СПРАШИВАЙТЕ - ОТВЕЧАЕМ

Вопрос с форума

Кто-нибудь разъясните про негармоничность обертонов? То, что удалось накопать в интернете, расплывчато. Одни говорят, что настройке она мешает, другие, что нет. Сам ее тоже может и встречал, но никак не получается узнать конкретно. Не хватает литературы. А может и хватает, только найти не могу. Подскажите, если кто знает.

А. Яновский

ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ НЕГАРМОНИЧНОСТИ ОБЕРТОНОВ

на периодичность изменения частот биений

в хроматических последовательностях одноимённых интервалов

Невозможно вообразить сколько-нибудь просвещённого настройщика, который бы не знал, что теоретически биения в любом интервале равномерно-темперированного строя обязаны быть чаще, чем в одноимённом интервале, расположенном по звукоряду ниже, и что при восходящем или нисходящем исполнении в хроматической (по полутонам) последовательности любых одноимённых интервалов (разумеется, кроме октав) слух настройщика должен улавливать в их звучании плавное регулярное повышение или понижение темпов биений. Однако практически добиться этого хотя бы в одном виде интервалов, предположим, только в квинтах, – это задача высочайшей сложности для многих и часто практически непреодолимая для некоторых. А если при этом ещё и попытаться одновременно получить то же самое в последовательностях кварт, терций, сексст, то для подавляющего большинства настройщиков такое и вовсе становится проблемой.

Настройщики думающие, склонные во всём доискиваться причин, пытались найти разумное объяснение неудачам в попытках наделить вышеописанными регулярностями все без исключения виды интервалов и в итоге сошлись на том, что виной всему естественная негармоничность обертонов. Вот как пишет об этом известный теоретик в области музыкальной акустики, опытный практик в области настройки фортепиано, создатель Школы настройщиков фортепиано «Квинта-2» В. Г. Порвенков в книге АКУСТИКА И НАСТРОЙКА МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ. Издательство «Музыка», Москва, 1990 (*стр. 98, 2-й абзац*):

«Некоторые настройщики практикуют настройку всего диапазона и особенно темперацию терциями и секстами, а не обычными квинтами, квартами с привлечением также терций и других интервалов. Возражение здесь сводится к тому, что, во-первых, в терциях и секстах биения дают высокие, а следовательно, и более слабые по амплитуде гармоники, их биения слышны относительно хуже. Но главное в другом. Более высокие гармоники имеют и бóльшую величину негармоничности обертонов, они больше отклоняются, причём без особой регулярности, то есть случайным образом (*Подчёркнуто мной. Авт.*), и если выравнивать биения в таких интервалах, прогрессивно их увеличивая с повышением положения интервалов, то мы можем получить нерегулярное увеличение биений в последовательностях квинт и кварт, биения в которых гораздо лучше слышны. Следовательно, настраивая только терциями и секстами, обязательно будем получать хорошо заметные на слух нерегулярности в последовательностях квинт и кварт. Целесообразнее оставлять нерегулярности в терциях и секстах (естественно, стремясь свести их к минимуму), отдавая предпочтение сохранению регулярности изменения биений в последовательностях квинт и кварт».

В моей книге НАСТРОЙКА ФОРТЕПИАНО В КОНТЕКСТЕ ИСТОРИИ И ТЕОРИИ МУЗЫКАЛЬНОГО СТРОЯ (*см. раздел сайта «Литература»*), на стр. 173 я выражаю аргументированное сомнение в корректности утверждения, что биения в терциях и секстах слышны хуже, чем в квинтах и квартах, но сейчас речь не о том. Напрямую к теме данной статьи относятся выделенный

