

УДК 534.784

С.А.Луньова¹, канд. фіз.-мат. наук, В.П.Заєць¹, А.І.Луньов²

Аналіз акустичних характеристик фортепіанного звучання в концертному залі

Досліджуються спектральні і спектрально-часові характеристики фортепіанного звучання консонансних інтервалів: октави, квінти і кварта в межах від контроктави до третьої октави, і звукової послідовності в першій октаві. Аналізуються залежності вказаних акустичних характеристик від частотного діапазону, сили звуку, темпу виконання і штрихів. Показана зміна об'єктивних параметрів звуку роялю в залежності від акустики залу, які призводять до зміни часових і тембральних характеристик звуку, що сприймається слухачами.

The spectral and spectral-temporal characteristics of piano sound consonance intervals: octaves, fifths and fourths between rears octave to the third octave, and sound sequences in the first octave are investigated. Analyzed these acoustic characteristics depending on the frequency range, the sound intensity, tempo performance and strokes. Shows the change in objective parameters of sound grand, depending on the acoustics of the hall, which lead to changes in timbre and temporal characteristics of the sound perceived by the audience.

Ключові слова: акустика залу, фортепіано, музичні інтервали, звукова послідовність, спектральні характеристики звукового сигналу, часові характеристики спектру

Вступ

Акустичні характеристики фортепіанного звуку, як об'єктивні параметри якості звучання інструменту, досліджувалися протягом останніх десятиріч провідними російськими та зарубіжними вченими [1-5]. Поряд з вивченням фізичних особливостей коливань струн і корпусу, аналізувалися частотні і часові характеристики музичного сигналу. Але вибір звукового матеріалу обмежувався звучанням окремих нот, а засоби виразності виконання зводилися тільки до динамічних відтінків. Результати таких досліджень, в першу чергу, були корисні для розробників і виробників музичних інструментів і в меншій мірі - для виконавців і слухачів.

В даній роботі пропонується виконати аналіз акустичних характеристик звукових сигналів більш наближених до звучання музичного твору, а саме, акордів і звукової послідовності, а також розширити дослідження в залежності від таких суттєвих засобів виконання як темп і штрихи. Крім того, в роботі досліджуються зміни цих характеристик в залежності від акустики концертного залу і розташування глядацьких місць. Це питання, не зважаючи на його важливість і для виконавців, і слухачів, до теперішнього часу взагалі не розглядалося.

При оцінці якості музичного звуку в залі не можливо не враховувати, що на звук інструменту «накладаються» акустичні характеристики залу, як середовища, в якому відбувається передача звуку, тобто акустика приміщення певним чином змінює звучання музичних інструментів, зокрема, ясність, розбірливість, тембральну окрасу і подовженість звучання. Таким чином, щоб виявити ступінь впливу приміщення на основні акустичні характеристики музичного сигналу пропонується сумісно дослідити акустику залу і музичного інструменту, на відміну від попередніх досліджень в галузі архітектурної та музичної акустики, що розглядали їх окремо.

1. Спектральні характеристики музичних інтервалів

Аналіз спектральних та спектрально-часових характеристик музичних звуків здійснювався на основі записів фортепіанного звучання в різних частинах приміщення в Малому залі Національної музичної академії України, який за своїми показниками є майже оптимальним для виконання камерної музики. В якості музичних звуків використовувалося звучання на forte і piano консонансних інтервалів: октави, квінти і кварта, в діапазоні від контроктави до третьої октави, виконаних на роялі фірми «Bechstein». Обробка звукових сигналів методом швидкого перетворення Фур'є в середовищі Wave Lab дозволила встановити ряд акустичних закономірностей, властивих фортепіанному звучанню в залі.

Звук, взятий на forte і piano, відрізняється не тільки гучністю, а і тембром, тобто кількістю

утворених обертонів (рис.1). Спектр на forte має значно більшу напруженість для всіх інтервалів в усьому частотному діапазоні. При чому, для звуків басового регістру, особливо у контроктаві, інтенсивність обертонів виявляється більшою за

інтенсивність основних тонів. В низькочастотних регістрах багатство тембру звучання додатково посилюється завдяки деці, перші власні частоти коливаний якої зосереджені в цьому діапазоні.

