

РАДИОФИЗИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОМЕНА ТЕМБРА ЗВУЧАНИЯ СТАРИННЫХ ИТАЛЬЯНСКИХ СМЫЧКОВЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

А. Я. Усиков, В. К. Лаптий

*Институт радиопластики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины,
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: ire@ire.kharkov.ua*

В публикации систематизированы результаты исследований отдельной проблемной акустической лаборатории (ОПАЛ) Президиума Национальной академии наук Украины за период 1989-1995 гг. Тема исследования – физическая природа феномена тембра звучания старинных «итальянских» скрипок. Предложен оригинальный метод формантного анализа спектрально-сложных сигналов широкодиапазонных колебательных систем. Голографическим методом получены моды колебаний в корпусе скрипки и альтя с напряженными струнами. Выявлены и сформулированы физические особенности «итальянского» тембра звучания кремонских скрипок и разработан «эталон» такого тембра. Результаты исследования обобщены для широкого класса колебательных систем и прошли успешную публичную и профессиональную апробацию. Ил. 6. Табл. 1. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: «итальянский» тембр звучания скрипки, кремонская скрипка, форманта.

Настоящее исследование выполнено в отдельной проблемной акустической лаборатории (ОПАЛ) Президиума Национальной академии наук Украины в течение 1989-1995 гг. Работу ОПАЛ курировал академик Национальной академии наук Украины Александр Яковлевич Усиков, руководил лабораторией Лаптий Виктор Кириллович. ОПАЛ функционировала при ИРЭ НАН Украины.

В ходе исследований предполагалось современными радиопластическими методами объективно установить (или опровергнуть) физические отличия тембра звучания коллекционных скрипок, изготовленных старинными мастерами из итальянского города Кремона: Страдивари, Гварнери или Амати, от звучания ординарных профессиональных скрипок (альтов, виолончелей). Субъективно у слушателей и экспертов факт существования таких качественных отличий тембра звучания не вызывает сомнения [1]. Однако на протяжении более двух веков все попытки физиков объективно дифференцировать и оценить тембры звучания скрипок оканчивались безрезультатно (Г. Гельмгольц, Ф. Савар, Г. Баркгаузен, К. Фур, О. Мекель, русские акустики: Н. Н. Андреев, А. В. Римский-Корсаков, А. А. Рождественский и др. [2]). Неудачи предшественников не ослабили интерес к проблеме современных исследователей [3, 4]. Наше внимание привлекла физическая сущность проблемы.

1. Обобщенная характеристика тембра звучания инструмента. Обычно тембр отдельного звука характеризуется его спектральным составом. Для случая сложного колебания с постоянным периодом, например, звучания камертона, дискретный спектр Фурье является однозначной тембральной характеристикой звучания. Такое определение для характеристики тембра звучания широкодиапазонного музыкального инструмента,

например, рояля, оказывается неоднозначным. Каждый тон музыкального инструмента характеризуется индивидуальным спектральным составом. Вместе с тем, сложилось устойчивое системное понятие тембра, характеризующее не тембр отдельного тона, а специфическую тембральную окраску звучания конкретного вида инструментов: флейты, арфы, скрипки, голоса. Специалисты на слух различают тембральные оттенки звучания не только инструментов различных видов, но также индивидуальные особенности тембральной окраски внутри одного вида, к примеру, певческих голосов в одном частотном диапазоне (тембральные отличия двух сопрано и т. д.). Несомненно, что субъективному восприятию тембра звучания соответствует его адекватное отражение в физических категориях (психологические аспекты проблемы, связанные, в частности, с динамикой звука, в данном случае не рассматриваются). Репрезентативность объективной оценки качества тембра инструмента во многом зависит от выбора для контроля вида физических признаков (параметров) звука. Из известных физических акустических характеристик наиболее часто для оценки качества тембра используется оценка формантной структуры звучания [5].

