

гает 33 % [13]. При одной и той же процедуре испытаний на образцах из древесины дуба процесс усушки идет более интенсивно, это отражается на величине редуцированной усушки. Сушка под сравнительно небольшими растягивающими напряжениями приводит к разрушению образца. Проведенные исследования позволяют выявить закономерности образования редуцированной и замороженной усушки для различных пород и установить взаимосвязи с особенностями анатомического строения.

Таким образом, исследования закономерностей деформационных превращений древесины при сушке под действием растягивающих нагрузок представляет древесиноведческий интерес и имеют практическое значение, могут быть использованы для разработки режимов сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбачева Г.А. Деформационные превращения древесины при изменении нагрузки, влажности и температуры: дис. ... канд. техн. наук: МГУЛ – М., 2004. – 198 с.
2. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 246 с.
3. Санаев В.Г., Уголев Б.Н., Галкин В.П., Калинина А.А., Аксенов П.А. Изменение усушки древесины при развитии сушильных напряжений / Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2015. – Т. 19. – № 1. – С. 54–58.
4. Уголев Б. Н., Галкин В.П. Влияние нагрузки на усушку древесины / Технология и оборудование для переработки древесины: сб. науч. тр. – Вып. 342. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – С. 4–8.
5. Уголев Б. Н. История и перспективы развития исследований сушильных напряжений в древесине / Труды 2-го международного симпозиума «Строение, свойства и качество древесины». – 1997. – М.: МГУЛ. – С. 230–238.
6. Уголев Б. Н., Галкин В.П., Горбачева Г.А., Калинина А.А. Обратимость деформаций древесины, остающихся после сушки под действием растягивающей нагрузки / Технология и оборудование для переработки древесины: сб. науч. тр. – Вып. 353. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2011. – С. 13–16.
7. Уголев, Б.Н., Галкин В.П., Калинина А.А. Исследование влияния уровня нагрузки и влажности на величину замороженной усушки древесины // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВПО КГТУ.– Кострома, 2012. – С. 42.
8. Ugolev, B.N. General laws of wood deformation and rheological properties of hardwood. Wood Science and Technology. – 1976. – 10(3): 169–181.
9. Ugolev, B.N. Stress–strain state of wood at kiln drying. / B.N. Ugolev, N.V. Skuratov // Wood Science and Technology. – 1992 – 26(3): 209–217.
10. Ugolev, B.N. Wood as a natural smart material // Wood Science and Technology. – 2014. – 48(3): 553–568.
11. Ugolev, B. N. Wood Drying Strains / B.N. Ugolev // Proc. 9th Inter. IUFRO Wood Drying Conference. – Nanjing, China, 2005: 13–23.
12. Ugolev, B.N., Galkin, V.P., Gorbacheva, G.A., Kalinina, A.A. Frozen shrinkage of wood // Proceedings 6th International symposium IUFRO – TUZVO «Wood Structure and Properties' 10». – Zvolen, Slovakia, 2011: 73–77.
13. Wagenfuhr, R., Scheiber, Chr. Holzatlas. – 3. Aufl. – Leipzig: Fachbuchverl. – 1989. – 720 p.

УДК 630.6

ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИКИ, ОТБОРА И ЦЕЛЕВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗОНАНСНОЙ ДРЕВЕСИНЫ (НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

В.И. Федюков, д-р техн. наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «КГТУ», г. Йошкар-Ола, РФ.
Fiv48@mail.ru

Приводится краткий экскурс в понятие о резонансной древесине и способах диагностики ее технических свойств при целевом отборе на корню и использовании в производстве музыкальных инструментов, а также в изготовлении акустических панелей для концертных залов.

Термин *резонансная древесина*, если судить строго, неправилен как с физической, так и с технической точек зрения; длина звуковых волн, распространившихся по деке поперек волокон, весьма велика, по сравнению с расстоянием между самими волокнами древесины, поэтому древесину следует рассматривать в виде целостного материала, а не так, как ошибочно подразумевалось ранее – «акустическая система, где волокна играют роль натянутых струн и резонируют на звуки от инструмента» [3]. Иными словами, здесь не происходит явление резонанса, что принято считать в физике; к тому же, лишь 3–5% обшей энергии, подводимой от струн к деке, излучается в окружающую среду в виде звука, а значительная часть ее теряется внутри материала и деталях ее закрепления на корпусе инструмента» [8].