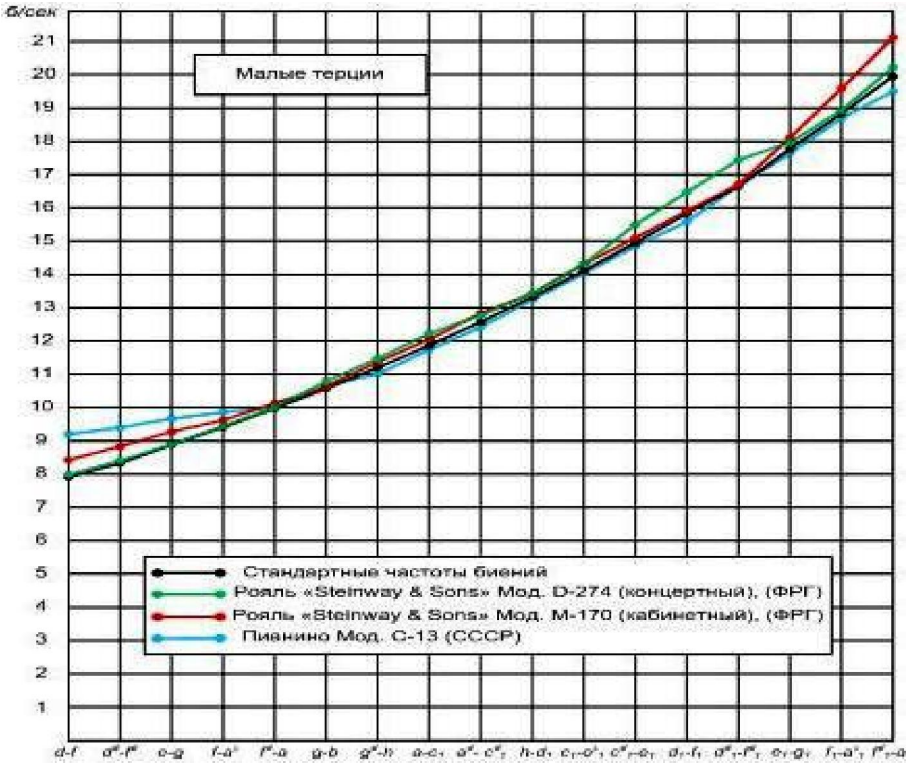
подчёркиванием фрагмент цитаты и последующие выводы из содержащегося в этом фрагменте утверждения, которое я встретил не только у В. Г. Порвенкова, но часто слышу и от других настройщиков. И меня крайне заинтересовали их основания и, главное, их истинность, потому что мне знакомы примеры, в том числе из собственной практики, свидетельствующие как раз об обратном.

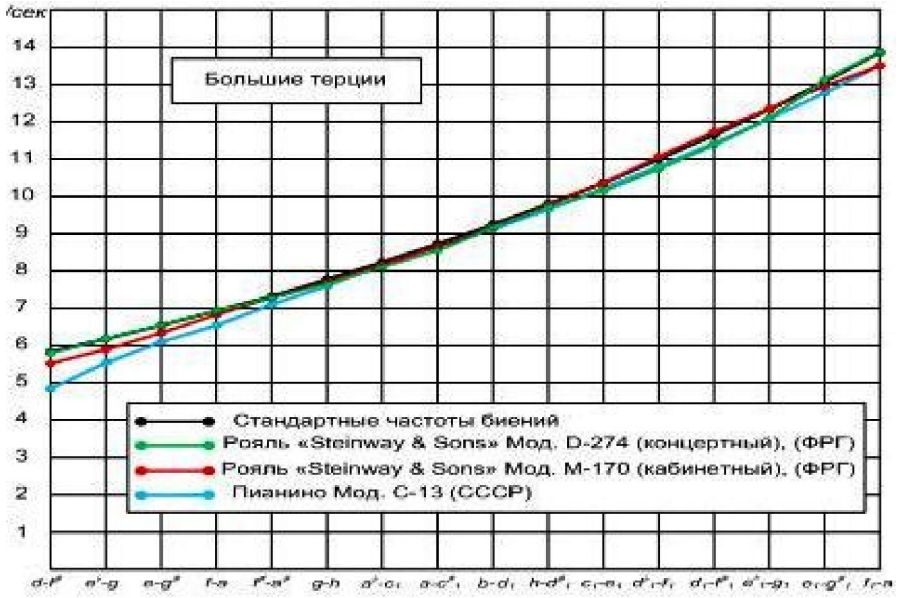
Разделяя убеждение французского исследователя Жоффруа Сент-Илера в том, что нет ничего практичнее хорошей теории, я поискал в теоретических исследованиях ответ на вопрос, действительно ли естественная негармоничность обертонов служит объективным препятствием на пути к цели добиться регулярности изменения частот биений во всех видах музыкальных интервалов. И результаты исследований открыли гораздо большее, чем я ожидал.