Форманта применяется в качестве тембральной характеристики певческих голосов и речи, а также иногда для музыкальных инструментов [5]. По определению, форманта – постоянная частотная область диапазона звучания, в которой происходит усиление звука. Формант в певческом голосе обычно несколько; они индивидуальны и стабильны для каждого вокалиста, в речи – каждая гласная характеризуется своим набором формант. Форманта характеризуется граничными частотами, средней частотой и максимумом уровня сигнала на средней частоте форманты. Выявление формант производится путем

измерения уровня мощности звука в зависимости от изменения периода (частоты основного тона) звучания. При этом не учитывается форма сигнала, которая несет информацию о спектральном составе колебаний. В ОПАЛ для исключения потерь информации о спектре звука была принципиально изменена методика регистрации и анализа формант [6, 7, 10]. Было предложено звучание каждого тона инструмента в пределах всего частотного диапазона возбуждения непосредственно подвергнуть дискретному преобразованию Фурье и регистрировать результаты преобразования в виде множества дискретных спектров (см. рис. 1).

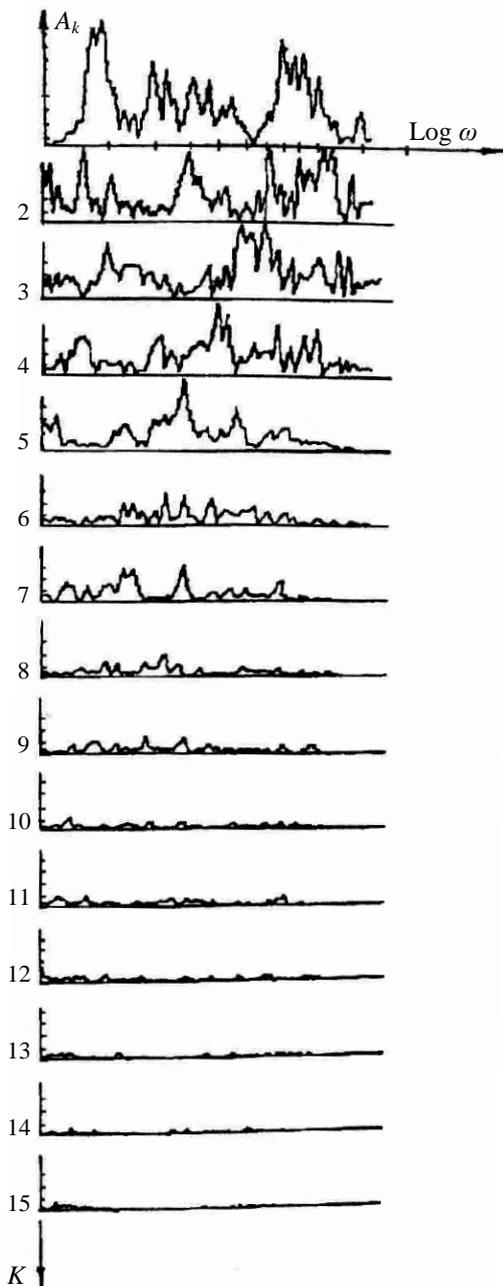


Рис. 1. Зависимость дискретного спектра модуля амплитуд гармоник от периода возбуждаемых колебаний (до цифровой обработки)

Формантный анализ множества дискретных спектров производится после его специальной цифровой обработки [10], в результате которой достигается возможность одночастотного сопоставления амплитудно-частотных характеристик гармоник всех порядков спектра. При этом полностью сохраняется информация о тембре звучания каждого отдельного тона в пределах всего частотного диапазона инструмента, что характеризует качество тембра инструмента в целом. По существу регистрируется непрерывное изменение дискретного спектра Фурье тона в процессе непрерывного (квазинепрерывного) изменения его периода в пределах диапазона возбуждения инструмента. Полученный информационный массив условно обозначим термином – совокупность спектров Фурье (ССФ).

2. Метод цифровой обработки ССФ. Периодический сигнал $X_n(t)$ для каждой из n реализаций периода T можно разложить в ряд Фурье [8]

$$X_n(t) = \sum_k A_k \cos\left(\frac{2\pi k}{T_n} t + \varphi_k\right), \quad (1)$$

где T_n – период; n – номер дискретного изменения периода; k – номер дискретной гармоники Фурье разложения; A_k и φ_k – амплитуда и фаза коэффициентов разложения. Совокупность результатов разложения можно представить в виде матриц (2) и (3)

$$((A)) = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{k1} & A_{k2} & \dots & A_{kn} \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$((\varphi)) = \begin{bmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \dots & \varphi_{1n} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \dots & \varphi_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{k1} & \varphi_{k2} & \dots & \varphi_{kn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Матрицы являются «портретом» звучания исследуемого инструмента и в полной мере характеризуют его тембральные свойства. Учитывая то, что при субъективном восприятии звука фазовые соотношения гармоник не заметны, исключим из дальнейшего рассмотрения матрицу (3). Матрица (2) содержит в неявном виде информацию о формантах звучания всех гармоник дискретного спектра. Однако формантный анализ матрицы является затруднительным.

