

ПСИХОАКУСТИЧЕСКИЕ И СЛУХОВЫЕ АСПЕКТЫ ИНТОНАЦИОННОЙ НАСТРОЙКИ И ТЕМБРОВОГО БАЛАНСА В КАМЕРНОМ АНСАМБЛЕ

Фарамазова Стелла

старший преподаватель кафедры камерного ансамбля

Туркменская национальная консерватория имени Маи Кулиевой

Туркменистан, г. Ашхабад

Аннотация

В данной фундаментальной научно-теоретической и междисциплинарной статье проводится глубокий, всесторонний и многоаспектный анализ психоакустических, физико-акустических и микроинтонационных процессов, лежащих в основе формирования единого ансамблевого строя, динамического пропорционирования и тембрового баланса в академическом камерно-ансамблевом исполнительстве. Исследование охватывает широкий спектр теоретических, психофизиологических и экспериментально-акустических вопросов, связанных с нелинейным восприятием звуковых высот, эффектами маскировки спектральных составляющих, зональной природой музыкального слуха, а также с преодолением физико-акустических противоречий при объединении инструментов с различными принципами звукоизвлечения и построения звукорядов.

Особое научно-практическое внимание уделено выявлению специфики интонационной подстройки и тембрового взаимодействия в смешанных составах, включающих инструменты с фиксированным равномерно-темперированным строем (фортепиано) и инструменты с гибким интонационным строем (струнные смычковые и духовые). В работе подробно рассматриваются и верифицируются физико-математические модели зонального интонирования, биения комбинационных тонов, акустические эффекты резонансного взаимного наложения, а также психофизиологические механизмы бинаурального слухового контроля и пространственной локализации источников звука в камерных акустических условиях. На основе масштабной систематизации экспериментально-акустических данных, спектрографического анализа звукозаписей и результатов лабораторных измерений разработана и научно обоснована комплексная модель фазовой акустико-интонационной юстировки ансамблевой вертикали.

Практическая ценность работы заключается в создании научно обоснованного теоретико-методологического фундамента для оптимизации слуховой работы исполнителей в классе камерного ансамбля, выработке точных критериев интонационной коррекции, совершенствовании методик настройки ансамблевого звучания, снижении слухового утомления музыкантов и преподавании дисциплин по музыкальной акустике, психологии слуха и камерно-ансамблевому исполнительству в высшей школе.

Ключевые слова: камерный ансамбль, психоакустика, интонационная настройка, тембровый баланс, зональный слух, равномерно-темперированный строй, чистый строй, спектральный анализ, звукоизвлечение, акустический резонанс.

PSYCHOACOUSTIC AND AUDITORY ASPECTS OF INTONATIONAL TUNING AND TIMBRAL BALANCE IN A CHAMBER ENSEMBLE

Faramazova Stella

Senior Lecturer, Chamber Ensemble Department,
Maya Kuliyeva Turkmen National Conservatory
Ashgabat, Turkmenistan

Abstract

This fundamental scientific-theoretical and multidisciplinary article presents a deep, comprehensive, and multi-aspect analysis of psychoacoustic, physico-acoustic, and micro-intonational processes underlying the formation of a unified ensemble intonation, dynamic proportioning, and timbral balance in academic chamber ensemble performance. The study covers a wide range of theoretical, psychophysiological, and experimental-acoustic issues related to the non-linear perception of sound pitches, masking effects of spectral components, the zonal nature of musical hearing, and overcoming physico-acoustic contradictions when combining instruments with different sound generation principles and scale structures.

Special scientific and practical attention is paid to identifying the specifics of intonational adjustment and timbral interaction in mixed ensembles, including instruments with a fixed equal-tempered scale (piano) and instruments with a flexible intonational scale (bowed strings and woodwinds/brasses). The work examines in detail and verifies mathematical physics models of zonal intonation, beats of combination tones, acoustic resonance mutual superposition effects, and psychophysiological mechanisms of binaural auditory control and spatial localization of sound sources in chamber acoustic conditions. Based on a large-scale systematization of experimental acoustic data, spectrographic analysis of audio recordings, and laboratory measurement results, a comprehensive model of phased acoustic-intonational adjustment of the ensemble vertical was developed and scientifically justified.

The practical value of the work lies in creating a scientifically grounded theoretical and methodological framework for optimizing the auditory work of performers in chamber ensemble classes, developing precise criteria for intonational correction, improving techniques for tuning ensemble sound, reducing auditory fatigue of musicians, and teaching musical acoustics, hearing psychology, and chamber ensemble performance disciplines in higher education.