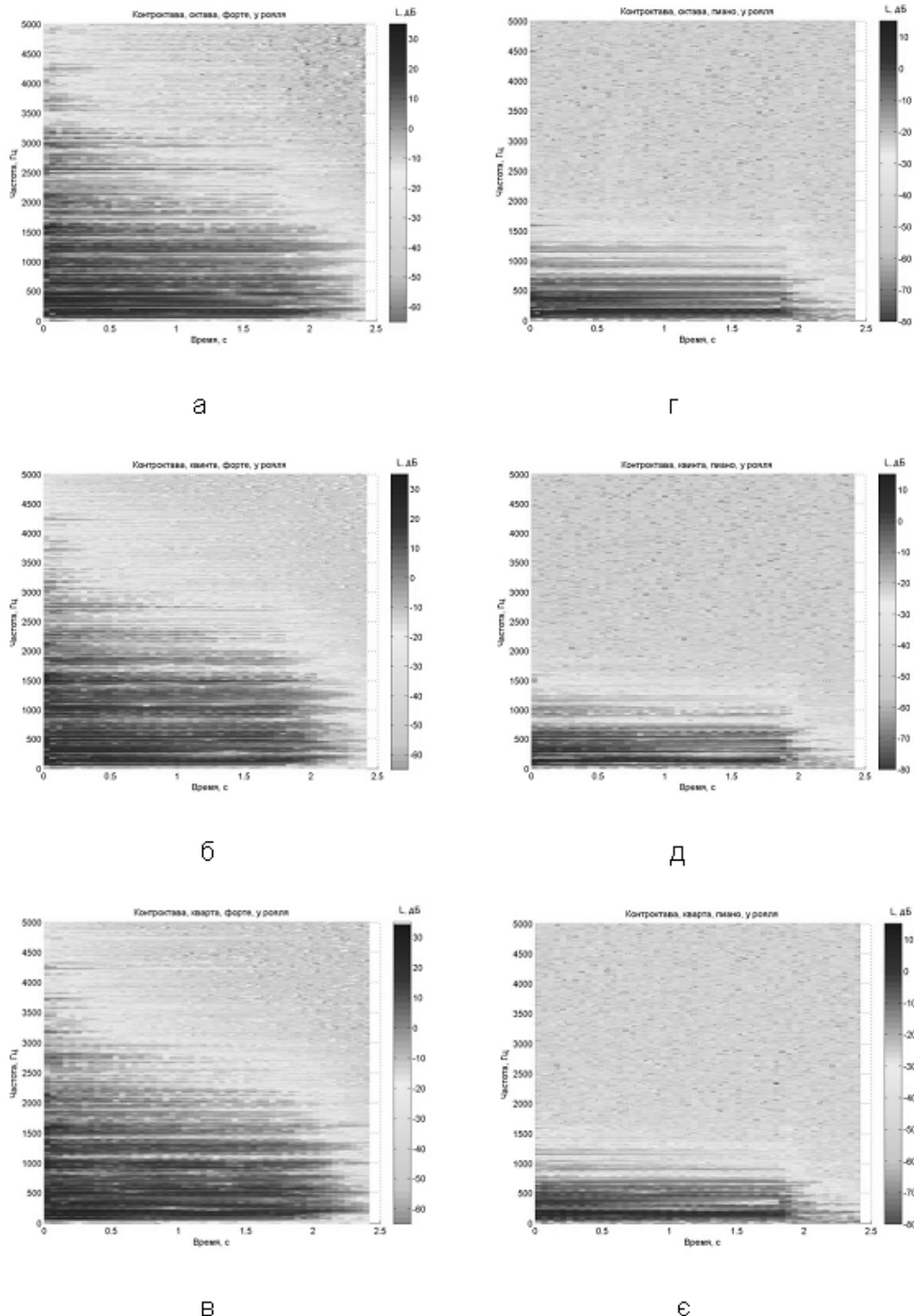


Рис.1. Трьохвимірний спектр музичних інтервалів в контроктаві: на forte (а – октава, б – квінта, в – кварта) і піано (г – октава, д – квінта, є – кварта)

З підвищенням частоти спектр фортепіанного звуку збіднюється: інтенсивність основних тонів підвищується, кількість обертонів зменшу-

ється; таким чином, різниця між тембрами звуку, взятого на forte і піано, зменшується (рис.2.). Оскільки вказані закономірності є типовими для

всіх проаналізованих музичних інтервалів, далі обмежимося ілюстраціями результатів тільки

для інтервалу «октава».