Как следует из структуры информационного массива, представленного в виде матрицы (2), трудность его формантного анализа обусловлена тем, что представленные в массиве гармонические компоненты различных номеров не сопоставимы между собой из-за различий частотного аргумента.

Пусть шаг изменения периода звучания ΔT , тогда значение периода для любого тона $T_n = T_0 + n\Delta T$, что соответствует частоте первой гармоники $\omega_n = \frac{2\pi}{T_0 + n\Delta T}$.

Совокупность частот для всех k гармоник при n дискретных изменениях периода представим в виде матрицы

$$((\omega)) = \begin{bmatrix} \frac{2\pi}{T_0} & \frac{2\pi}{T_0 + \Delta T} & \dots & \frac{2\pi}{T_0 + n\Delta T} \\ \frac{2\pi \cdot 2}{T_0} & \frac{2\pi \cdot 2}{T_0 + \Delta T} & \dots & \frac{2\pi \cdot 2}{T_0 + n\Delta T} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{2\pi k}{T_0} & \frac{2\pi k}{T_0 + \Delta T} & \dots & \frac{2\pi k}{T_0 + n\Delta T} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Из структуры матрицы (4) следует, что в первом столбце сдвиг отсчета частоты гармоники с номером k относительно частоты основного тона с номером $k=1$ составляет

$$\Delta\omega_k = (\omega_k - \omega_1) = \frac{2\pi k}{T_0} - \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2\pi}{T_0}(k-1) = \omega_1(k-1) \quad (5)$$

Масштаб шкалы частоты гармоники с номером k относительно частоты основного тона с номером $k=1$ равен

$$M_n = (\omega_{kn} - \omega_{k1})(\omega_{1n} - \omega_{11})^{-1} = \left(\frac{2\pi k}{T_n} - \frac{2\pi k}{T_0} \right) \left(\frac{2\pi}{T_n} - \frac{2\pi}{T_0} \right)^{-1} = k \quad (6)$$

где ω_{kn} , ω_{k1} – частоты k -й гармоники для n -го и 1-го дискретных значений периода. Используя соотношения (5) и (6), можно привести множество отсчетов амплитуд гармоник дискретных спектров Фурье к единому масштабу и к началу отсчета частоты, совпадающему с частотной шкалой основного тона возбуждения звучания. Эта процедура предполагает введения для каждой гармоники расчетного сдвига начала отсчета частоты (сдвиг начала отсчета вправо на величину $-\omega_1(k-1)$) и изменения масштаба шкалы частоты для каждой гармоники (увеличения интервалов на частотной оси гармоники с номером k между дискретными отсчетами в k раз).

Выполнение вышеописанной обратимой процедуры нормирования спектрального информационного массива к единой прямоугольной системе координат (ордината – модуль амплитуды гармоники, абсцисса – частота основного тона возбуждения звучания или период, аппликата – номер гармоники) предельно упрощает анализ его формантной структуры в целях характеристики

качества тембра звучания инструмента. Пример графика нормированного ССФ для скрипки (А. Страдивари, 1720 г.) показан на рис. 2.