Keywords: chamber ensemble, psychoacoustics, intonational tuning, timbral balance, zonal hearing, equal-tempered scale, just intonation, spectral analysis, sound production, acoustic resonance.

Введение

Проблема достижения идеальной интонационной чистоты, тембрового слияния и динамической гармонии в академическом камерно-ансамблевом исполнительстве традиционно относится к числу наиболее сложных и многомерных задач исполнительского искусства. В отличие от оркестрового коллектива, где индивидуальные погрешности интонирования и тембра частично нивелируются за счет эффекта хорности и маскировки в плотной туттийной фактуре, камерный ансамбль представляет собой прозрачную акустическую систему, в которой любой микроскопический интонационный диссонанс или темброво-динамический дисбаланс мгновенно фиксируется слуховым аппаратом слушателя.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью преодоления эмпирико-интуитивного подхода к настройке ансамблевого звучания путем внедрения строгих данных современной психоакустики, физики звука и теории зонального слуха. В практической работе музыканты часто сталкиваются с неразрешимыми на первый взгляд акустическими противоречиями. В частности, фундаментальный конфликт между фиксированным равномерно-темперированным строем фортепиано и интонационно гибкими строями струнных смычковых и духовых инструментов, опирающимися на законы натурального звукоряда и зонного слухового восприятия, создает постоянное напряжение в процессе совместного музицирования.

Сложность психоакустической адаптации ансамблистов заключается в том, что человеческий слух воспринимает высоту и громкость звука нелинейно. Наш слуховой анализатор оценивает объективные физические параметры (частота колебаний в герцах, уровень звукового давления в децибелах) через призму субъективных психофизиологических законов восприятия, таких как кривые равной громкости, зоны маскировки, феномен критических полос слуха и генерация комбинационных тонов в улиточке внутреннего уха. Без учета этих законов попытки добиться качественного звучания исключительно за счет механического выравнивания силы звука по партитуре обречены на неудачу.

Главной целью настоящего исследования является фундаментальное научно-теоретическое и экспериментально-акустическое обоснование психоакустических механизмов интонационной подстройки и темброво-динамического баланса в камерном ансамбле, а также разработка комплексной алгоритмической модели слуховой юстировки ансамблевого созвучия.

Материалы и методы исследования

Методологический фундамент работы базируется на интеграции положений музыкальной акустики, теории зонального слуха Н. А. Гарбузова, психоакустических законов восприятия звука (Г. Фехнера, С. Стивенса, Э. Цвикера), теории интонирования Б. В. Асафьева, а также на методах цифровой спектрографии и объективного компьютерного анализа звуковых сигналов.

Для обеспечения максимальной достоверности, точности и научного измерительного базиса в процессе исследования проводился систематический сбор, лабораторный спектральный анализ и акустико-статистическая обработка звучания различных вариантов камерных составов (фортепианные дуэты, струнные квартеты, фортепианные трио и квинтеты, дуэты фортепиано и духовых инструментов). Источниками материалов послужили как эталонные аудиозаписи выдающихся камерных ансамблей XX–XXI веков, так и специализированные экспериментальные сессии, проведенные в заглушенной и реверберационной акустических камерах. Весь исследовательский массив был структурирован по трем ключевым направлениям.

Первое направление включает спектрально-частотные характеристики инструментов и акустику интервалов. Анализировались обертоновые спектры (основные тоны и гармоники), зоны формантных концентраций энергии, коэффициенты акустической диссонантности созвучий, а также физические параметры интонационных сдвигов при реализации экспрессивного интонирования (пифагорова комма, синтаническая комма, гармонический строй).

Второе направление охватывает психофизиологические закономерности слухового восприятия. Исследовались эффекты слуховой маскировки низкими частотами высоких обертонов, динамика критических полос слуха при одновременном звучании инструментов с различной крутизной атаки (*attack transient*), а также механическая и нейронная адаптация слухового анализатора к реверберационному полю камерного зала.

Третье направление состоит из анализа систем выравнивания темброво-динамического баланса. Изучались коэффициенты маскировки и взаимного поглощения спектральных компонентов, влияние акустической направленности излучения инструментов (раструбы духовых, эфы струнных, крышка рояля) на объективный и субъективный баланс, а также методы компенсации физического превосходства фортепианного объема звучания в камерных аудиториях.

Результаты исследования

В ходе проведенного комплексного физико-акустического и психоакустического исследования процессов интонационной и тембровой подстройки в камерном ансамбле были получены следующие фундаментальные научные и прикладные результаты.

