

УДК 534.323

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА<sup>1</sup>****А. Б. АНАНЬЕВ, Е. А. АНАНЬЕВА***Национальный технический университет Украины “КПИ”, Киев**Получено 15.11.2007*

Рассмотрены вопросы объективного анализа свойств звуков певческого голоса и музыкальных инструментов. Приведены соответствующие образцы результатов, полученные с помощью разработанного авторами программного комплекса VOCA. Обсуждена возможность исследования интонационной мелодической трассы с применением аналогичной технологии.

Розглянуті питання об'єктивного аналізу властивостей звуків співочого голосу й музичних інструментів. Наведені відповідні зразки результатів, одержані за допомогою розробленого авторами програмного комплексу VOCA. Обговорено можливість дослідження інтонаційної мелодичної траси із застосуванням аналогічної технології.

The problems of the objective analysis of properties of the singing voice sounds are considered. The presented corresponding sample results have been obtained by VOCA program complex developed by the authors. The possibility of studying of the intonation melodic trace using the similiary technique is discussed.

**ВВЕДЕНИЕ**

В работах [1, 2] рассмотрена возможность объективного анализа основополагающих свойств певческого голоса с применением разработанной нами технологии, базирующейся на компьютерных средствах. Дальнейшее ее развитие привело к созданию программного продукта, получившего название VOCA. Он препарирует музыкальный звук, расфильтровывая его на отдельные гармоники, с высокой точностью анализирует модуляционные характеристики каждой гармоники, может удалить из них модулирующие функции и собрать немодулированный “остов” звука в сигнал, аналогичный исходному. Становится возможным детально проследить на трехмерной картине совместное поведение модуляционных функций гармоник и увидеть в удобном ракурсе полную трехмерную картину звука на плоскости время – частота.

Наши работы углубляют и развивают исследования “тонкой структуры” музыкального звука, к современным образцам которых можно отнести, например, публикации [3, 4]. Острота интереса именно к модуляционным характеристикам звука, в особенности к модуляции его частоты, объясняется тем, что интонационное поведение частоты основного тона (и его гармоник) является важной характеристикой музыкального мастерства. В то же время, именно на этот параметр сложнее всего повлиять современными техническими средства-

ми, с помощью которых звукорежиссеры исправляют дефекты исполнительства.

**1. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ИНТОНАЦИОННО СТАБИЛЬНОГО ЗВУКА**

Приведем данные, полученные в результате анализа звука голоса одной из оперных певиц Украины. На рис. 1 показаны (в порядке следования) шесть графиков.

- 1) Временная реализация звука, на которой нанесено его амплитудное вибрато, и амплитудный спектр, на котором сглаженная огибающая показывает формантные области.
- 2) Временная зависимость первой гармоники музыкального звука и результаты расфильтровки функции, модулирующей частоту гармоники, на три частотных диапазона – наименьший характеризует интонационную стабильность звука, средний отображает поведение частотного вибрато, а наивысший содержит остаточное модуляционное колебание. Такие данные формируются для произвольного числа гармоник, выбираемых экспертом, исходя из спектральной картины звука.
- 3) Так называемый “скелет” звука, который отображает суммарное поведение во времени функций модуляции амплитуды и частоты всех отобранных экспертом гармоник. Картина отображается на фоне спектрального и временного образов звука в целом.
- 4-6) Трехмерная частотно-временная картина спектра звука в разных ракурсах.

<sup>1</sup> Доклад на акустическом симпозиуме КОНСОНАНС-2007, 25–27 сентября 2007 г., Киев, Институт гидромеханики НАН Украины. По решению оргкомитета рекомендован к опубликованию в качестве статьи в журнале “Акустичний вісник”.

Графические документы сопровождаются количественными данными, вычисленными с высокой для музыкальной акустики точностью.

