

БИЕНИЯ ФОРТЕПИАННЫХ СТРУН

...

Свистят они, как пули у виска —
Биения, биения, биения ...

Р.Рождественский — С.Муратов

Равномерная темперация – это равномерное на слух изменение ритмов **биений** кварт, квинт, терций и секст (и других интервалов) при проигрывании хроматических последовательностей по диапозону фортепиано.

В.Г.Порвенков

Биения — это едва ли не самое главное, что должен научиться слушать и слышать человек, выбравший профессию настройщика фортепиано. В учебной литературе о биениях сказано, как правило, довольно скупо, а главное, без учета и анализа особенностей биений в звучании фортепианных струн. Между тем, знание этих особенностей для фортепианного мастера имеет прямой практический смысл и нередко помогает достойно выйти из ряда затруднений, как в процессе «делания темперации», так и в настройке крайних регистров «капризного» инструмента. Мы рассмотрим свойства фортепианных биений более подробно.

Что значит «настроить фортепиано»? — В самом общем смысле это означает: установить все колки в такое положение, чтобы каждый звук имел точную высоту, соответствующую его положению в общем строю звуков. Остается только найти эту точную высоту для каждой из 88 клавиш фортепиано. Это можно сделать разными способами. Отложим пока в сторону ставшие в последнее время слишком популярными электронные тюнеры и будем работать по-старинке, на слух.

Изолированное восприятие звука без какого-либо звуковысотного ориентира наименее точно. Даже абсолютный слух (нечасто встречающаяся врожденная способность запоминать высоту звуков) музыкантов-профессионалов в исследованиях, проведенных Н.А.Гарбузовым в конце 40-х годов XX века, дал точность в среднем не выше ± 20 центов. Замечу в скобках, что когда пианисты высказывают пожелания типа: «Настройте мне рояль на 442 Гц, я не могу играть на 440!» и если речь идет о сольном фортепианном концерте, то это чистая блажь и капризы. Ни один пианист не определит на слух, даже самый абсолютнейший, настроен рояль на 440 или 442 Гц, если не вытащит из кармана камертон или тюнер. Другое дело — духовики и вокалисты: эти музыканты действительно могут почувствовать низковатый (или наоборот) строй рояля по ощущениям в своем инструменте.

При наличии какого-либо опорного тона (камертон, конкретный звук настроенного фортепиано и т. п.) точность определения и установки высоты звука заметно повышается. Здесь на помощь чисто физиологическому ощущению высоты звука приходит весьма специфическое ладовое чувство, базирующееся на опыте музыкального восприятия — как личном, так и общечеловеческом. В этих условиях обладатели абсолютного слуха уже не имеют никаких преимуществ перед остальным населением Земли, и лидерами здесь оказываются профессиональные музыканты с хорошо натренированным музыкальным слухом, способные к тонкому ладоинтонационному ощущению. Опыты в той же Акустической лаборатории МГК в мелодической настройке интервалов (в последовательном предъявлении опорного и настраиваемого звуков) показали точность в среднем $\pm 5-6$ центов у музыкантов-профессионалов. Такая точность уже вполне пригодна для предварительной настройки фортепиано (при цвиковке после наложения струн, при «черновой» настройке с заметным изменением общей высоты строя).

Однако наивысшая, профессиональная точность настройки интервалов достигается тем самым способом, каким пользуются уже в течение долгих веков настройщики, — по биениям в гармоническом звучании интервала. Здесь точность ограничена только длительностью звучания струн инструмента, протяженностью спектра звука и точностью отсчета частоты биений. В сущности, процесс

профессиональной настройки фортепиано на слух сводится к установке и контролю биений с определенной частотой в определенных интервалах.

В фортепиано чисто, то есть вовсе без биений, настраиваются только унисоны¹. Именно в унисонах достигается и максимально возможная точность настройки. Мэру этой точности можно рассчитать. Возьмем хороший концертный рояль и будем настраивать унисон в зоне самых низких не обвитых струн, скажем, *Соль* большой октавы на «стейнвее» модели D. Примем частоту основного тона вместо номинальных 98 Гц — 100 Гц для простоты дальнейших расчетов. Длительность звучания этого хора — порядка 20 секунд до полного затухания, протяженность спектра примем до 1000 Гц, то есть до десятого частичного тона. Если настраивая унисон, мы добьемся нуля биений в десятом частичном тоне за 20 секунд звучания (вполне реальный, легко достигаемый в хорошем инструменте результат), точность настройки унисона составит 1/20 000, то есть 0,00005, или 0,005%, что значит отклонение менее 0,1 цента!