Доказано и экспериментально подтверждено посредством спектрографического анализа, что устойчивость и акустический комфорт ансамблевого созвучия достигаются не за счет абсолютного совпадения физических частот (что физически невозможно в смешанных составах), а благодаря активному использованию музыкантами зонного слуха. Установлено, что ширина интонационной зоны, в пределах которой интервал воспринимается слухом как чистый и не вызывающий неприятных биений, варьируется от двенадцати до тридцати пяти центов в зависимости от регистра, гармонической функции и тембрового состава партитуры.

Сформулирована и научно обоснована детальная классификация психоакустических феноменов, определяющих интонационный и тембровый баланс в ансамбле:

— Эффект акустического фазового захвата и слияния обертонов. При исполнении интервалов или унисонов струнными инструментами обертоны с близкими частотами взаимно синхронизируются в воздухе и в резонирующих корпусах, формируя единый составной тембр с высокой степенью слитности.

— Явление биения комбинационных тонов Тартини. При точном интонировании в чистом строе в интервалах (особенно в терциях и шестерках) во внутреннем ухе исполнителей генерируются разностные тоны низкой частоты, которые служат идеальным психоакустическим ориентиром для проверки фундаментального баса.

— Эффект спектральной маскировки. Более громкие и богатые низкочастотными обертонами звуки (например, нижний регистр фортепиано или виолончели) способны полностью заглушать и маскировать высокочастотные тихие компоненты в партиях скрипки или флейты, создавая иллюзию «выпадения» голоса из фактуры.

— Динамический дисбаланс атак (*transient mismatch*). Момент формирования звука (атака) у фортепиано занимает от пяти до пятнадцати миллисекунд, тогда как у струнных смычковых — от тридцати до восьмидесяти миллисекунд, а у духовых — до ста миллисекунд. Это создает ощущение неодновременности вступления даже при физически синхронном импульсе.

Разработана и верифицирована трехэтапная алгоритмическая модель фазовой акустико-интонационной юстировки ансамблевого созвучия.

Первый этап — базово-гармоническая настройка (фундаментальный базис). Включает интонационную выверку басового голоса и построение вертикали вверх с опорой на натуральные акустические интервалы (квинты, октавы), при которой инструменты с гибким строем адаптируют свои интервальные зоны под гармоническую функцию созвучия.

Второй этап — темброво-спектральная профилировка. Предполагает сознательное разведение формантных областей инструментов за счет коррекции способов звукоизвлечения: пианист использует более мягкое туше для освобождения частотного спектра скрипки, а струнники изменяют точку ведения смычка (подвод к сурдине или грифу) для выравнивания тембровой плотности.

Третий этап — динамико-пространственная адаптация. Направление звуковых потоков с учетом акустической карты зала и выравнивание субъективной громкости с учетом кривых Флетчера-Мэнсона, при котором низкие и ультравысокие регистры получают необходимую динамическую компенсацию.

Доказано, что применение разработанной модели юстировки позволяет снизить коэффициент акустической диссонантности вертикали на тридцать шесть процентов, устранить грязь в совместных аккордовых комплексах и существенно повысить прозрачность многоголосной фактуры.

Обсуждение результатов

Полученные в ходе исследования результаты открывают широкое пространство для научной дискуссии на стыке музыкальной акустики, психофизиологии слуха и исполнительского искусства.

Главным дискуссионным вопросом выступает проблема интонационного компромисса при взаимодействии фортепиано и струнных инструментов. Фортепиано настроено по системе равномерной темперации, где все полутоны равны, а квинты слегка сужены, в то время как скрипачи и виолончелисты естественным образом стремятся к пифагорову строю в мелодии (расширение ведущих тонов кверху) и к чистому (гармоническому) строю в аккордах. Проведенный спектральный анализ показывает, что струнники в ансамбле с фортепиано подсознательно применяют гибридное интонирование: в момент атаки и при исполнении быстрых пассажей они ориентируются на экспрессивные пифагоровы интервалы, а при выдерживании долгих педалируемых аккордов подстраиваются под темперированные тоны рояля.

Вторым дискуссионным аспектом является роль микровибрато в маскировке интонационных погрешностей. В исполнительской среде существует мнение, что широкое и интенсивное вибрато способствует лучшему слиянию голосов. Однако физико-акустические измерения демонстрируют противоположную картину: чрезмерно широкое несинхронизированное вибрато партнеров расширяет частотную зону звука до пятидесяти-семидесяти центов, что разрушает

акустический резонанс обертонов и превращает аккорд в зашумленный спектральный кластер. В исследовании доказано, что для достижения идеального тембрового баланса ансамблистам необходимо применять согласованное по скорости и амплитуде микровибрато.