Приведенные на рис. 1 материалы в определенной степени позволяют объективно судить о вокальных данных певицы. Так, в звуке присутствует глубокое (размахом примерно в тон) и при этом ровное, “правильное” частотное вибрато. Его сопровождает синфазное небольшое амплитудное вибрато. Поскольку исполняется высокая нота, то нижняя и верхняя певческие форманты практически слились, однако наличие выразительной верхней певческой форманты очевидно. В спектре звука заметно выделяются энергетические вклады частотных областей  $6 \div 8$  кГц и в окрестности 11 кГц. Это делает тембр звук резковатым и пронзительным, что неудивительно для столь высокой исполняемой ноты. В целом совокупность полученных объективных характеристик звука позволяет предполагать высокую степень профессионализма певицы, исполняющей этот звук.

Разумеется, наш программный комплекс дает возможность получать подобные результаты, характеризующие звучание любых музыкальных инструментов. На рис. 2 собраны такие материалы для звука украинской национальной бандуры. Этот инструмент практически не изучен в специальной литературе и тщательное исследование его акустических характеристик представляет самостоятельный интерес.

Принято считать, что бандура родственна лютне. При этом сопоставление объективных характеристик звуков двух инструментов с помощью программы VOCA позволяет обсуждать имеющиеся тонкие различия между этими инструментами. На рис. 3 показан “звуковой портрет” лютня, и читатель может самостоятельно судить о визуальном сходстве и различии тех или иных данных по сравнению с рис. 2. Мы же заметим, что бандура демонстрирует весьма высокую интонационную стабильность взятой ноты. Лютня почти не уступает ей в этом смысле, однако полый ее резонатор все же несколько размывает тон в сравнении с более тяжелым и плоским резонатором бандуры.

Измерения фиксируют наличие в звучании украинской бандуры уникального для музыкальных инструментов явления, иногда называемого тембровым вибрато. Оно заключается в систематическом перераспределении энергии между соседними низкочастотными гармониками и присуще практически только искусственно синтезированным звукам.

В данной статье мы не обсуждаем иллюстрируемые музыкальные особенности – это уместно де-

лать совместно с профессиональными музыкантами в специализированных изданиях. Однако отметим, что разработанный программный комплекс позволяет проводить весьма подробный и тонкий анализ интонационно стабильных музыкальных звуков. С его помощью можно судить о степени выраженности полигармонической структуры звука, характере, параметрах и взаимной связи амплитудной и частотной модуляции различных гармоник, наличии и расположении формантных областей, особенностях спадания энергии гармоник во времени (что важно, например, для струнных щипковых музыкальных инструментов). Как показали испытания на тестовых сигналах, точность определения указанных количественных параметров достаточно высока. Результаты такого анализа позволяют контролировать исполнительское мастерство в процессе подготовки музыкантов, а также делать выводы экспертного характера при сравнении музыкальных звуков от разных источников (исполнителей).

## 2. АНАЛИЗ МЕЛОДИЧЕСКОЙ ТРАССЫ

В развитие обсуждаемой технологии нами разработана программа точного трассирования мелодической линии изолированного музыкального звука (сольного голоса), что позволяет детально изучать особенности интонирования мелодии разными музыкантами.

На рис. 4 представлена весьма упрощенная структура программы трассирования (трейсера). Она разбивает анализируемый звук на отдельные временные участки (фреймы), оценивает частоту основного тона мелодии внутри фрейма, на этой основе выделяет фрагменты гильбертовой частотной трассы, адаптивно выбирая длину каждого фрагмента, а затем объединяет фрагменты трассы в единое целое – линию, отображающую поведение мелодии в терминах частоты или на нотной шкале.

На рис. 5 показаны частотные трассы первых четырех нот ариозо Ленского (“Куда, куда, куда вы удалились...”) на фоне временного образа сигналов в исполнении четырех вокалистов. Вертикальная ось для мелодической трассы градуирована ступенями равномерно темперированной шкалы (ля первой октавы – 440 Гц). Расстояние между сплошными линиями составляет полтона, штриховые делят интервал на промежутки в 50 центов. По горизонтальной оси отложено время в секундах. Бледная часть мелодической трассы искажена оркестровым аккордом.