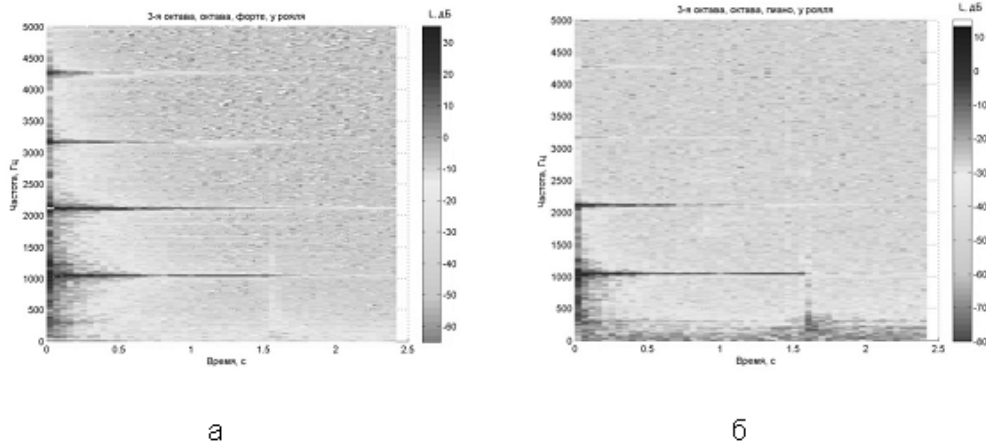


Рис.2. Трьохвимірний спектр інтервалу «октава» в третій октаві: а – forte, б - piano

Суттєвий висновок виконаних досліджень полягає в тому, що склад спектру одного і того ж звуку змінюється в різних частинах залу, що

особливо відчутно для гучного звуку басових і середніх регістрів (рис.3).

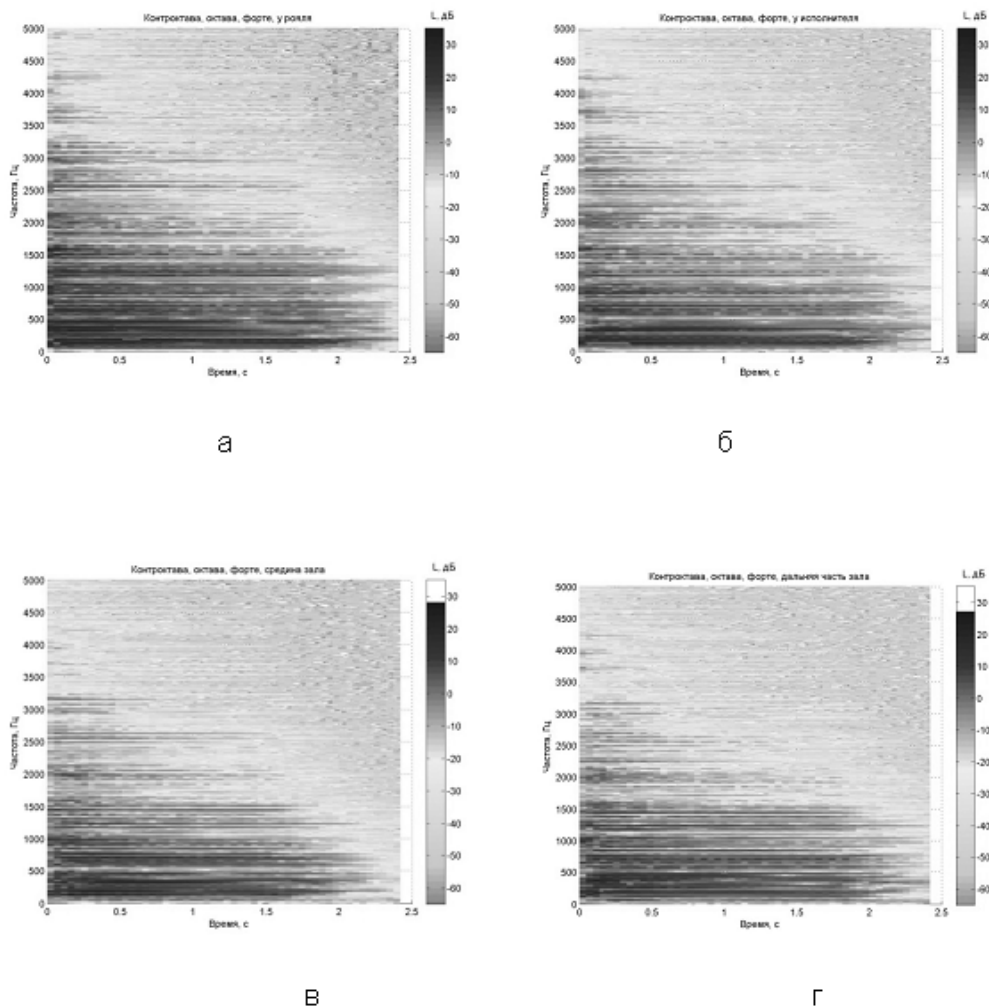
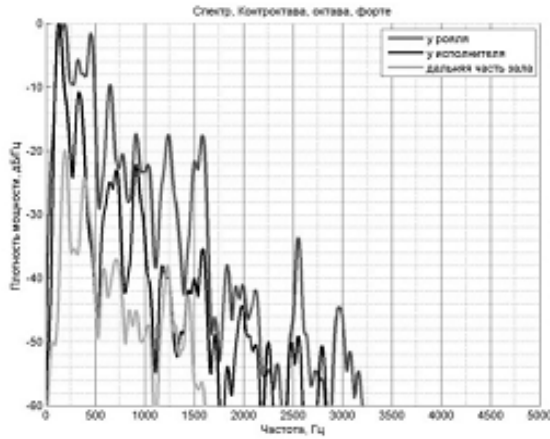