Тем не менее, в практике и технической литературе укоренилось название «резонансная древесина», и оно более близко по смыслу французскому *resonance* или латинскому *resono*, что означает «звучу в ответ». Иными словами, древесину, используемую для дек, называют резонансной за ее акустическую отзывчивость в широком диапазоне частот, придающую особую, свойственную только данному материалу, тембровую окраску музыкальному звучанию инструмента.

Как выяснилось в результате современных исследований, наряду с музыкальными инструментами, резонансная древесина особую роль играет и в акустических панелях для внутренней обшивки концертных залов. Например, в конструкциях зрительного зала Государственного Академического Большого Театра России для достижения «эффекта звучания помещения» за счет усиления и тембровой окраски издаваемого со сцены звука с одновременным «эхопоглощением» были использованы резонансные лесоматериалы с высокими дендроакустическими показателями [11].

По оценке ЮНЕСКО данное сооружение именно благодаря внутренней акустике вошло в перечень наиболее выдающихся творений мирового зодчества; понятно, основная заслуга в этом принадлежит петербургскому архитектору Альберту Кавосу, который в проектировании зрительного зала использовал принцип устройства скрипки.

Способы диагностики и отбора материала для изготовления музыкального инструмента, равно и акустических панелей, условно можно рассматривать как *косвенные и прямые*. Не вдаваясь в детальное изложение всех способов [9], остановимся на тех, которые у профессионалов нашли наибольшее внедрение.

Косвенные способы основаны на визуальной оценке «музыкальности» дерева по породе, биоморфологическим признакам, условиям местопроизрастания, а также макроструктуре и внешнему виду древесины.

Порода. Как указывает Е.Ф. Витачек [2], первоначально Амати, Гварнери, Страдивари другие староритальянские мастера для основной звукоизлучающей детали скрипок-деки, применяли древесину сосны; путь к пониманию не только о силе, но, главное, красоте звучания от правильного сочетания резонансной ели (верхняя дека) с кленом (нижняя дека), причем, с волнистой структурой «птичий глаз», – был достаточно долгим, упорным и преодолен методом проб и ошибок; вспомним – первую уникальную скрипку Страдивари создал в возрасте 62 года после огромного количества экспериментов!

Сегодня во всем мире для многих видов музыкальных инструментов используется древесина преимущественно хвойных пород, причем, большим спросом среди мастеров пользуется древесина резонансной ели, которая формируется лишь в определенных условиях местопроизрастания у некоторых генетически обусловленных деревьев.

Для массового производства музыкальных инструментов ГОСТ 9463 рекомендует древесину *ели, пихты кавказской и кедра сибирского*; к сожалению, он ограничивается только визуальными размерно-качественными показателями, игнорируя акустикой древесины [13].

Биоморфологические признаки, по выражению проф. О.И. Полубояринова [7], представляют собой «древесиноведческий портрет дерева»; даже не проводив какие-либо испытания, с определенной степенью вероятности по ним можно прогнозировать соответствующие физико-механические свойства древесины в растущем состоянии, включая резонансные.

Например, ель с резонансной древесиной отличается в первую очередь высокоподнятой и узкой кроной; примерно от 1/3 до 2/3 ствола без сучьев, причем, имеет малый сбег и почти цилиндрическую поверхность. У таких деревьев от ветровых колебаний формируется более жесткая древесина с высоким модулем упругости $E_{дин}$, который, судя по формуле 1, во многом предопределяет ее резонансные свойства.

Второй, не менее важный признак резонансной ели – нисходящие ветви; крона в виде колонны, почти симметричная и постепенно убывает от основы к вершине под углом 30°–40°.

Многие мастера при отборе резонансной древесины на корню определенное значение придают *ритидоме* – структуре и цвету коры, хотя по этому признаку нет единого критерия; одни считают, что у резонансной ели кора должна быть серого цвета и состоять из малых и гладких чешуй, другие предпочитают вообще гладкокорым формам; третьи рекомендуют для этой цели деревья с округлыми, вогнутыми чешуями коры.

Размеры, цвет шишек и, главное, форма их семенных чешуй, в совокупности характеризующие принадлежность ели к соответствующему филогенетическому биотипу, в определенной мере также служат признаком для визуального прогнозирования качества древесины. Весьма значительным в этом аспекте биоморфологическим признаком является форма семенных чешуй; главное – «чистые» европейская или сибирская ель имеют сравнительно более высокие акустические показатели древесины, чем гибридные; причем, резонансные свойства улучшаются по мере перехода от европейского вида к сибирскому [9].