К сожалению, и влево, и вправо от этого участка достижимая точность уменьшается. Влево — в связи с тем, что обвитые струны слегка неточны сами по себе, звучат уже не так долго вследствие больших потерь на внутреннее трение, имеют возрастающую по мере продвижения к басам негармоничность. Уменьшение достижимой точности унисонов при движении вверх связано с постепенно укорачивающимся временем звучания струн и сокращением числа обертонов в спектре. Тот же расчет для *си*² (примерно 1000 Гц, обертонов нет, время звучания 2 секунды) дает точность в 1/2000, или 0.05%, то есть около ± 1 цента и то при условии, что струны и весь акустический аппарат инструмента высокого качества и дают чистый тон, без собственных биений, и такая точность нас вполне устраивает.

Теперь, вооружившись этой информацией, перейдем непосредственно к биениям. Как всем нам известно, биения представляют собой периодические изменения громкости звука, возникающие при одновременном звучании двух тонов слегка различающейся частоты. При этом частота биений равна разности частот обоих тонов. Механизм возникновения биений можно проиллюстрировать следующим образом (см. рис. 1). Здесь А — вектор, символизирующий колебание с более низкой частотой, мы примем его за неподвижный. В₁, В₂, В₃ и т. д. — последовательные различные положения вектора второго колебания, частота которого немного выше, чем А. С₁, С₂, С₃ и т. д. — векторная сумма обоих колебаний в каждый момент времени, то есть амплитуда результирующего суммарного колебания в данный момент. Если частота А равна 440 Гц, а частота В на 1 Гц больше, то вектор В сделает полный оборот относительно вектора А за 1 секунду, и период получающихся биений будет иметь величину 1 с, а их частота — 1 Гц (рис. 2 и 3).

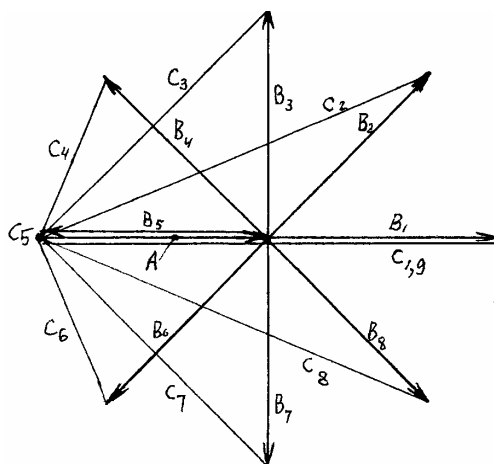


Рис. 1. Сложение амплитуд при биениях.

¹ Утверждения теоретиков о чистых, без биений, октавах на фортепиано не соответствуют действительности, но эту тему мы обсудим позже.

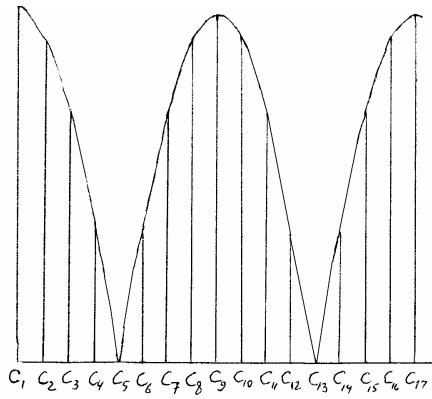


Рис 2. Биения при равных громкостях звуков.

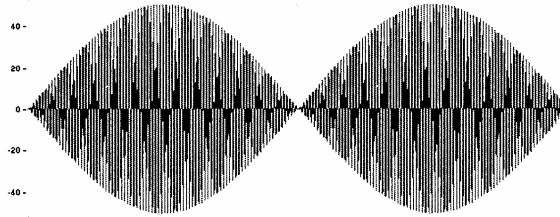


Рис. 3. Осциллограмма биений равных синусоидальных сигналов 440 и 441 Гц.

Нужно еще добавить, что биения наиболее отчетливо воспринимаются при равенстве громкостей обоих звуков, в этом случае суммарная амплитуда звука в момент точной противофазы падает до нуля (как на рис. 1-3). Если громкости обоих тонов не равны, суммарная амплитуда в противофазные моменты нуля не достигает, и биения оказываются менее отчетливыми на слух (рис. 4).