Рис.3 Трьохвимірний спектр інтервалу «октава» в контроктаві: а – біля струн роялю, б – біля виконавця, в – в середній частині залу, г – в дальній частині залу

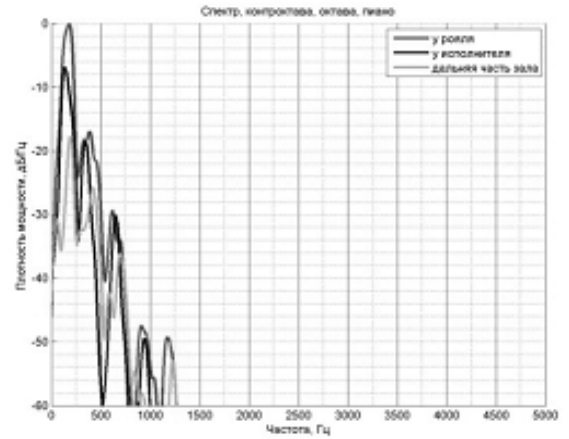
Зміни спектрального складу звукового сигналу більш помітні на двовимірних графіках, представлених на рис.4 (без врахування тривалості звучання обертонів).

Ступінь спотворення музичного сигналу в різних частинах залу залежить, з одного боку, від більш швидкого затухання звуків високих

частот при поширенні їх в приміщенні, з іншого – від нерівномірності за частотою поглинання звуку оздоблювальними матеріалами і публікою. Можливе також підсилення деяких частотних складових, що збігаються з власними частотами приміщення, які залежать від його геометричних розмірів і форми.



а



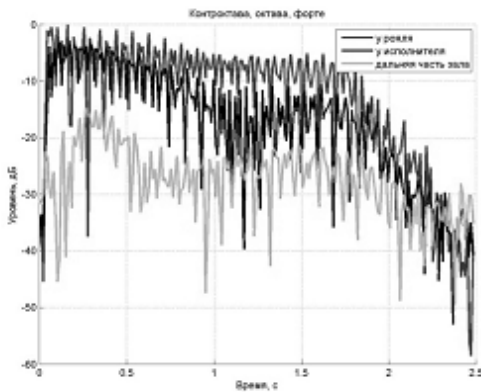
б

Рис.4 Спектр інтервалу «октава» в контроктаві: а - forte, б – piano

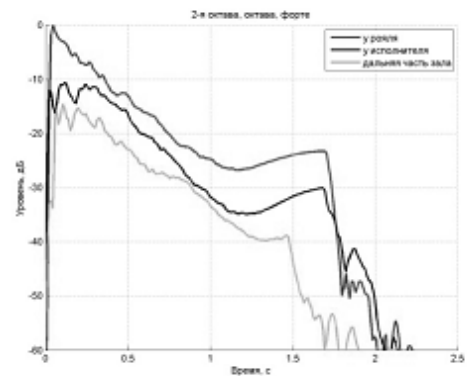
2. Спектрально-часові характеристики звуку