Приведенные данные позволяют судить об осо-

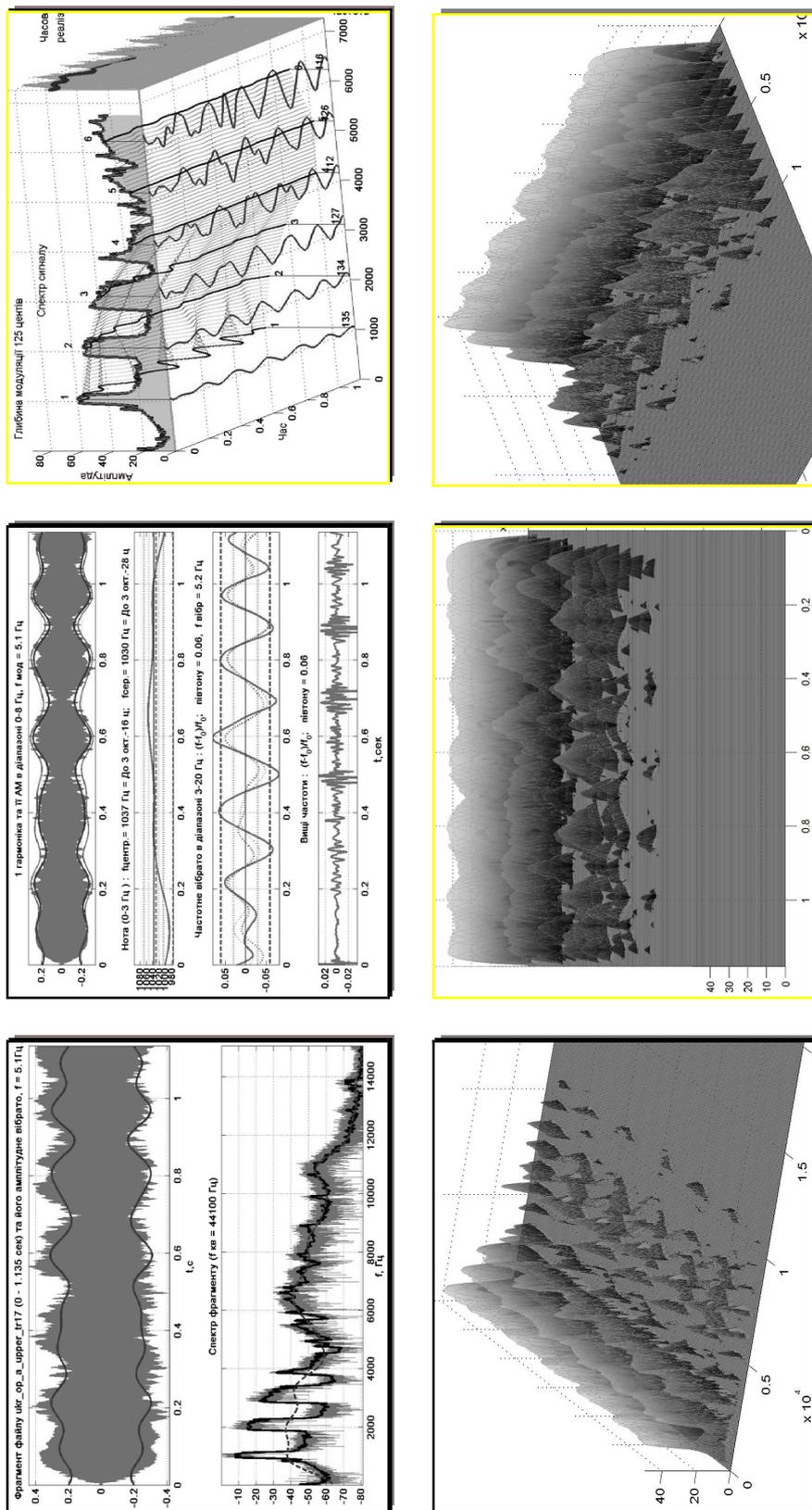


Рис. 1. Результати комп'ютерного аналізу голосу оперної левити з допомогою програмного комплексу VOCA