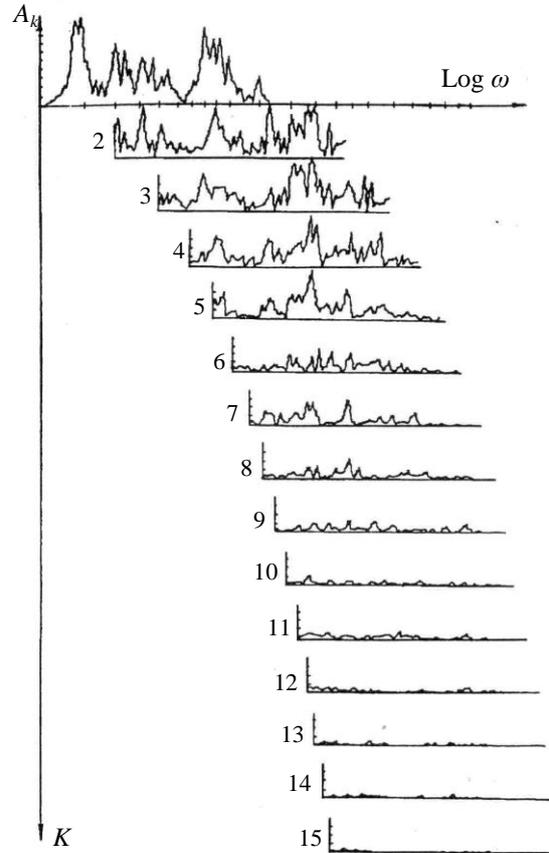


Рис. 2. Зависимость дискретного спектра модуля амплитуд гармоник от периода возбуждаемых колебаний (после цифровой обработки)

3. Экспериментальное исследование формантной структуры ССФ.

Методической основой исследования тембра звучания инструмента служит формантный анализ дискретных преобразований Фурье входных сигналов в форме ССФ, приведенного к единой шкале частот, совпадающей с осью частот основного тона [6, 7, 9, 10].

В качестве объекта исследования были подобраны две репрезентативные партии смычковых инструментов (скрипок). Одна партия – 7 экз., составлена из числа старинных итальянских скрипок, изготовленных в г. Кремона с безусловно выраженной, по экспертным оценкам, особенностью тембра звучания. Для этой цели использовались скрипки из фондов Госколлекции Российской Федерации (г. Москва). Другая партия – 100 экз. – из скрипок, различающихся по времени, технологии и месту изготовления (за пределами Италии) и характеризующихся ординарным тембром звучания. Для каждого инструмента была зарегистрирована ССФ с дискретом

изменения периода 1/4 тона, что соответствует изменению частоты каждого последующего отсчета в $\sqrt[24]{2}$ раза, и включала по 30 гармоник для каждого значения периода возбуждения [6, 9].

На рис. 3 представлены ССФ для трех лучших коллекционных скрипок.

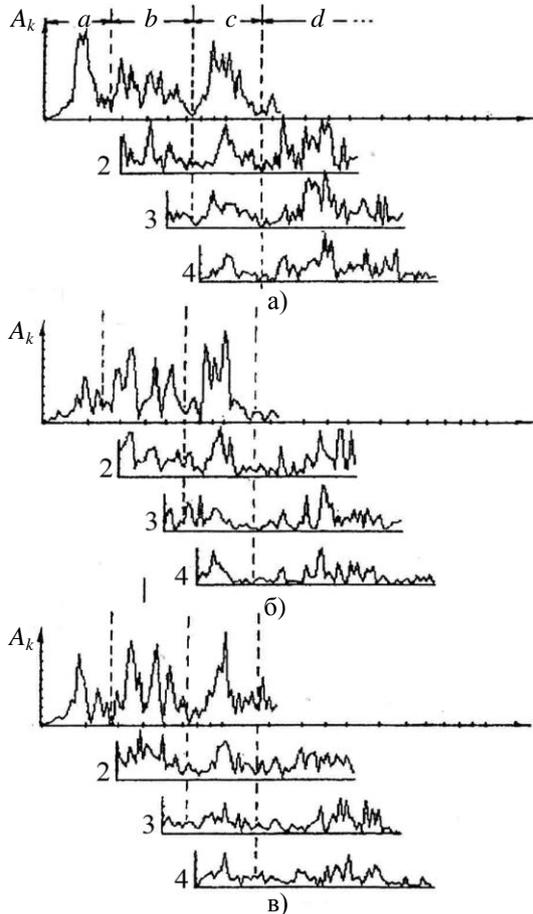


Рис. 3. ССФ звучания (по 4 гармоники) кремонских скрипок: а) – скрипка А. Страдивари, 1720 г.; б) – скрипка И. Гварнери, 1742 г.; в) – скрипка А. Амати и И. Амати, 1628 г.