Процес затухання звуку роялю в часі складається з двох ділянок (рис.5): першої – більш пологої, яка відповідає затуханню коливань струни, поки піаніст утримує клавішу, і другої, що відповідає затуханню коливань де-

ки після спрацювання демпфера. На другій ділянці звук спочатку різко спадає, як тільки зникає звук струни; потім спостерігаються тривалі затухання, які підтримуються коливаннями деки. Рівень цього звуку значно менший за початковий звук, і його можна вважати майже нечутним.



а



б

Рис.5 Часові зміни основного тону інтервалу «октава»: а – контроктава, б – друга октава; верхня крива – біля рояля, середня – біля виконавця, нижня – в дальній частині залу

Саме на другій ділянці затухання звук суттєво відрізняється біля роялю і в дальньому кінці залу, де звучання підтримується ревербераційним звуком за рахунок відбиттів від поверхонь приміщення.

На першій ділянці сигнал в різних місцях залу також помітно змінюється, а, крім того, не зберігається сталим за гучністю під час утримання клавіші.

Часові залежності амплітуд окремих гармонік звукового сигналу відрізняються між собою (рис.6). Деякі частотні складові утворюють биття, які проявляються пульсаціями гучності відповідних гармонік.

Таким чином, часова поведінка складових музичного звуку відрізняється не тільки для різних гармонік, а і для кожної гармоніки в залежності від місця прослуховування в залі, що додатково до спектральних спотворень призводить до зміни сприйняття звучання роялю.

3. Акустичні характеристики звукової послідовності

Для більш повної оцінки зміни тембральних характеристик звуку в залі досліджені форма сигналу і спектр звукової послідовності (гами до мажор в першій октаві), виконаної в темпах *andante* і *vivace* (різними штрихами) біля роялю і в дальній частині залу (рис.7,8).

При поширенні звуку в залі, і форма сигналу, і, відповідно, спектр змінюються в залежності від штрихів, а тим більше – темпу.

В повільному темпі *andante* (рис.7) у формі сигналу зберігаються піки, що відповідають кожній ноті гами. При цьому в дальньому кінці залу затухання звуку окремої ноти суттєво зменшується, і звукова послідовність значно згладжується. Отже, в лункому залі ноти почнуть «зливатися» на слух, тобто наступна нота буде маскуватися попередньою, особливо при виконанні штрихом *legato*.

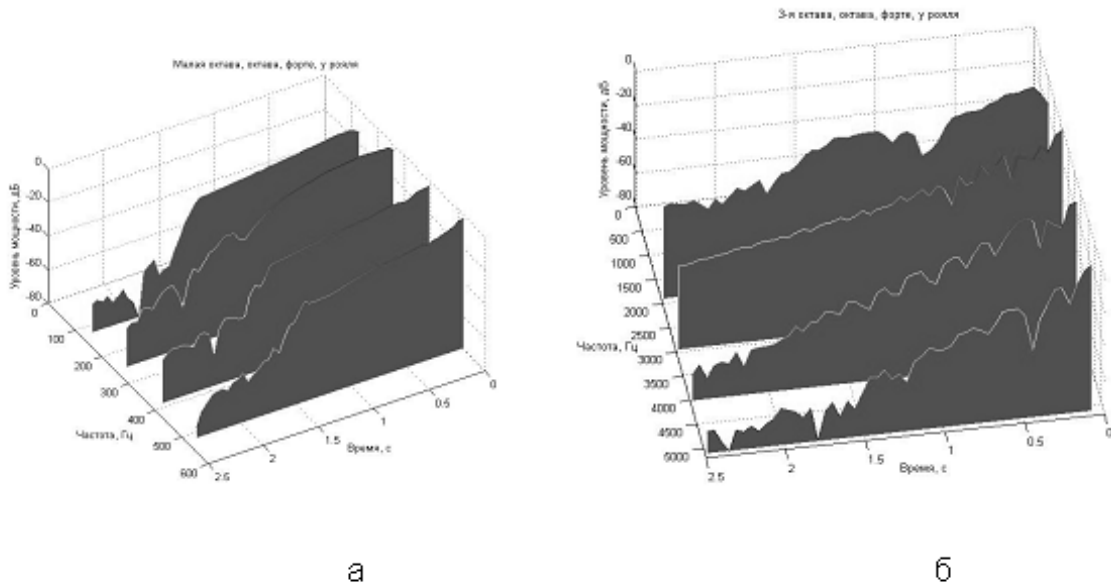


Рис.6 Часова поведінка перших чотирьох гармонік інтервалу «октава»: а – в малій октаві, б - в третій октаві