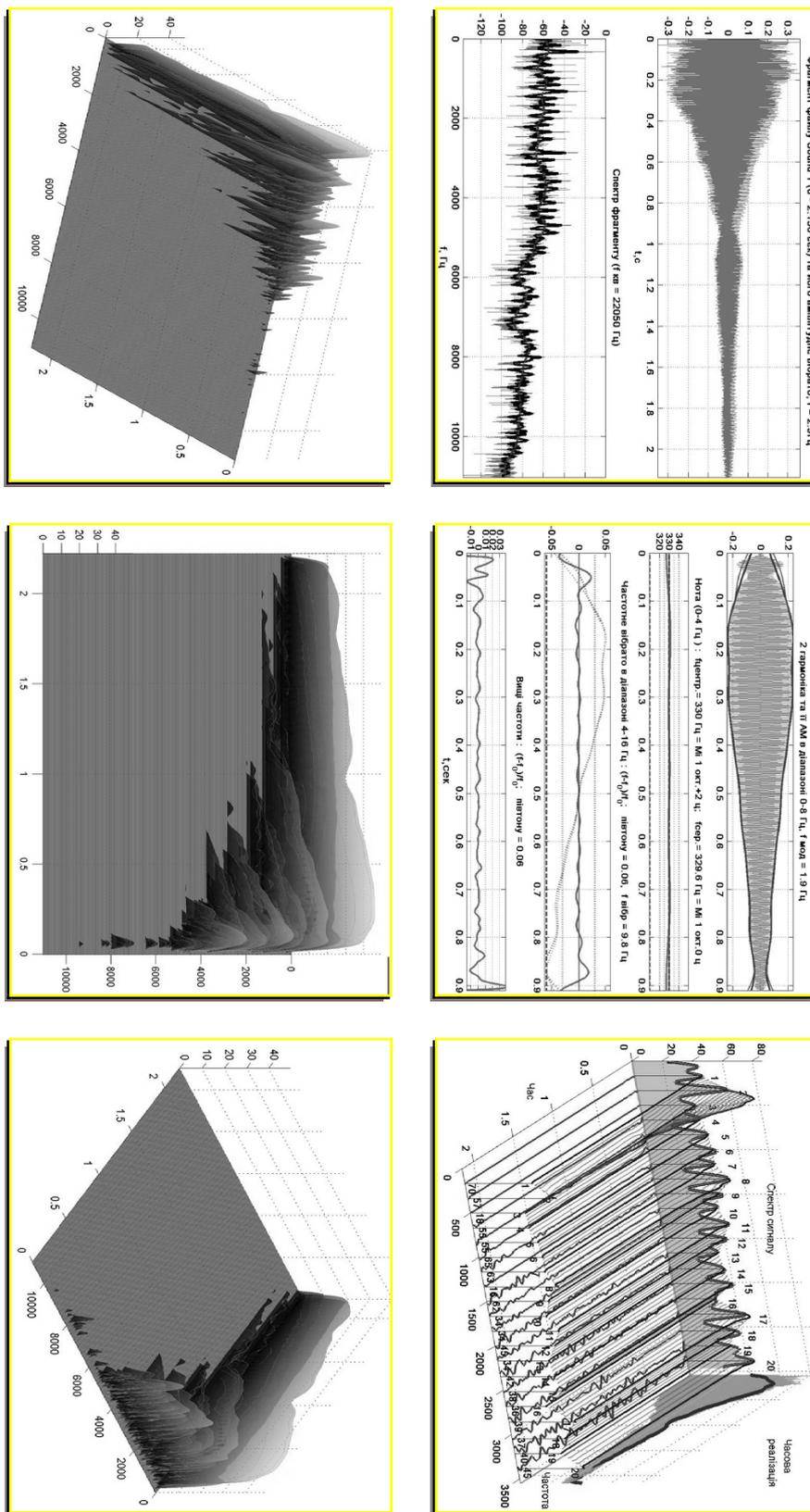


Рис. 2. Результати комп'ютерного аналізу звучання української бандури с помощью программного комплекса VOCA