Не буду утомлять читателя методиками расчётов и описаниями промежуточных результатов. Кому это интересно, пусть свяжется со мной через «Контакты» на данном сайте, и я с удовольствием и готовностью отвечу на любые вопросы в пределах моей компетенции и предоставлю любые расчёты и иные материалы. А здесь я предлагаю вниманию читателя конечные продукты – графики, демонстрирующие величины отклонений частот биений от стандартных значений во всех видах совершенных (квинты и кварты) и несовершенных (терции и сексты) консонансов, которыми традиционно ведётся настройка и контролируется качество темперации. Расчёты намеренно выполнены на параметрах мензур фортепиано трёх классов – малогабаритном пианино и двух роялях, кабинетном (средние габариты) и концертном (полные габариты). Все величины рассчитаны от стандартной частоты ля первой октавы 440 герц.

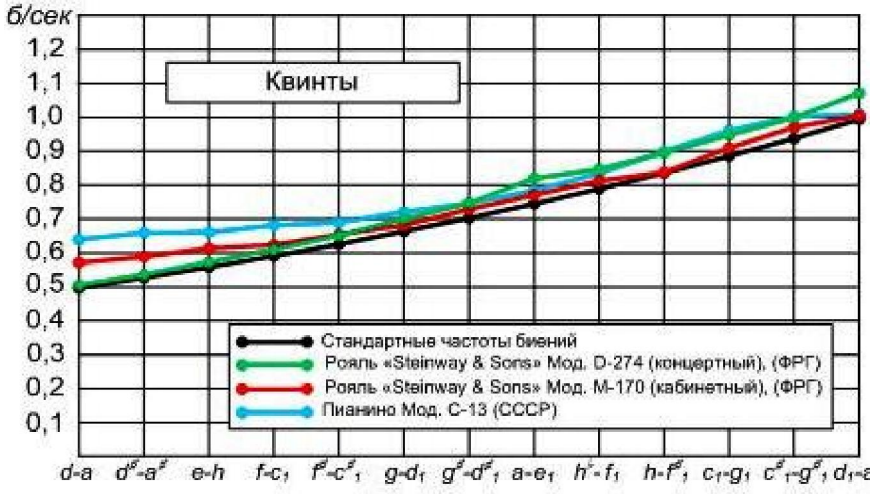
При рассмотрении графиков квинт и кварт пусть читателя не удивляет бóльшее, чем на графиках терций и секст, визуальное отклонение кривых от кривой стандартных («идеальных») частот биений, а также относительно друг друга. Если в графиках квинт и кварт применить ту же цену деления ординаты, что и для терций и секст, 1 биение в секунду, кривые практически сольются. Поэтому цена деления 0,1 биения в секунду применена исключительно с целью показать величины отклонений от «идеальных» и «разброса» относительно друг друга частот биений для инструментов каждого класса. К тому же