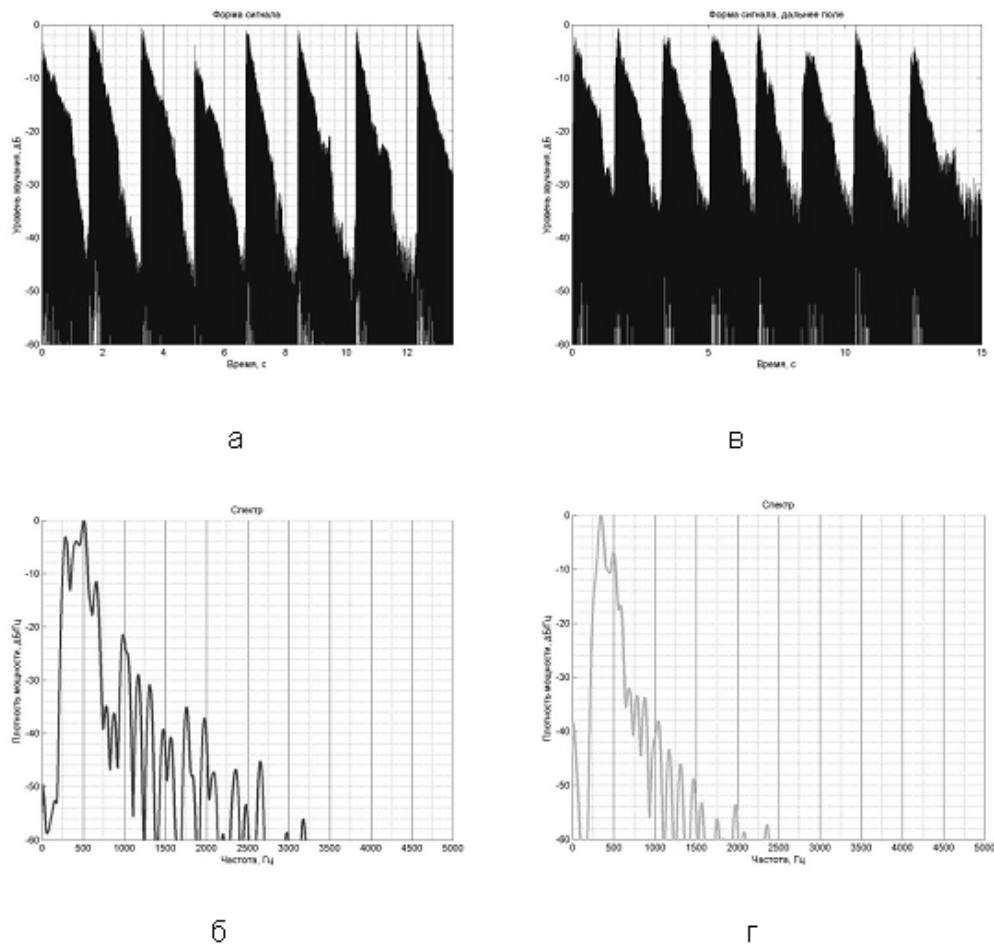


Рис.7 Форма сигнала і спектр звукової послідовності, виконаної *non legato* в темпі *andante*: біля роялю (а,б) і в дальній частині залу (в,г)

В швидкому темпі (рис.8) за формою сигналу видно, що всі ноти зливаються в майже неперервну форму сигналу, і всі звуки сприймаються, скоріш, як єдине ціле. Спектр такого сигналу суттєво відрізняється від спектру послідовності, виконаної *andante*. Спотворення спектру додатково зумовлені зміною форми сиг-

налу наприкінці гами, а саме, значним підвищенням рівню сигналу, що пов'язане «накладанням» звучання попередніх нот на наступні. Отже, в залах зі значним часом реверберації виконання в занадто швидкому темпі буде звучати забруднено і нерозбірливо.