Среднезвешенным осреднением [11] ССФ этих трех выдающихся скрипок был получен «эталон» «итальянского» тембра звучания. При этом на основе экспертных оценок качества тембра звучания инструментов были приняты следующие весовые коэффициенты: А. Страдивари – 1,0, И. Гварнери – 0,8, Амати – 0,6. Осреднения производились по формуле [11]

$$\bar{X}_{pm} = \frac{\sum_{k=1}^n P_k X_k}{\sum_{k=1}^n P_k}; \bar{Y}_{pm} = \frac{\sum_{k=1}^n P_k Y_k}{\sum_{k=1}^n P_k}, \quad (7)$$

где X_k, Y_k – координаты m -го экстремума ССФ k -й скрипки; P_k – весовой коэффициент скрипки; k – условный номер скрипки в группе.

На рис. 4 показаны типичные ССФ трех скрипок с ординарным звучанием.

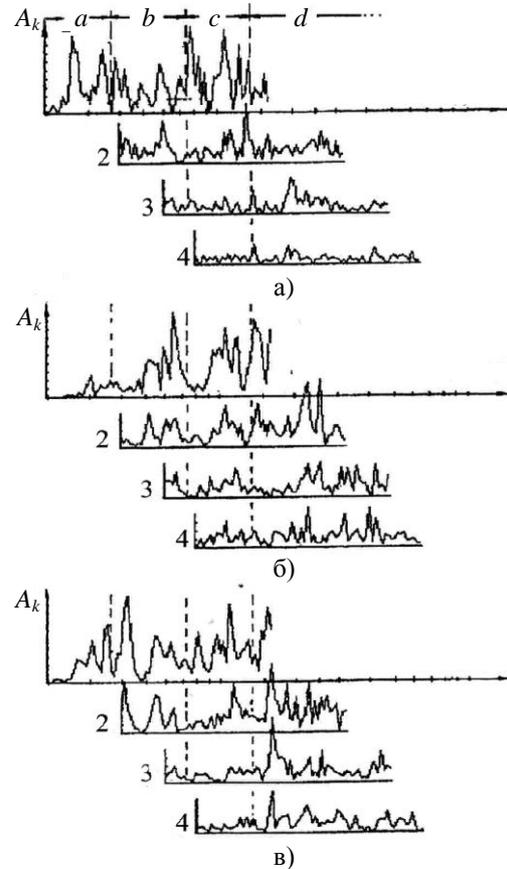


Рис. 4. ССФ звучания ординарных скрипок: а) – скрипка современного мастера (Украина); б) – скрипка современного промышленного изготовления (Чехия); в) – скрипка тирольского мастера XVII в.

На рис. 3 и 4 форманты звучания обозначены отрезками a, b, c, d , цифрами обозначены номера гармоник. Оценка коэффициента корреляции ССФ скрипок производилась по всему массиву спектров для различных пар инструментов. Эти вычисления осуществлялись по формуле [11]

$$R = \frac{\sum_i \sum_j X_i Y_j - \bar{X} \bar{Y} n}{n \sigma_x \sigma_y}, \quad (8)$$

где $X_i Y_j$ – произведение значений отсчетов ССФ i -го и j -го номеров; $\bar{X} \bar{Y}$ – произведение средних значений двух исследуемых ССФ; σ_x, σ_y – дисперсии исследуемых ССФ; n – выборка точек отсчета.

Коэффициенты взаимной корреляции ССФ всех скрипок с «эталон» приняты в качестве объективной количественной меры приближения качества тембра звучания конкретного инструмента к образцовому итальянскому «эталону».

На рис. 5 показан ССФ условного «эталона».

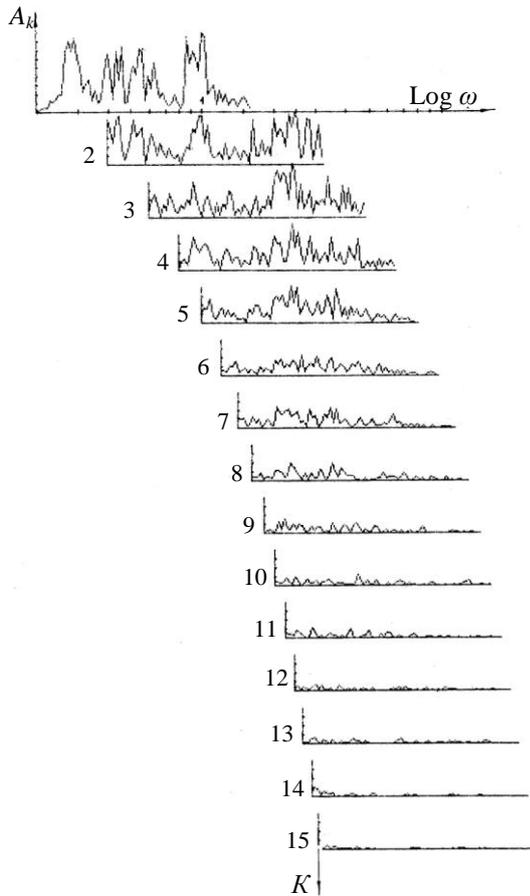


Рис. 5. ССФ звучания условного «эталоном»