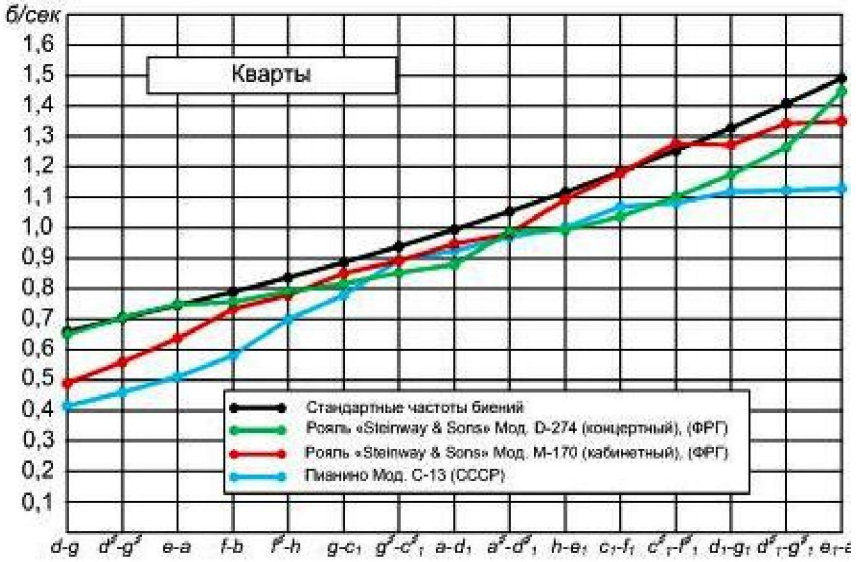
следует иметь в виду, что все отклонения выявляются только теоретически, а в реальном звучании они на слух неразличимы.

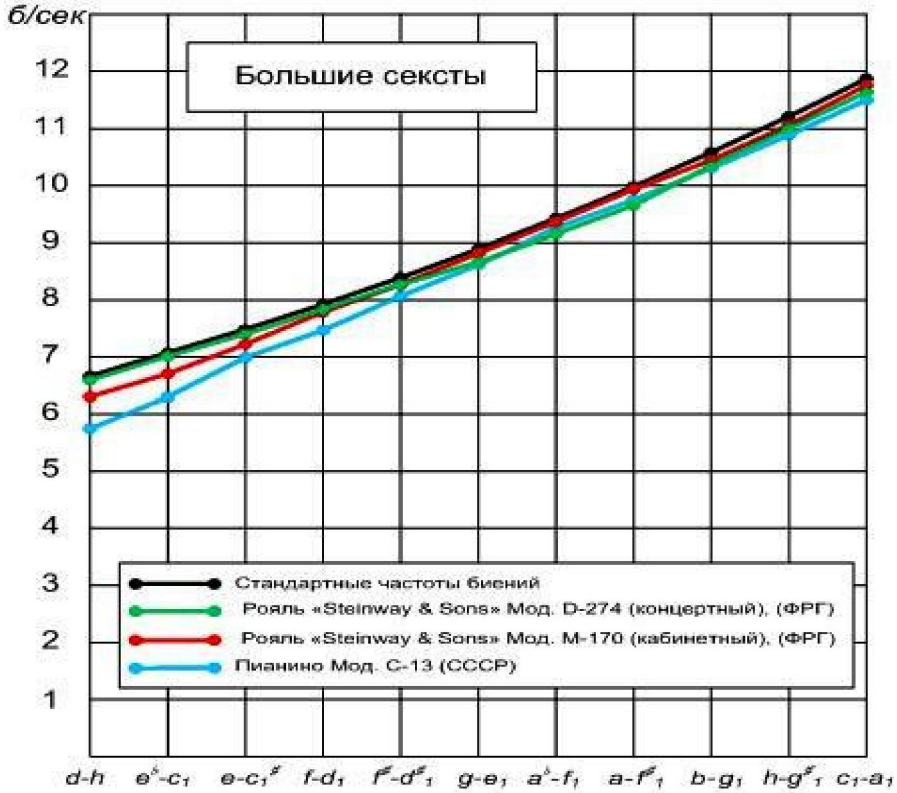




Примечание 1: Здесь и далее, на других графиках, следует обратить внимание на несколько бóльшие, чем в других местах, отклонения фактических частот биений от стандартных «идеального» строя, в области нисходящих и восходящих интервалов, в образовании которых участвуют звуки от струн 30-35 хоров. Далее в статье это явление будет разъяснено.