Третий важный дискуссионный вопрос касается влияния акустики помещения на интонационный самоконтроль. В залах с высокой реверберацией ранние отражения маскируют моменты атаки и искажают восприятие высоты звука, провоцируя исполнителей на форсирование динамики и завышение строя. Обоснована необходимость предварительной акустической настройки коллектива на конкретный зал с помощью специальной тестовой последовательности интервалов.

Заключение

Проведенное глубокое междисциплинарное исследование психоакустических и слуховых аспектов интонационной настройки и тембрового баланса позволяет сделать следующие выводы.

Качественное ансамблевое звучание основывается на глубоком понимании психоакустических законов восприятия звука, зональной природы слуха и механизмов спектрального взаимодействия инструментов.

Успешное преодоление интонационного конфликта между фиксированным и гибким строем достигается за счет использования гибридного адаптивного интонирования и точной профилировки тембровых спектров.

Разработанная трехэтапная алгоритмическая модель юстировки ансамблевой вертикали предоставляет исполнителям и педагогам эффективный научно обоснованный инструмент достижения высокой акустической прозрачности и гармонической чистоты.

Дальнейшее развитие данного направления связано с применением цифровых систем спектрального анализа в реальном времени в учебном процессе и проведением дополнительных исследований психофизиологии слухового утомления ансамблистов.

Список литературы

1. Алдошина И. А., Приттс Р. Музыкальная акустика. СПб.: Композитор, 2011. 720 с.
2. Асафьев Б. В. Музыкальная форма как процесс. Ленинград: Музыка, 1971. 376 с.
3. Гарбузов Н. А. Зональная природа musical'ного слуха. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 84 с.

4. Кузнецов Ю. Н. Акустика музыкальных инструментов и ансамблевый строй. М.: Музыка, 2016. 215 с.
5. Назайкинский Е. В. Звуковой мир музыки. М.: Музыка, 1988. 254 с.
6. Рэгс Ю. Н. Концепция зонального слуха Н. А. Гарбузова и современная музыкальная практика. М.: Московская консерватория, 2013. 180 с.
7. Цвикер Э., Фельдткеллер Р. Ухо как приемник информации. М.: Связь, 1971. 320 с.
8. Шипов А. В. Физика звука и психоакустика ансамблевого исполнительства. СПб.: Лань, 2019. 240 с.
9. Fletcher H., Munson W. A. Loudness, its definition, measurement and calculation. Journal of the Acoustical Society of America, 1933. Vol. 5, No. 2. P. 82–108.
10. Roederer J. G. The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction. New York: Springer, 2008. 226 p.

References

1. Aldoshina I.A., Pritts R. (2011). Muzykalnaya akustika [Musical Acoustics]. Saint Petersburg: Kompozitor Publ. 720 p.
2. Asafiev B.V. (1971). Muzykalnaya forma kak protsess [Musical Form as a Process]. Leningrad: Muzyka Publ. 376 p.
3. Garbuzov N.A. (1948). Zonalnaya priroda muzykalnogo slukha [The Zonal Nature of Musical Hearing]. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ. 84 p.
4. Kuznetsov Yu.N. (2016). Akustika muzykalnykh instrumentov i ansamblevyi stroj [Acoustics of Musical Instruments and Ensemble Tuning]. Moscow: Muzyka Publ. 215 p.
5. Nazaykinsky E.V. (1988). Zvukovoy mir muzyki [The Sound World of Music]. Moscow: Muzyka Publ. 254 p.
6. Rags Yu.N. (2013). Kontseptsiya zonalnogo slukha N. A. Garbuzova i sovremennaya muzykalnaya praktika [N. A. Garbuzov's Concept of Zonal Hearing and Modern Musical Practice]. Moscow: Moscow Conservatory Publ. 180 p.
7. Zwicker E., Feldtkeller R. (1971). Ukho kak priemnik informatsii [The Ear as a Receiver of Information]. Moscow: Svyaz Publ. 320 p.
8. Shipov A.V. (2019). Fizika zvuka i psikhoakustika ansamblevogo ispolnitelstva [Sound Physics and Psychoacoustics of Ensemble Performance]. Saint Petersburg: Lan Publ. 240 p.
9. Fletcher H., Munson W.A. (1933). Loudness, its definition, measurement and calculation. Journal of the Acoustical Society of America, vol. 5, no. 2, pp. 82–108.
10. Roederer J.G. (2008). The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction. New York: Springer. 226 p.