Значение коэффициентов корреляции для ССФ кременских скрипок (первая группа) инструментов представлена в таблице, из которой следует взаимная корреляционная связь ССФ кременских скрипок характеризуется коэффициентом корреляции от 0,61 до 0,74, а их корреляция с «эталоном» – от 0,69 до 0,90.

№ п/п	Инструменты	1	3	4	«Эталон»
1	Амати, 1628 г.	1,000	0,742	0,712	0,755
2	Амати, 1629 г.	0,705	0,717	0,728	0,818
3	Гварнери, 1742 г.	0,742	1,000	0,733	0,834
4	Страдивари, 1720 г.	0,712	0,733	1,000	0,900
5	Страдивари, 1708 г.	0,660	0,611	0,716	0,697
6	Страдивари, 1736 г.	0,618	0,611	0,682	0,694
7	Гваданини, 1758 г.	0,664	0,727	0,747	0,738

Тем же методом были получены значения коэффициентов взаимной корреляции ССФ обследованных ординарных скрипок (вторая груп-

па). Их корреляция с «эталоном» заключена в интервале от 0,5 до 0,65. Взаимная корреляция внутри группы имела более низкие значения.

4. Голографическое исследование структуры мод колебаний дек скрипки. Первоначально в ОПАЛ предпринималась попытка теоретических исследований режимов колебаний дек смычковых инструментов. Модель для задачи была сформулирована в виде оболочки с двумя неоднородностями типа щель (эфы скрипки), с ребром жесткости (пружина верхней деки) и точкой закрепления (душка между деками). В общем случае толщина и жесткость (кривизна) оболочки неоднородны по площади. При этом не принимались во внимание влияние грифа и напряжение струн. Задача решалась методом конечных элементов, ее решение не было доведено до завершения из-за возникших математических трудностей. Поэтому исследования режимов колебаний дек было продолжено методом голографической интерферометрии.

К началу работ ОПАЛ были известны попытки компьютерных экспериментальных исследований мод колебаний дек скрипки, отделенных от корпуса инструмента [12]. Однако для целей ОПАЛ этими результатами нельзя было воспользоваться. Как известно, режим колебаний деки с незакрепленными краями принципиально отличается от колебаний деки, закрепленной по краям в корпусе инструмента. Наши исследования резонансных свойств корпуса скрипки были выполнены для двух ординарных скрипок и альты (с напряженными струнами). В результате исследований было получено 84 парных (нижняя и верхняя дека) фотографии структур мод в диапазоне частот возбуждения колебаний 200-3950 Гц для скрипки и 130 фотографий в диапазоне 130-2600 Гц для альты. Частоты возбуждения мод соответствовали точкам экстремумов ССФ звучания инструментов. Пример типовых мод колебаний нижней деки скрипки показан на фотографиях (рис. 6).

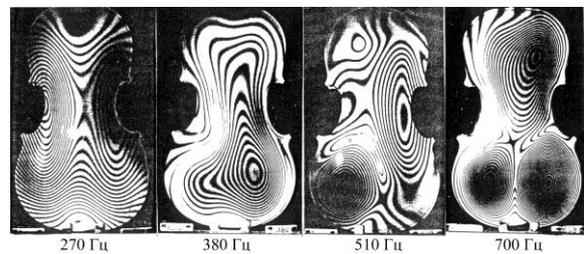


Рис. 6. Моды колебаний нижней деки скрипки

Выводы. Анализ голограмм мод колебаний дек скрипки показал, что для исследованных двух ординарных скрипок изменения типов плоскостных колебаний дек (фигуры Хладни) в зави-

симости от частоты возбуждения однотипны по всему диапазону возбуждения, но имеют некоторые относительные частотные смещения. Эти смещения указывают на разброс скорости распространения звука в деках разных скрипок, что можно объяснить различием технологических допусков на свойства материала, кривизны и толщины сводов дек. Принципиальных различий типов колебаний дек в двух скрипках не установлено. Линейные размеры альта по отношению к скрипке масштабно увеличены в 1,2 раза, что вызывает соответствующее частотное смещение мод по отношению к модам скрипки. За исключением частотного смещения типы мод колебаний дек скрипки и альта однотипны. Полученная информация представляет практический интерес для скрипичных мастеров.