б/сек
Квинты
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
Стандартные частоты биений
Рояль «Steinway & Sons» Мод. D-274 (концертный), (ФРГ)
Рояль «Steinway & Sons» Мод. M-170 (кабинетный), (ФРГ)
Пианино Мод. С-13 (СССР)
d-a d#-a# e-h f-c1 f#-c#1 g-d1 g#-d#1 a-e1 h♭-f1 h-f#1 c1-g1 c#1-g#1 d1-a


б/сек
Кварты
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
Стандартные частоты биений
Рояль «Steinway & Sons» Мод. D-274 (концертный), (ФРГ)
Рояль «Steinway & Sons» Мод. M-170 (кабинетный), (ФРГ)
Пианино Мод. С-13 (СССР)
d-g d#-g# e-a f-b f#-h g-c1 g#-c#1 a-d1 a#-d#1 h-e1 c1-f1 c#1-f#1 d1-g1 d#1-g#1 e1-a


б/сек
Большие сексты
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Стандартные частоты биений
Рояль «Steinway & Sons» Мод. D-274 (концертный), (ФРГ)
Рояль «Steinway & Sons» Мод. M-170 (кабинетный), (ФРГ)
Пианино Мод. С-13 (СССР)
d-h e♭-c1 e-c1# f-d1 f#-d#1 g-e1 a♭-f1 a-f#1 b-g1 h-g#1 c1-a1

Примечание 2: Квинты и кварты – суть обращения друг друга, поэтому заметьте: практически все отклонения в квинтах происходят в сторону повышения, а в квартах – в сторону понижения.
То же самое мы увидим, сопоставив графики малых терций и больших секст, тоже обращений друг друга.

Теперь, как и было обещано, представим разъяснение того, почему наиболее значительные отклонения мы наблюдаем в интервалах, в образовании которых участвуют звуки от струн 30-35 хоров.

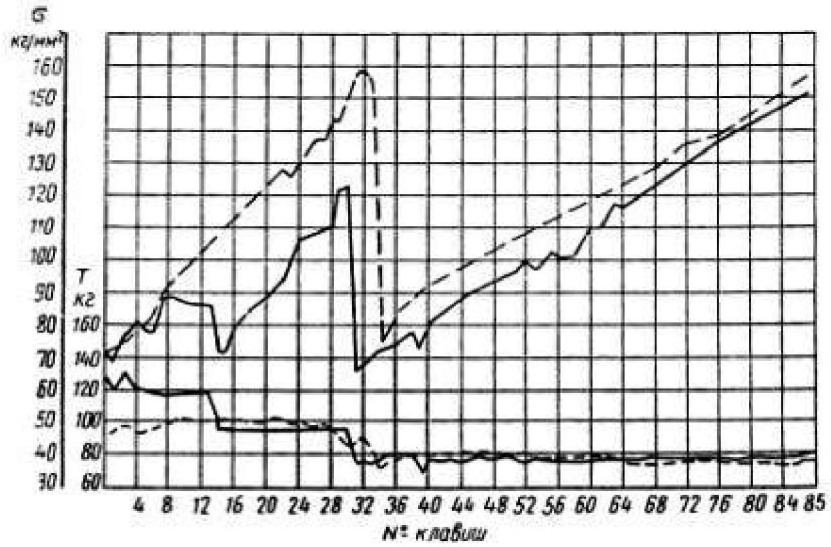


Рис. 25. График изменения натяжений и напряжений струн

Приведённый выше график (Рис. 25) заимствован из книги Н. А. Дьяконова РОЯЛИ И ПИАНИНО. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО. Издательство «Лесная промышленность», Москва, 1966, стр. 49. На нём мы видим две пары ломаных кривых, где сплошная линия выражает расчётные величины, выполненные на параметрах мензуры малогабаритного пианино модели С-13, а прерывистая – на пианино модели С-5. Нижняя пара линий и соответствующая им шкала ординат, обозначенная латинской буквой «*T*», демонстрируют величины натяжения струн в хорах, а верхняя пара линий и шкала, обозначенная греческой буквой «σ», – величины напряжения в материале этих струн. Здесь мы видим в области 30-35 хоров резкое, скачкообразное снижение напряжения в материале струн,

которое, как известно, отзывается повышением негармоничности обертонов в производимых этими струнами звуках.