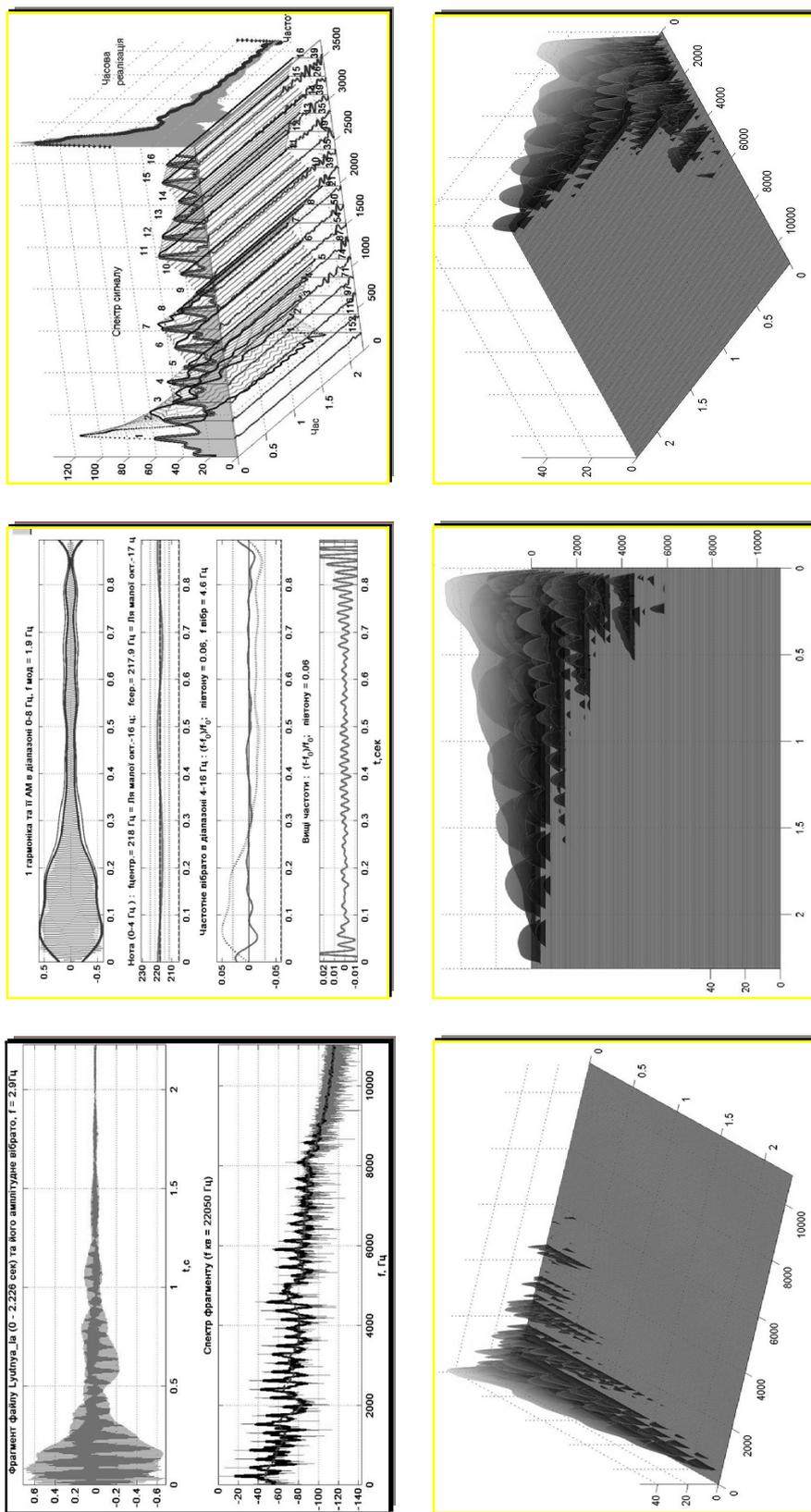


Рис. 3. Результати комп'ютерного аналізу звучання лютни с помощью программного комплекса VOSA