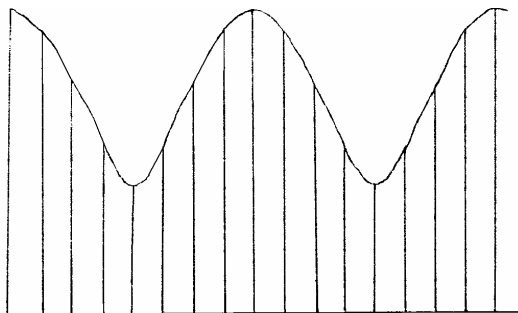


Рис 4. Биения при неравных (1:2) громкостях звуков.

Информация о биениях в литературе по нашей профессии обычно ограничивается вышесказанным. Между тем, речь здесь идет только о взаимодействии двух чисто синусоидальных тонов, а мы хорошо знаем, что звуки фортепиано в своем абсолютном большинстве сложные и состоят из нескольких, порой очень многих чистых тонов, к тому же находящихся между собой в нецелочисленных (вследствие негармоничности колебаний струн) частотных соотношениях.

Еще одна особенность звука фортепиано в том, что его обертоны имеют ограниченный частотный диапазон. Амплитуда обертонов начинает уменьшаться с 500 Гц, и звуки выше 1000 Гц их практически лишены. 1000 Гц соответствует приблизительно звуку $си^2$, следовательно, начиная с $до^3$ и выше звуковые колебания фортепиано оказываются почти чисто синусоидальными, хотя и затухающими, и обертонов практически не содержат. В этой же октаве длительность звука заметно сокращается по сравнению с басами и серединой. В крайних дискантах она порой составляет менее 1 секунды. Нужно сказать, что указанная граница в 1000 Гц достаточно подвижна и «размыта», она смещается вверх в звонких «обертонистых» инструментах, может оказаться и ниже 1000 Гц в фортепиано с матовым «деликатным» звуком, поэтому примем ее как среднестатистическую.

С нижней стороны частотный диапазон спектров звуков фортепиано ограничен еще более жестко: даже в звуках большого концертного рояля, не говоря уже о малогабаритных фортепиано, спек-

тральные составляющие с частотами ниже 100-120 Гц (это основные тоны звуков *Соль* – *Си-бемоль* большой октавы) вовсе не обнаруживаются. Спад общей АЧХ фортепиано в этой частотной зоне в сторону низких частот очень крутой.

На рис. 5 представлены характеристики излучения деки рояля и пианино, снятые российским исследователем А.И.Беловым. На графиках видно, что АЧХ обеих разновидностей фортепиано резко ограничена снизу частотой в области 100 Гц. Что касается высокочастотной границы, то она более размыта, и наклон кривой АЧХ здесь заметно менее крутой. Это позволяет деке фортепиано достаточно эффективно излучать частоты основных тонов вплоть до самого верхнего do^5 (частота порядка 4250 Гц). Однако излучение обертонов затруднено тем сильнее, чем короче струны. Поэтому, как уже сказано, выше do^3 (длина струны 175 – 185 мм) при колебаниях струн в деку передается и излучается ею практически только основной тон. В этом нетрудно убедиться, взглянув на экран результатов измерения негармоничности программы TuneLab и ее аналогов: соотношение амплитуд основного тона do^3 и первых обертонов получается порядка 30:1, и чем выше звук, тем больше это соотношение.

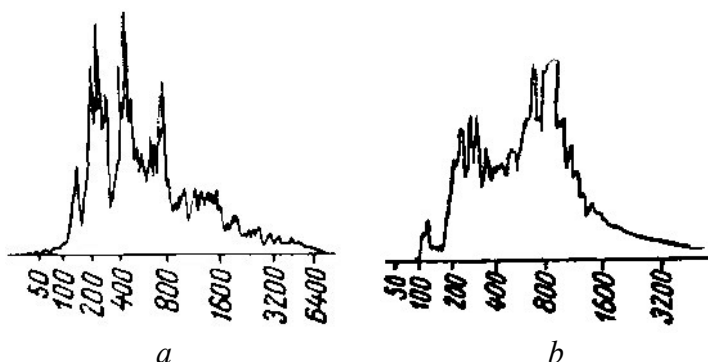


Рис. 5. Частотные характеристики излучения деки рояля (а) и пианино (b).