Анализируя частотное изменение мод по всему диапазону возбуждения скрипок можно сделать следующий вывод. В диапазоне частот возбуждения 200-1000 Гц корпус скрипки колеблется как замкнутая оболочка с неоднородностями: эссы, пружина, душка. При этом обечайка ведет себя как продолжение дек и не вносит заметных особенностей в колебания оболочки в целом. При дальнейшем повышении частоты возбуждения верхняя и нижняя деки формируют моды независимо одна от другой, как пластинки, закрепленные на краях по контуру обечайки с учетом вышеназванных неоднородностей. Этот вывод вносит существенный вклад в правила частотной подстройки дек в смонтированном инструменте, которая практикуется опытными мастерами.

Сопоставляя ССФ для кременских скрипок на рис. 3 и ординарных скрипок на рис. 4 отметим наличие четкой формантной структуры в ССФ кременских скрипок. Для ССФ ординарных скрипок характерны неполный состав формант и различная степень их деградации по частотному и амплитудному параметрам. Значения коэффициентов корреляции ССФ различных скрипок с ССФ «эталона» находятся в полном соответствии с экспертными оценками качества тембра звучания. Таким образом, принципиальной особенностью старинных итальянских скрипок по отношению к остальным инструментам является наличие строгой настройки формантной структуры ССФ, образцом которой можно считать формантную структуру ССФ «эталона». Количественно эти отличия сводятся к следующим признакам:

– наличие четко оформленных формант с центральными частотами 285, 440, 990, 2420 Гц, для всех гармоник. Границы формант скрипок отмечены частотами 370, 805, 1440 Гц;

– относительно малое спадание амплитуд формант от первой гармоники до пятой. Относительный уровень формант пятой гармоники не

ниже 0,5. Экспоненциальное спадание уровней формант для гармоник более высоких порядков;

– коэффициент корреляции ССФ лучших «итальянских» скрипок с ССФ «эталона» – выше 0,7; для «итальянских» скрипок среднего качества этот коэффициент не ниже 0,6;

– значения коэффициентов взаимной корреляции в группе кременских скрипок на 20-25 % превосходят значения в группе ординарных скрипок, что подтверждает наличие регулярности в ССФ кременских скрипок.

Эти статистически подтвержденные спектральные особенности ССФ кременских скрипок дают основания для вывода об их причинно-следственной связи с тембральными особенностями звука, т. е. с феноменом «итальянского» тембра звучания кременских скрипок.

Разработанный ССФ «эталона» скрипки является образцовой характеристикой виртуальной идеальной скрипки и может быть использован в качестве образца формантной настойки корпуса скрипки, при относительной оценке качества тембра звучания скрипки, а также верификации скрипки с «итальянским» тембром звучания.

Вышеприведенные выводы успешно прошли публичную [13] и профессиональную экспертную апробацию. В 2003 г. на Республиканском фестивале скрипичных мастеров в г. Киеве был представлен квартет смычковых инструментов (две скрипки, альт и виолончель), изготовленный внештатным сотрудником ОПАЛ мастером А. В. Прихна с учетом рекомендаций ОПАЛ. Квартет получил высшую оценку компетентного жюри (мастера и музыканты) за качество тембра звучания и профессиональное мастерство и стал лауреатом во всех трех конкурсных номинациях: скрипка, альт, виолончель.

Предложенный для тембральной диагностики звучания скрипки метод ССФ проявил себя как метод спектральной диагностики высокого разрешения и может найти широкое применение в различных акустических и радиотехнических диагностических системах. В настоящее время диагностический метод апробирован с положительным результатом при диагностике: электрокардиограммы сердца человека [14], певческого голоса, гитары, рояля [10], скрипки, альта и виолончели.

