна проходит под углом  $\theta_{rL}$  к нормали, а поперечная – под углом  $\theta'_{rL}$ , меньшим  $\theta_{rL}$ .

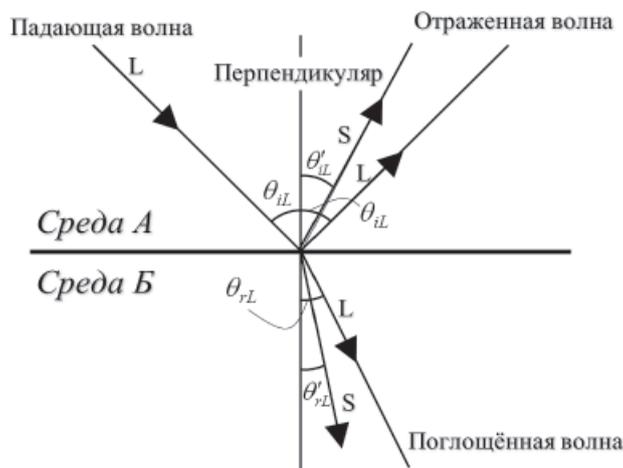


Рис. 4. Отражение и конверсия падающих и продольных волн на границах элементов коры

Таким образом, на границе двух твердых сред образуются два критических угла, используя которые можно заставить продольные или поперечные волны исчезать. Следовательно, правильный выбор критического угла позволяет получить нужную (продольную/поперечную) волну, движущуюся под определенным углом.

Например, при прохождении поперечной волной границы оргстекла и алюминия преломленная продольная волна исчезает под критическим углом  $25,5^\circ$ , а поперечная – под углом  $61,3^\circ$ .

Обозначим скорость волны в средах А и В следующим образом:  $U_{LA}$  и  $U_{LB}$  – скорость продольной волны,  $U_{TA}$  и  $U_{TB}$  – скорость поперечной волны. Соотношение скоростей

падающей и отраженной волн выражается формулой:

$$\frac{\sin \theta_{iL}}{U_{LA}} = \frac{\sin \theta'_{iL}}{U_{TA}} = \frac{\sin \theta_{rL}}{U_{LB}} = \frac{\sin \theta'_{rL}}{U_{TB}}, \quad (10)$$

где  $\theta_{iL}$  и  $\theta'_{iL}$  – углы падающей/отраженной продольной волны и отраженной поперечной волны;  $\theta_{rL}$  и  $\theta'_{rL}$  – углы проходящей продольной волны и проходящей поперечной.

Известно, что скорость поперечной волны в твердой среде всегда примерно на 50% меньше, чем у продольной. Следовательно, угол преломления  $\theta_{rL}$  продольных волн всегда будет превышать угол преломления  $\theta'_{rL}$  волн сдвига, что показано на рис. 3. Аналогичным образом происходит конверсия поперечных волн (рис. 5).

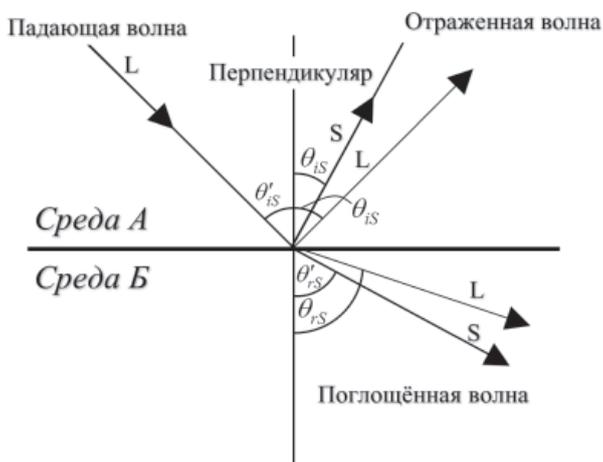


Рис. 5. Отражение и конверсия падающей на кору поперечной волны

Скорость падающей и преломленной волн можно записать так:

$$\frac{\sin \theta_{iS}}{U_{LA}} = \frac{\sin \theta'_{iS}}{U_{TA}} = \frac{\sin \theta_{rS}}{U_{LB}} = \frac{\sin \theta'_{rS}}{U_{TB}}, \quad (11)$$

где  $\theta_{iS}$  и  $\theta'_{iS}$  соответственно углы отраженной продольной и падающей/отраженной поперечной волн;  $\theta_{rS}$  и  $\theta'_{rS}$  – углы проходящих продольной и поперечной волн.

### Заключение

Таким образом, исследования воздействия ультразвуковых волн на элементы коры и оценка степени поглощения волн позволят определить наиболее рациональные параметры генератора и ультразвуковых инструментов для большей степени очистки дерева от коры.

### Список литературы

1. Гаспарян Г.Д. Разработка и обоснование параметров установки для окорки лесоматериалов ультразвуком: дис. ... канд. техн. наук. науч. рук. Г.Л. Козин; Братский государственный университет. – Братск, 2005. – 160 с.
2. Гаспарян Г.Д. Теоретические и экспериментальные исследования воздействия ультразвуковых волн на кору лесоматериалов с целью его окорки. Деп. в ВИНТИ № 1399-B2006, 2006.
3. Балдев Р., Раджендран В., Паланичами П. Применение ультразвука. – М.: Техносфера, 2006. – 576 с.

4. Bergmann L., *Ultrasonics*, Wiley. – New York. – 1988;
5. Blitz J, *Fundamentals of Ultrasonics*, 2nd Edn. Butterworth London. – 1967.

### References

1. Gasparyan G.D. *Razrabotka i obosnovanie parametrov ustanovki dlya okorki lesomaterialov ul'trazvukom: dis. ... kand. tekhn. nauk / Gasparyan Garik Davidovich; nauch. Ruk. G.L. Kozinov; Bratskiy gosudarstvennyy universitet. Bratsk, 2005. 160 p.*
2. Gasparyan G.D. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya vozdeystviya ul'trazvukovykh voln na koru lesomaterialov s tsel'yu ego okorki. Dep. v VINITI no. 1399. Vol. 2006, 2006.*
3. Baldev R., Radzhendran V., Palanichami P. *Primenenie ul'trazvuka. M.: Tekhnosfera, 2006 576 p.*
4. Bergmann L., *Ultrasonics*, Wiley, New York. 1988;
5. Blitz J., *Fundamentals of Ultrasonics*, 2nd Edn. Butterworth London. 1967.

### Рецензенты:

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

Рунова Е.М., д.с.-х.н., профессор, заведующая кафедрой «Воспроизводство и переработка лесных ресурсов», ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет», г. Братск.

Работа поступила в редакцию 07.05.2013.