Итак, специфика звуков фортепиано — это их сложный состав, негармоничность спектра, его ограниченность частотным диапазоном в одну декаду 100-1000 Гц и краткость звучания дискантов. С учетом перечисленного мы и рассмотрим далее особенности фортепианных биений.

В практике настройки используются следующие интервалы: унисоны, октавы, чистые квинты и кварты, большие терции, сексты и децимы, редко — малые терции и сексты. Каждый из этих интервалов обладает некоторым набором свойств, заметно изменяющихся по общему диапазону фортепиано. Рассмотрим их (кроме редко употребляемых малых терций и секст) по порядку.

Настраивая **унисон** в басах и середине диапазона, мы имеем дело не с одним биением, но с целым их «букетом» на всех слышимых частичных тонах спектра. Начиная настройку заметно расстроенного унисона, мы сначала обращаем внимание на биения в основном тоне, но когда они становятся слишком медленными для восприятия (доли герца), наш слух сам переключается на более высокие и быстрые биения на обертонах звука. Если в основном тоне осталось 0,1 б/с (что расслышать уже трудно, и на это требуется много времени, как минимум 10 секунд), то 2-й частичный тон будет уже с частотой 0,2 Гц, 3-й — 0,3 Гц, а 10-й дает 1 б/с, — это уже нетрудно расслышать и остановить («обнулить») ключом. При хороших струнах, постепенно переключая внимание на все более высокие обертоны, можно добиться практически идеальных унисонов. Можно даже сформулировать определение идеально настроенного унисона: если за время звучания струн до его полного затухания не удастся услышать ни одного биения ни в одном, пусть даже самом высоком обертоне — унисон идеален. Нужно только учесть, что чем выше частичный тон, тем острее биения в нем реагируют на малейшее движение ключа. Чувствительность здесь пропорциональна номеру частичного тона.

К сожалению, не всегда этот идеал в принципе достигим. Если обе струны хора хорошие (каждая сама по себе звучит ровно, не давая «собственных» биений), но обладают разной мерой негармоничности, то отклонения частот обертонов от строго гармонического ряда (неизбежные в любой реальной струне) у них будут **разными**. В этом случае, полностью остановив биения, скажем, в 5-м

частичном тоне общего спектра, мы получим, условно говоря, «положительные» биения в более высоких тонах и «отрицательные» — в более низких. Если остановить биения в 6-м и более высоких обертонах, то это приведет только к ускорению биений в первых частичных тонах, а устранение биений в основном тоне и ближайших обертонах будет ускорять биения в верхней зоне спектра.

Чистого унисона в такой паре струн добиться не удастся никогда. В этом случае нужно попытаться найти такую настройку, при которой весь комплекс неустраняемых биений производит наименее неприятное впечатление, например, попробовать поочередно останавливать биения в наиболее слышимых обертонах и выбрать тот вариант, который звучит в целом лучше других. (Еще лучше, конечно, поставить в хор одинаковые струны.)

Таким образом, в принципе невозможно сделать чистыми унисоны на «голых» струнах разной степени негармоничности (кроме самых высоких дискантов, где обертонов нет). То же — в басах, если струны хора навиты немного неодинаково (разная плотность прилегания соседних витков канители друг к другу и к керну струн, разная мера растяжения канители от различающегося натяга ее при навивке, разная длина навитой части струн и т. п.). Поэтому так важно соблюдать для необвитых хоров правило: все три струны — точно одного диаметра. Допустимо в крайнем случае различие диаметров только на один условный номер, т. е. $\pm 0,025$ мм, и то только начиная от 3-й октавы и выше, где обертонов уже мало и поэтому их частотное расхождение почти незаметно. По этой же причине к качеству изготовления навитых басовых струн предъявляются самые высокие требования. Вся авторитетная методическая литература настаивает на том, что если оборвалась одна струна обвитого хора, то менять надо обе, поскольку точно «попасть» в материал керна и канители, а также в технологию изготовления сохранившейся старой струны при изготовлении новой удастся редко.