1. *Lapty V.* On the "italian" tone quality sounding of fiddlesticks music instrument // Physics in Ukraine. International Conference, Proceedings Contributed Papers, Radiophysics and Electronics, Kiev, 22-27 June. – 1993. – P. 170-173.
2. *Бабадуров В. А., Гарбузов Н. А., Корсунский С. Г., Рождественский А. А.* Музыкальная акустика. – М.: Госмузиздат, 1954. – 100 с.
3. *Dunwald H.* Einweiterstes Verfahren zur objektiven Bestimmung der Klängenqualität von Violinen // Acustica. – 1990. – 71. – P. 269-273.

4. Fletcher H., Backham E. Quality of Violin, Viola, Cello and Bass Viol Tone // JASA. – 1965. – 37, No.5. – P. 851-857.
5. Михайлов В. Г., Златоустова Л. В. Измерение параметров речи. – М.: Радио и связь, 1987. – 19 с.
6. Lapy V. Polisppectrum method of spectral function for analysis of peridcontrolled quadruples and active two-terminal networks // Physics in Ukraine. International Conferenca, Proceedings Contributed Papers, Radiophysics and Electronics, Kiev, 22-27 June. – 1993. – P. 174-177.
7. Лаптий В. К. Спектральная структура «итальянского» тембра звучания скрипки // Радиофизика и электроника. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – 1998. – 3, № 2. – С. 103-106.
8. Харкевич А. А. Спектры и анализ. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1962. – 17 с.
9. Лаптий В. К. Объективная оценка качества тембра звучания // Радиофизика и электроника. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – 1998. – 3, № 1. – С. 112-116.
10. Lapy V. About digital processing signals of the dynamic spectrum Fourie // MSMW-98 Symposium Proceedings, Kharkov, Ukraine, September 15-17.– 1998.– P. 700-711.
11. Математическая статистика / Под ред. А. М. Дина. – М.: Высшая школа, 1975. – 293 с.
12. Kenneth D. Marchall. Modal analysis of a violin // JASA. – 1985. – 77, No.2. – P. 695-709
13. Хидекелі А. В. Розкрито секрет Страдіварі і Гварнері // Вісник АН УРСР. – 1991. – №.3 – С. 91-93.
14. Lapy V. Profound spectral-frequency analysis of the cardiograms // MSMW-98 Symposium Proceedings, Kharkov, Ukraine, September 15-17. – 1998. – P. 712-714.

RADIOPHYSICAL RESEARCH ON THE PHENOMENON OF THE SOUNDING TIMBRE OF ANCIENT ITALIAN BOW INSTRUMENTS

A. Ya. Usikov, V. K. Lapy

The results obtained during the period from 1989 to 1995 in the Separate laboratory of acoustic problems (SLAP) of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine

have been systematized in the publication. The subject of the study is physical essence of the phenomenon of the sounding timbre of ancient “Italian” violins. The original method of formant analysis of spectrum-complicated signals of wide-range oscillation systems has been suggested. The oscillation modes inside the violin and viola have been obtained by means of the holographic method. Physical peculiarities of Italian sounding timbre of cremon violins have been revealed and formulated and the “etalon” of this timbre has been developed. The results have been summarized for wide range of oscillation systems and received public and professional approval.

Key words: Italian sounding timbre of violin, cremon violin, formant.

РАДІОФІЗИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕНОМЕНА ТЕМБРУ ЗВУЧАННЯ СТАРОВИННИХ ІТАЛІЙСЬКИХ СМІЧКОВИХ МУЗИЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

О. Я. Усиков, В. К. Лаптий

У публікації систематизовані результати досліджень окремої проблемної акустичної лабораторії (ОПАЛ) Президії Національної академії наук України за період 1989-1995 рр. Тема дослідження – фізична природа феномена тембру звучання старовинних «італійських» скрипок. Запропоновано оригінальний метод формантного аналізу спектрально-складних сигналів широкодіапазонних систем коливань. Голографічним методом одержано моди коливань в корпусі з напруженими струнами скрипки та альтя. Виявлені і сформульовані фізичні особливості «італійського» тембру звучання кремонських скрипок та розроблено «еталон» такого тембру. Результати дослідження узагальнені для широкого класу систем коливань і пройшли успішну громадську та професійну апробацію.

Ключові слова: «італійський» тембр звучання скрипки, кремонська скрипка, форманта.

Рукопись поступила 17 июня 2008 г.