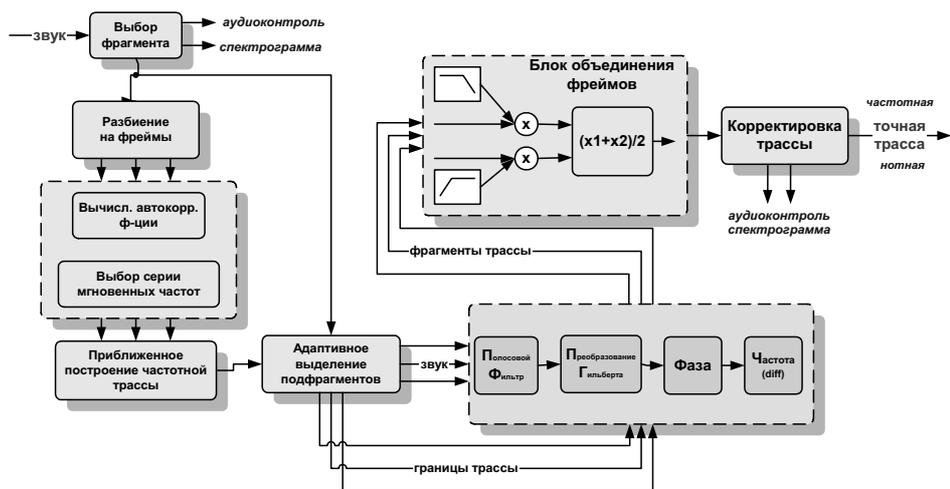


Рис. 4. Структура программы трассирования в комплексе VOCA

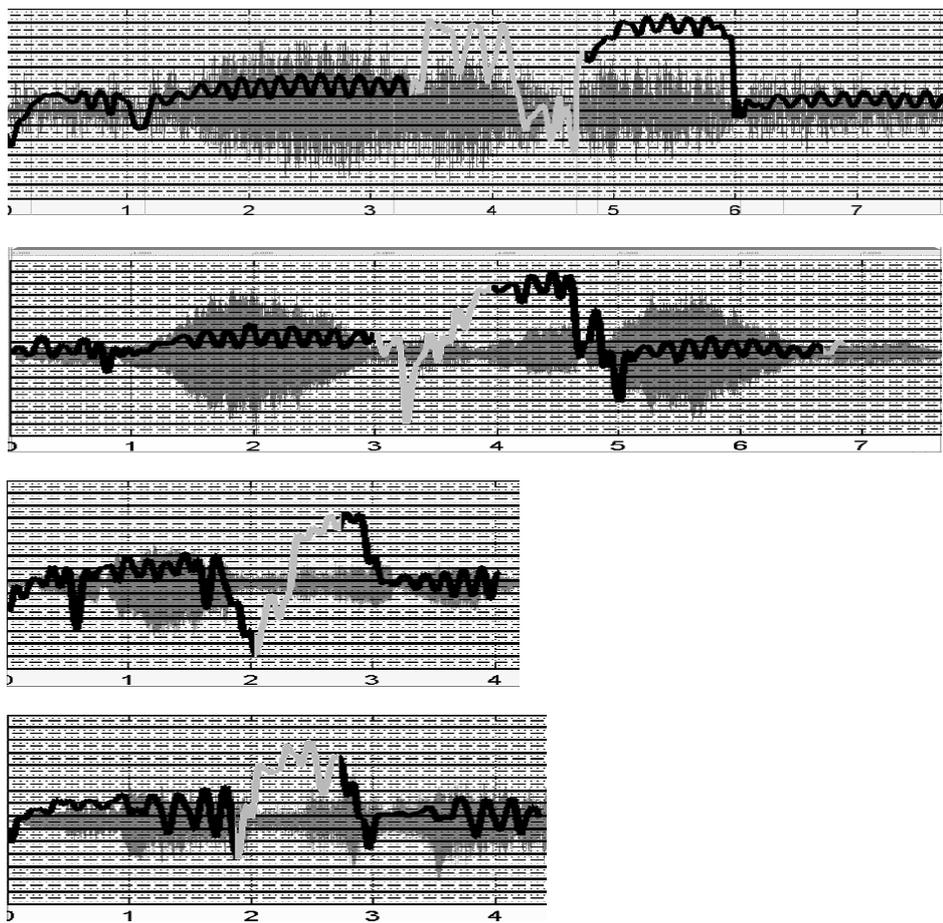


Рис. 5. Частотные трассы первых четырех нот ариозо Ленского:  
 а – в исполнении Ивана Козловского; б – в исполнении Владимира Лемешева;  
 в – в исполнении Александра Пономарева; г – в исполнении Сергея Пенкина

бенностях интонирования, присущих каждому певцу. Так, видно, что Иван Козловский несколько более строго интонирует каждый звук, чем экспрессивный Владимир Лемешев. Александр Пономарев точно интонирует даже короткую ноту, что свидетельствует о высоком качестве его музыкального слуха. Манера пения Сергея Пенкина состоит в том, что он создает правильное слуховое ощущение за счет некоторой деформации интонационной картины в сочетании с особой, присущей ему, артикуляцией гласных звуков.