В октаве звучат одновременно струны двух разных хоров. Нижний звук — это длинная струна, верхний — почти вдвое более короткая (кроме басового регистра, где длины струн даже на октавной дистанции различаются мало, зато сильно разнятся диаметры). Ясно, что мера негармоничности этих струн разная. Тоны совпадения суммарного спектра октавы у нижней струны вдвое более высокие:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
	1		2		3		4		5	...

В силу негармоничности спектра обеих струн полного совпадения частичных тонов не происходит. Складывается та же ситуация, что и в случае унисона немного разных струн. Октава с «обнуленными» биениями в первом тоне совпадения (2:1) даст реальные биения в более высоких тонах (4:2, 6:3 и т. д.). Если остановить биения в тоне 4:2, появится медленное биение на уровне 2:1, а биения в более высоких тонах замедлятся. Как видим, здесь мы также ищем не «абсолютный ноль» биений, а некий оптимум, звучащий наилучшим возможным для данной пары струн образом. Чаще всего, в середине диапазона этот оптимум близок к 0 б/с на уровне 4:2, поскольку медленные биения в первом тоне совпадения (2:1) почти незаметны именно вследствие их медленности, а более высокие тона уже просто слабы, и биения там плохо слышны. Кстати, известные методы проверки качества октавы по равенству биений в большой терции с нижним звуком и большой децимы с верхним (а также нижней кварты и верхней квинты внутри проверяемой октавы) «нацелены» именно на ноль биений в тоне 4:2. (Добавлю в скобках, что получившая в последние годы популярность у настройщиков разных стран темперация Б.Штоппера, базирующаяся на акустически «чистых» дуодецимах, дает, как правило, октавы с нулем биений именно на уровне 4:2.)

Вот данные о биениях, полученные расчетным путем, для октавы $ля^0$ — $ля^1$ двух моделей отечественных пианино:

Модель	б/с	б/с	б/с
пианино	2:1	4:2	6:3
С-5	+ 0,5	0,0	- 2,6
С-16	+ 0,4	0,0	- 2.2

Эти цифры показывают, что попытка остановить биения на уровне 6:3 даст в первом тоне уже достаточно заметные почти 1 б/с, а обнуление биений в тоне 2:1 только ускорит более высокие биения.

Отсюда ясно, что исходная октавная рамка общепринятой области темперирования фортепиано обладает довольно широкой зоной, в пределах которой допустима ее перестройка. От нуля биений на уровне 2:1 до нуля на уровне 6:3 для указанной октавы образуется «зона толерантности» шириной примерно 2-3 цента. Важно иметь в виду, что будучи приемлемой **гармонически** (то есть по критерию почти полной незаметности биений) в пределах всей этой зоны, в **мелодическом** отношении октава «узкая» (0 биений на уровне 2:1) звучит заметно мягче и спокойнее (если не сказать тусклее), чем «широкая» (0 биений на уровне 6:3), в мелодическом звучании которой больше интонационной яркости и напряженности. В зависимости от интонационных предпочтений пианиста и даже программы сегодняшнего концерта настройщик может и должен выбирать ту или иную конкретную величину исходной октавы.

Выше области темперирования (и чем выше — тем вероятнее) октава может оказаться даже вполне чистой (**акустически чистой!**). Чем выше звук, тем меньше в нем обертонов, но если выше 1000 Гц спектр обертонов фортепианного звука не простирается, то выше 2-й октавы (считая по нижнему звуку) «разъезжаться» по частоте в октавном спектре просто нечему: обертоны, теоретически способные к такому «разъезжанию», не слышны. Да и время звучания струн порядка одной секунды уже не позволяет расслышать биения, даже если они и еще присутствуют. Значит, начиная с 3-й октавы, мы сталкиваемся с практически полным исчезновением биений в октавах: здесь уже в нижних звуках октав второй частичный тон (именно он дает биения с основным тоном верхнего звука) слабеет настолько, что расслышать биения почти невозможно. В этой зоне на помощь настройщику приходит его интонационный слух, позволяющий настраивать октавы мелодически. Обычно здесь подключается контроль мелодическими квартами и квинтами, можно пользоваться и другими интервалами для мелодического контроля.