Внешний вид, особенно макроструктура древесины, являются превалирующим среди промышленников и даже мастеров критерием. Национальными стандартами многих стран установлены почти единые требования к макроструктуре: ширина годичных слоев в пределах (ШГС) 1–4 мм, а содержание в них поздней древесины (ПД) – не более 30%; при этом резонансная древесина должна быть равнослойной и здесь установлены весьма жесткие нормы допуска пороков – крени, синевы, водослоя, сучков.

Между тем, последние исследования, выполненные на уровне *микростроения*, показали, что кроме абсолютного значения ШГС существенная роль в улучшении акустики древесины принадлежит двум характеристикам [9]:

- границы годовичных слоев не должны быть «смазанными»: переход ранней древесины в позднюю-**резкий**; при наличии «переходной зоны» ее ширина не должна превышать 8–10% ширины ранней зоны годовичного кольца (подразумевается, что «переходная» зона входит в нее);
- удельное распределение поздних трахеид; высокие резонансные свойства лесоматериала достигаются, как правило, если зона поздних трахеид в годовичных слоях не будет превышать 20 %.

Условия местопроизрастания, безусловно играют большую роль в формировании уникальных акустических свойств древесины. До 1911 года, пока профессор Лесного института Н.А. Филиппов не провел изыскания и доказал наличие резонансной ели в отечественных лесах, считалось, что единственным источником «музыкальной» древесины в Европе являются горные насаждения Карпат, Рудных гор, Тирольских и Баварских Альп; причем, в суровых условиях возвышенности и северных склонах с бедной каменистой почвой.

Более поздние исследования подтвердили выводы проф. Н.А. Филиппова и, главное, уточнили: в наших лесах лучшими условиями для формирования резонансной древесины являются ельники – черничники, где произрастают спелые и даже переспелые древостои ели 11–111 класса бонитета [8], а в отдельных регионах – ельники травяно-болотные низинно-проточного типа увлажнения, включая объекты давней гидроресомелиорации.

Важно отметить, что в результате засухи 2010 г. произошло резкое уменьшение площадей ельников, особенно спелых древостоев. В этой связи большой практический интерес представляют сохранившиеся запасы еловой древесины в овражных лесах. К сожалению, за редким исключением, они малопригодны как источник резонансного сырья. Во-первых, здесь преобладают высокопроизводительные древостои 1 и даже 1-а классов бонитета; древесина отличается высокой плотностью и широкими годовичными слоями до 10–15 мм, то есть значительно превышающими общепринятые стандарты. Во-вторых, в овражных лесах при ветровом затишье формируется плотная, но менее жесткая древесина, чем у деревьев, испытывающих частые колебания от действия ветров в более возвышенных условиях, не говоря уже гор. К тому же, древесина в овражных лесах имеет такие пороки как крень и водослой, содержит большое количество сучков, особенно крупных.

Прямые способы. В отличие от *косвенных*, они основаны на определении акустической константы излучения звука, K , кг/м⁴·с:

$$K = \sqrt{\frac{E_{\text{дин}}}{\rho^3}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{дин}}$ – динамический модуль упругости, МПа;
 ρ – плотность, кг/м³.

Примечание: для резонансной древесины пороговым значением является $K \geq 12$ кг/м⁴·с.

Следовательно, резонансная древесина представляет собой «сочетание несочетаемого» – имеет высокую жесткость при минимальной плотности.

Для измерения плотности древесины существуют много методов [1]. Более сложным и трудоемким является определение динамического модуля Юнга:

$$E_{\text{дин}} = C^2 \cdot \rho, \quad (2)$$

где C – скорость распространения звука, м/с.

Скорость звука, как известно, можно определить двумя методами:

а) путем прямого измерения времени распространения ультразвука, τ , с, через образец определенной длины l , м:

$$C = \frac{l}{\tau}. \quad (3)$$

б) по резонансной частоте вынужденных продольных колебаний образца:

$$C = 2 l f_0, \quad (4)$$

где f_0 – резонансная частота, Гц.