Вновь, не обсуждая музыкально-эстетической стороны дела (а именно, что есть “хорошо”, и что “плохо” в пении), отметим, что получаемые трассы весьма подробно вырисовывают поведение мелодии и позволяют на этой основе в перспективе ставить вопрос о выработке объективных критериев качества интонационного исполнительства.

### 3. ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА VOCA

Программный комплекс VOCA был апробирован в процессе так называемого “двойного тестирования” десяти молодых вокалистов, проведенного в мае 2007 г. в Киевском музыкальном училище имени Р. М. Глиэра совместно с Предметной комиссией “Музыкальные компьютерные технологии” этого училища. В мероприятии в качестве экспертов приняли участие преподаватели вокала. Целью тестирования, включающего в себя как компьютерную обработку записанных голосов, так и протоколирование независимых субъективных мнений экспертов, являлся именно анализ возможности сопоставления этих двух принципиально разных оценок.

Простое вокальное упражнение (ровная нота общей длительностью 7÷10 с, содержащая примерно трехсекундный фрагмент вибрато) было записано для последующего компьютерного анализа и одновременно прослушивалось пятью педагогами-вокалистами, которые независимо друг от друга фиксировали в протоколе оценку атаки звука, силу голоса, интонационную стабильность ноты, глубину, частоту и ровность вибрато, наличие шумов дыхания в голосе, тембровые свойства (их следовало выбирать из контрастных пар, например “объемный – плоский”, “яркий – тусклый”, “ровный – неустойчивый”, “волнующий – невыразительный” и т. д.).

Специфика проведенного экспериментального тестирования состоит в том, что оцениваемый вокальный звук изолирован от какого-либо музыкального контекста и таким образом не дает почвы для эмоциональных суждений, а наоборот, концентрирует внимание исключительно на вокальных природных и приобретенных в процессе обучения свойствах певца. Это обусловило трудности как для молодых исполнителей, так и для экспертов, оценивающих их данные.

Предварительный обзор результатов тестирования показал значительные расхождения мнений квалифицированных педагогов-музыкантов в оценке исполнения изолированных нот. Объективная обработка записанного материала отчетливо показывает как достоинства, так и голосовые проблемы молодых вокалистов и может содействовать совершенствованию их мастерства. В настоящее время результаты тестирования подвергаются тщательному детальному изучению и обобщаются.

### ВЫВОДЫ

Мы полагаем, что в целом разработанные программные средства для объективного компьютерного анализа музыкальных звуков (в частности, певческих голосов) предоставляют возможность тестирования различного музыкального материала с целью контроля и разностороннего изучения вокальной и инструментальной музыкальной деятельности. Достигнутая подробность и точность анализа позволяет на основе объективных материалов делать выводы экспертного характера. На настоящем этапе целесообразно, по возможности, широкое привлечение профессиональных специалистов в музыке и медицине (фониатров) для постановки комплексных экспериментальных исследований в области вокала.

1. *Ананьев А. Б., Ананьева К. А., Дідковський В. С., Луньова С. А.* Вібрато у співочому голосі // Акуст. вісн.– 2004.– 7, N 1.– С. 3–18.
2. *Ананьева Е. А., Ананьев А. Б.* Компьютерный анализ певческого голоса // Збірник праць акустичного симпозиуму “Консонанс-2005”.– К.: ІГМ НАНУ, 2005.– С. 8–13.
3. *Морозов В. П.* Биофизические основы вокальной речи.– Л.: Наука, 1977.– 232 с.
4. *Bretos J., Sundberg J.* Measurements of vibrato parameters in long sustained crescendo notes as sung by ten sopranos // ТМН-QPSR, КТН, Ст., Sweden.– 2002.– 43.– Р. 37–44.