Вернемся в середину диапазона. По мере продвижения вниз от области темперирования ситуация, связанная с негармоничностью обертонов, прогрессивно усугубляется вследствие постоянного роста протяженности спектра обоих тонов октавы и постепенного смещения «центра энергетической тяжести» спектра в его верхнюю зону, где все более слышимыми становятся высокие негармоничные обертоны. В звуках субконтр-, контр- и начала большой октавы прослушиваются обертоны до 30 и более высоких номеров. Исследования Акустической лаборатории фабрики «Красный Октябрь» показали, что уже 13-й — 15-й обертоны здесь звучат примерно на полтона выше гармонического номинала, то есть 16-й частичный тон звука $До_1$ — это уже не $до^2$, а $до\sharp^2$! Еще более высокие и достаточно громкие обертоны завышены еще сильнее.

С другой стороны, основной тон и ближайшие к нему обертоны в спектре басовых звуков вовсе отсутствуют. В струне $До_0$, менее негармоничной, чем $До_1$, с высокими «плохими» обертонами будут совпадать более низкие по номеру, а значит, более гармоничные обертоны, и в результате мы имеем в октаве многоголосный «хор» из 15 и более разночастотных биений. Чистой такую октаву никак не назовешь, и слух мирится с этой какофонией только потому, что все «голоса» этого хора в известной степени маскируют друг друга.

По этой причине настройка басового регистра особенно требует творческого подхода: здесь необходимо не только выбрать, в какой паре обертонов обнулять биения (обычно рекомендуется 6:3), но и суметь расслышать нужный обертон в общем негармоничном звучании. Задача эта схожа с поиском унисона разнонегармоничных струн, но еще сложнее. Кроме поиска наиболее приемлемого звучания каждой октавы в отдельности, нужно позаботиться еще и о единообразии звукового облика всех октав на протяжении регистра. В этом может помочь опора на один из высоких тонов совпадения спектров, который не обнуляется, но имеет хорошо различаемые биения. Частота именно этих биений должна плавно уменьшаться в нисходящей хроматической последовательности октав — навык оценки такого плавного изменения биений у настройщика, как правило, оттренирован на процедуре проверки качества темперации. Важно только в процессе такого контроля не «соскочить» слухом с одного тона совпадения на другой.

У **квинты** также есть определенная «зона толерантности», при перестройке в пределах которой изолированная квинта остается относительно чистой. В квинте тоны совпадения следующие:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...
	1	2		3	4		5	6		7	8	...

Для квинты в области $ля^0$ — $ля^1$ биения на уровне 9:6 находятся уже за пределами слышимой зоны спектра. Даже биения на уровне 6:4 для квинты $ре^1$ — $ля^1$ (1760 Гц) не в каждом инструменте удастся уловить на слух, но в нижней квинте этой области — $ля^0$ — $ми^1$ (и ближайших к ней) они еще хорошо слышны. Биения в этой квинте (рассчитанные для равномерной темперации при исходной октаве с нулевыми биениями на уровне 4:2) в тех же моделях пианино таковы:

Модель	б/с	б/с
пианино	3:2	6:4
С-5	-0,6	-3,7
С-16	-0,55	-3,6

В математической модели РТС эта квинта должна иметь около 0,7 б/с в первом тоне совпадения, с чем наш слух привык мириться и воспринимать ее как чистую. Если расширить такую квинту до + 0,7 б/с, то ее условная «чистота», определяемая по биениям 3:2, останется прежней, а биения на уровне 6:4 не просто замедлятся, но станут положительными с частотой около 0,6 б/с. В середине этой «зоны толерантности» шириной около 4 центов квинта будет звучать в целом еще чище.

Но если для октавы мы вправе выбирать любую ее ширину в пределах всей зоны приемлемого ее звучания, то с квинтой дело обстоит намного строже. Ее ширина четко обусловлена требованием равномерности темперации, и любое отклонение от точного оптимума здесь неизбежно нарушит эту равномерность: расширив любую из квинт, мы будем вынуждены ради замыкания квинтового круга сузить другие, и ни о какой равномерности темперации говорить уже не придется.

За пределами температурной области свойства квинты постепенно изменяются в том же направлении, что и у октавы. Уже в верхней половине центральной (1-й) октавы, как уже сказано, становится ниже порога слышимости тон совпадения 6:4, а к середине 2-й октавы (считая по нижнему звуку квинты) исчезает и тон 3:2, тем самым квинта полностью теряет свои биения и может служить для настройки или контроля только интонационно-мелодически.

В нисходящем направлении в квинтах постепенно растет протяженность спектра, становятся слышимыми все более высокие тона совпадения (9:6, 12:8 и т. д.) со всеми вытекающими из негармоничности струн последствиями, сходными с тем, что было описано для октав басового регистра.