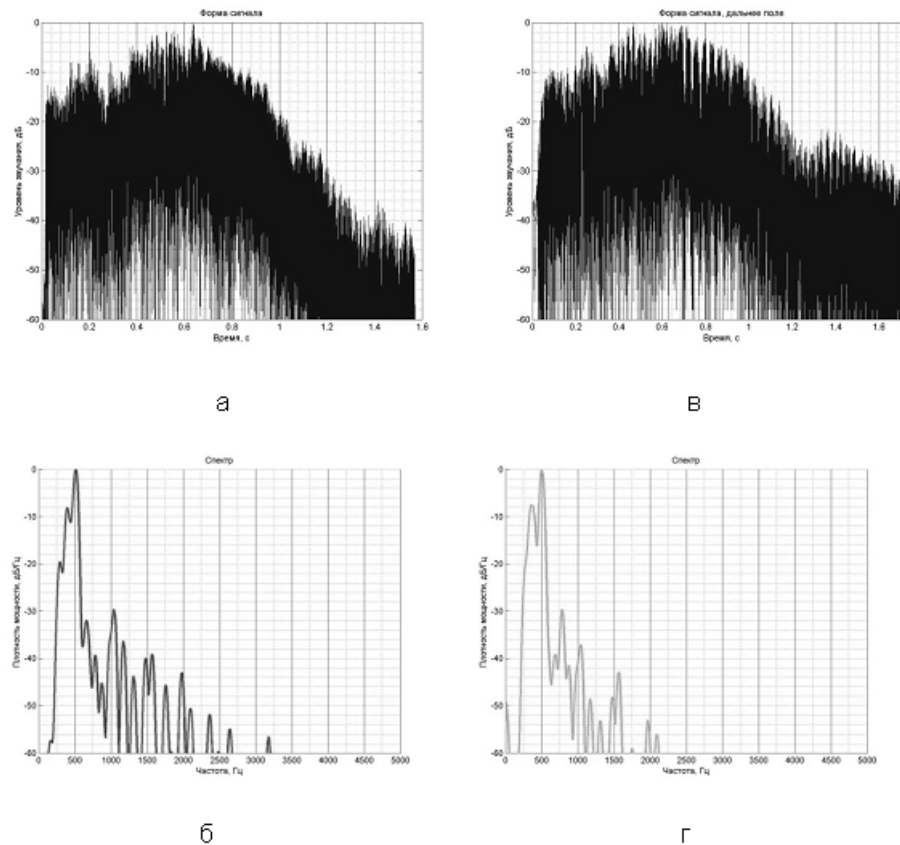


Рис.8 Форма сигналу і спектр звукової послідовності в темпі *vivace*: біля роялю (а,б) і в дальній частині залу (в,г)

Висновки

На основі виконаного аналізу очевидно, що тембральні і часові характеристики звуку роялю біля піаніста і в різних частинах залу суттєво відрізняються, навіть, в оптимальному за своїми акустичними параметрами залі. В залах надмірно заглушених або лунких, з неправильною геометрією чи наявністю акустичних дефектів [6] спотворення музичного сигналу стає надзвичайно відчутним. В зв'язку з цим, виконавець не може покладатися тільки на власне відчуття звучання. Йому необхідно враховувати зміни звукових вражень слухачів, які відбуваються на глядацьких місцях в залежності від акустичних властивостей залу.

Література

1. *Володин А.* Роль гармонического спектра в восприятии высоты и тембра звука// Музыкальное искусство и наука. - Вып.1. - М.: Музыка, 1970. - с.11-38.
2. *Галембо А.С.* Фортепиано. Качество звучания. – М.: Легпромиздат, 1987. – 165 с.
3. *Five Lectures on the Acoustics of the Piano/ Ed. A.Askenfelt.* – Stockholm: Royal Swedish Acad. Of Music, 1990. – 148 p.
4. *Suzuki H., Nakamura I.* Acoustics of Pianos// Appl. Acoust., V.30, 1990. – P.147-205.
5. *McFerrin W.V.* The Piano: its Acoustics. – Boston: Tuners Supply Co, 1972. – 290 p.
6. *Дідковський В.С., Луньова С.А., Богданов О.В.* Архітектурна акустика. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – 385 с.

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

² Національна музична академія України ім.П.Чайковського