Важно иметь в виду, что *в случае определения скорости звука первым методом величина акустической константы, K , может получиться почти на 2 единицы больше по сравнению с результатом, полученным методом резонансной частоты.*

К тому же, *данные о резонансной частоте* представляют ценную информацию о качестве резонансной древесины, так как через этот показатель можно определить логарифмический декремент про-

дольных и изгибных колебаний, δ , Hп – характеристика скорости затухания колебаний и одновременно величины внутреннего трения (вязкости).

Для определения указанных показателей (включая макростроение) древесины на корню неразрушающим способом, можно использовать *радиально-поперечный керн*, извлекаемый возрастным буром на высоте 1,3 м дерева. Лаборатория Квалиметрии резонансной древесины ПГТУ располагает апробированными техническими средствами и новыми методами для комплексных исследований данного объекта [4,9,10].

Наряду с исследованиями зрелой древесины, приоритетным во всем мире на сегодня является разработка и внедрение нового направления по раннему выявлению резонансных свойств древесины на корню, то есть у естественных молодняков или лесных культур [5,12].

В рационально-целевом использовании резонансной древесины большая роль принадлежит правильной ее заготовке, сушке и хранению. Лучшим временем считается *первая половина зимы*, а в вегетационный период французские мастера придерживаются следующему правилу – рубка дерева должна происходить в *последнюю четверть полнолуния или новолуние*.

Причем, лучшей частью ствола в этих целях считается *северная*. а по высоте – обязательное исключение прикорневой части.

У мастеров практикуется естественная сушка, точнее, долгое в течение более 10-ти лет, выдерживание древесины в колотых чураках длиной в соответствии с изготавливаемым инструментом; при этом материал приобретает стабильность за счет повышения удельного содержания лигнина и, наоборот, снижения гемицеллюлозной (сахаристой) фракции.

Имеет свои определенные преимущества и перспективу новый способ сушки древесины в токах СВЧ, который не только ускоряет этот процесс, но и способствует повышению модуля упругости и акустической константы [6].

Таким образом, в диагностике, отборе и целевом использовании резонансной древесины с уникальными акустическими свойствами имеются свои особенности, которые еще до конца не установлены; для этого требуются дальнейшие комплексные исследования путем объединения усилий лесоводов, лесоводов, физиков-акустиков и, бесспорно, мастеров музыкального дела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
2. Витачек Е.Ф. Очерки по истории изготовления смычковых инструментов. – М.: Музыка, 1964. – 341 с.
3. Нестеров Н.С. О резонансном лесном материале для струнных инструментов // Русское лесное дело. – 1892. – № 1. – С. 13–16.
4. Пат. № 2130611 Российская Федерация. Способ диагностики резонансных свойств древесины и устройство для его осуществления / В.И. Федюков, Л.Н. Веселов, В.Л. Веселов. – RU 97109185; заявл. 28.05.97; опубл. 20.05.99; бюл. Изобрет.– № 4.
5. Пат. 2439561 РФ. МПК G 01 N 33/46. Способ ранней диагностики резонансных свойств древесины / В.И. Федюков, Е.Ю. Салдаева, А.Л. Васенев. – RU 2439561 C2; заявл. 26.03.2009; опубл. 10.01.2012; бюл. Изобрет. – 2012. – № 1.
6. Пат. № 2034697 Российская Федерация. Способ обработки резонансной древесины / В. Н. Кейс, А.Б. Козырев, В.Г. Куз, Т.А. Макарьева, В.И. Федюков. – RU 92016513; заявл. 04. 11.92; опубл. 10.05.92; бюл. Изобрет.– № 4.
7. Полубояринов О.И. Морфология дерева как раздел биологического лесоведения // Современные проблемы лесоведения: сб. статей. – Йошкар-Ола, 1996. – С. 9–10.
8. Римский- Корсаков А.В., Дьяконов Н.А. Музыкальные инструменты: Методы исследований и расчеты. – М.: Местная пром-сть, 1952. – 345 с.
9. Федюков В.И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, сертификация. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. – 204 с.
10. Федюков В.И. Электронный дендрометр для отбора резонансной древесины // Деревообраб. пром-сть. – 1990. – №7. – С. 30–31.
11. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю. Резонансная ель для реконструкции Большого театра // Лесное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 13–14.
12. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Ранняя диагностика технического качества подростка как важный элемент интенсификации лесопользования в России // ИВУЗ.Лесной журнал. –2012. – № 6. – С. 16–23.
13. Федюков В. И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Стандартизация резонансной древесины: необходимо // Стандарты и качество. – 2014. – № 4. – С. 54–57.