Рассмотрим характер **кварты**. Картина ее спектра такова:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...
	1	2	3		4	5	6		7	8	9	...

Первый тон совпадения 4:3 в пределах температурной октавы $ля^0$ — $ля^1$ оказывается практически единственным слышимым и, соответственно, обуславливающим наличие и частоту биений в кварте. Тон 12:9 не слышен, поскольку здесь он выше уже упомянутой границы фортепианного спектра 1000 Гц. Причина слабости тона 8:6 (1760 Гц для кварты $ля^0$ — $ре^1$) сложнее и связана с аншлагом — отношением длины части рабочего отрезка струны от аграфа до точки удара молотка ко всей длине рабочего отрезка струны. Это отношение в фортепиано для басов и середины диапазона составляет обычно около 1:8. Закон точечного возбуждения струн гласит, что в точке удара на струне образуются только пучности, здесь не может образоваться узел никакого частичного колебания, а значит, 8-й частичный тон, имеющий в точке аншлага узел, теоретически должен отсутствовать в спектре фортепианного звука. Реально он, конечно, присутствует, хотя бы уже потому, что место

удара молотка — не точка, а зона некоторой ширины, и расположено оно не вполне точно на $1/8$ длины рабочего отрезка струны. Тем не менее, 8-й частичный тон звучит в фортепиано заметно слабее других, и кроме того, частота 880 Гц уже близка к верхней границе слышимой зоны фортепианного спектра.

Негармоничность фортепианных струн отражается на свойствах кварты довольно своеобразно. Значения частот биений для кварты mi^0 — $ля^0$ в малогабаритном пианино таковы:

Модель	б/с	б/с
пианино	4:3	8:6
C-16	+ 0,76	– 2,16

Как видим, в этой кварте биения разных уровней имеют разный знак: основные «темперационные» биения 4:3 положительны, то есть достигаются расширением кварты относительно нуля биений на этом уровне. Если же мы почему-либо захотим избавиться от биений уровня 8:6, где они отрицательные, кварту нам придется еще больше расширить, и при этом ее основные биения будут слишком частыми.

К счастью, в пределах области температуры эта особенность спектра фортепианной кварты настройке не мешает, поскольку эти отрицательные биения практически здесь не слышны. Но уже в ближайшем участке необвитых струн ниже $ля^0$ «разнознаковость» биений на этих двух уровнях часто осложняет настройку малогабаритных инструментов: пытаясь замедлить «верхние» биения, мы делаем более частыми «нижние» и наоборот.

Именно по этой причине известный немецкий слепой настройщик Йозеф Никс отказывался настраивать малогабаритные фортепиано. Но нам, простым смертным, все же приходится с такими инструментами работать. И здесь так же, как и с прочими негармоничными совершенными консонансами — унисонами, октавами и квинтами — мы ищем наименее неприятный на слух оптимум и так или иначе находим его, помня о требовании равномерности температуры.

Переход к первым обвитым струнам, значительно менее негармоничным, чем последние «голые», резко меняет характер кварты. Здесь обертоны уже не «разъезжаются», и кварта даже получает некоторую «зону толерантности», которую можно использовать для выравнивания температурных биений в хроматических последовательностях терций и секст.

В более крупных и концертных инструментах особенности фортепианной кварты не так заметны, поскольку в них струны в целом более гармоничны, переход к обвитым струнам смещен к середине большой октавы, мензура струн на переходе рассчитывается, как правило, более тщательно, и нет резкого скачка негармоничности.

В больших терциях число совпадающих обертонов невелико:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...
1	2	3	4	4	5	6	7	8	8	9	10	...

В середине диапазона фортепиано реально слышны только биения на уровне 5:4. Десятый частичный тон нижнего звука терции здесь оказывается слишком высоким. К тому же его «оппонент» — 8-й частичный тон верхнего звука дополнительно ослаблен аншлагом. Поэтому биения в больших терциях, в отличие от квинт и кварт не осложненные дополнительными помехами на верхних этажах суммарного спектра, звучат чисто и отчетливо. Их частоты в пределах малой — середины первой октав легко оцениваются и сравниваются между собой на слух. Не случайно проверка равномерности температуры именно большими терциями оказывается наиболее удобной и эффективной.

Выше середины первой октавы большие терции свое удобство быстро теряют из-за слишком высокой частоты биений. Даже в пределах температурной октавы терция fa^1 — $ля^1$ имеет уже около 14 б/с, еще выше биения сначала сливаются в некую смутно оцениваемую «дрожь», а вскоре и вовсе исчезают ввиду выхода частоты бьющих тонов за пределы верхней границы фортепианного спектра.

При движении вниз от середины диапазона постепенно появляются биения на уровне 10:8, в «звонких» инструментах раньше, в «матовых» позже. Эти биения имеют некратные частоты по отношению к биениям на уровне 5:4, и как правило, уже в середине большой октавы они начинают мешать восприятию основных биений, и чем ниже терция, тем сильнее. Здесь уже будет удобнее перейти к контролю настройки и ее равномерности не терциями, а большими децимами.

Картина спектра **больших децим** такова:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...
	1			2			3		4		5	...

Благодаря «разреженности» суммарного спектра общее звучание децимы воспринимается как более чистое и гармоничное в сравнении с терцией, что позволяет легче выделить слухом нужное биение (5:2) и оценить его частоту. При контроле настройки верхнего звука большие децимы, к тому же, «бьют» вдвое медленнее терций.

С этой точки зрения еще чище оказывается суммарный спектр большой децимы через октаву (**септдецимы**):

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...
				1					2			...

Как видим, в показанной части суммарного спектра этого интервала есть только обертоны нижнего звука и всего два частичных тона верхнего, и именно они образуют хорошо слышимые и легко контролируемые биения с соответствующими обертонами нижнего. Благодаря этому свойству большие септдецимы позволяют даже в малогабаритных негармоничных инструментах достаточно точно оценить равномерность настройки вплоть до самых низких басов. Однако и здесь некратная частота биений 10:2 по отношению к 5:1 может затруднять работу настройщика.

Не менее полезными большие септдецимы оказываются и в верхней части диапазона. Более медленные и отчетливые, чем в обычных децимах, биения в септдецимах позволяют уверенно и точно проконтролировать равномерность настройки, как правило, вплоть до середины третьей октавы, и в этом отношении они, на мой взгляд и слух, превосходят все остальные консонансы.

В заключение рассмотрим **большие сексты**, нередко также используемые для контроля равномерности темперации. Вот их суммарный спектр:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...
	1		2	3		4		5	6		7	...

По свойствам их биений (частота, слышимость, их изменения по диапазону) большие сексты близки большим терциям, поэтому все сказанное о последних справедливо и по отношению к первым. Использование больших секст в процессе настройки как середины, так и краев диапазона может быть аналогичным использованию больших терций. Отдельного упоминания заслуживает их комбинация с большими терциями, пригодная для «сверхточного» контроля равномерности темперации в пределах начальной октавы и в ближайших к ней участках диапазона (больше вниз, чем вверх от середины). Следующий нотный пример (рис. 6) иллюстрирует такую возможность. Как видим, в этой последовательности частоты растут максимально плавно. Для удобства запоминания этой последовательности обратите внимание, что каждая терция вместе со следующей секстой образуют доминант-секундаккорд.



Рис. 6. Последовательность интервалов для окончательного контроля темперации.

Подведем итоги. Мы выяснили следующее:

1. Звуки фортепиано, кроме самых высоких дискантов, сложные, и чем ниже звук, тем шире его спектр. Частоты обертонов не кратны частоте основного тона, и чем выше обертон, тем сильнее он завышен относительно своего кратного значения (негармоничность).
2. Спектр фортепианных обертонов ограничен частотами приблизительно 100 – 1000 Гц. Если «бьющие» обертоны звуков интервала оказываются за пределами этой полосы частот, биения становятся практически неслышимыми.
3. В любом из консонансов, используемых для настройки и ее контроля, от середины диапазона и ниже слышно два и более **разных** биения на разных совпадающих частичных тонах суммарного спектра интервала. Закономерность для любого интервала проста: чем ниже расположен интервал, тем богаче в нем «букет» разных биений. Негармоничность фортепианных струн приводит к тому, что частоты этих разных биений не кратны друг другу.
4. Свойства, звуковой облик и приемы использования при настройке для любого из рабочих и контрольных интервалов заметно меняются по диапазону фортепиано. Знать характер и причины этих изменений и умело применять эти знания в работе будет полезно каждому фортепианному мастеру.