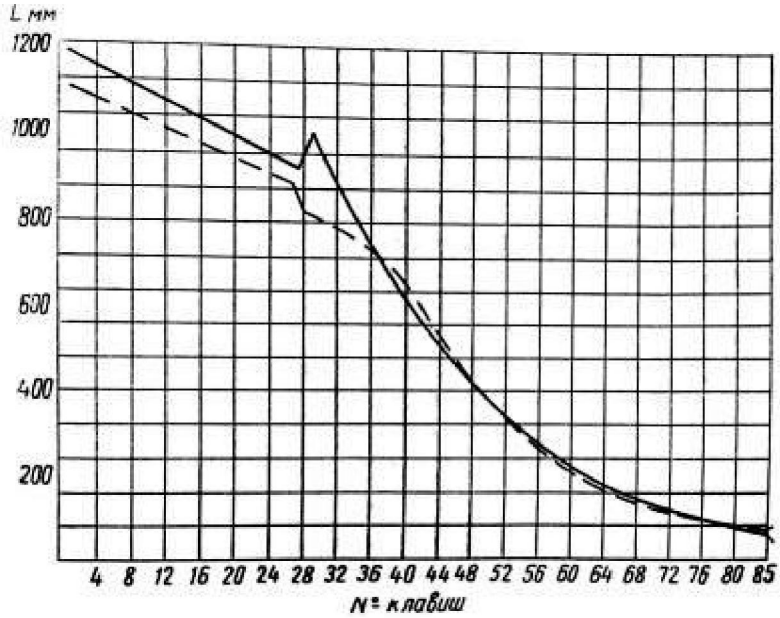


Рис. 26. График изменения длины струн пианино

Фортепианостроители находили различные способы противодействия этому явлению. В частности, на пианино С-13, параметры мензуры которого включены в исследования, они с целью снижения негармоничности обертонов компенсировали этот скачок в напряжении (см. Рис. 26 из той же книги Н. А. Дьяконова) ответным скачкообразным увеличением длины струн: *си* большой октавы – 899,5мм, *до* малой октавы – 890,5 мм, *до-диез* малой октавы – 930(!) мм и т. д., что действительно значительно снизило негармоничность, но не до уровня, проявляемого в других звуках. Отсюда и остаточная повышенная негармоничность обертонов в звуках хоров 30-35 (в том числе ещё и вследствие перехода от обвитых струн к гладким), и на её основе часто́ты биений в интервалах с участием этих звуков, «выбивающиеся» из регулярности.

Конечно же, вследствие физико-механических свойств струн и ограничений в конструктивных особенностях фортепиано, вынуждающих к достижению компромисса между желаемым и приемлемым, получение регулярности равномерной, то есть совпадающей с идеальной, принципиально невозможно. Но, рассматривая графики, мы во всех случаях обнаруживаем следующее.

Во-первых, на каждом из графиков всякий интервал, расположенный по звукоряду выше, имеет частоту биений более

высокую, чем одноимённый интервал, расположенный ниже.

Во-вторых, на всех графиках отклонение частот биений от «идеальных» настолько минимально, что с точки зрения возможностей слухового контроля его можно признать практически ничтожным. Вследствие этого не будет большой ошибкой назвать наблюдаемые на графиках относительные регулярности просто регулярностями.

В-третьих, эти регулярности распространяются на все без исключения интервалы (на графиках мы имеем дело с совершенными и несовершенными консонансами, но если построить графики диссонансов, мы увидим на них то же самое), они ни в чём не противоречат друг другу и, следовательно, все их можно соединить в материале одного и того же строя.

Выводы:

1) все утверждения о принципиальной невозможности добиться регулярности изменения темпов биений в последовательностях всех интервалов строя – это не более чем миф; добиваться и можно, и нужно!

2) в ходе настройки регулярность достижима не только в последовательностях всех без исключения интервалов, но и на инструменте любого класса.

На этом тему данной статьи можно считать исчерпанной. Но вполне уместен вопрос: что с этим делать дальше? Поэтому давайте немного поразмышляем.

В любой системе темперации качество строя традиционно оценивают на слух по его благозвучию. В системах мезотонических темпераций, применявшихся преимущественно в XVI-XVIII вв., мажорные трезвучия (одна натуральная и другая незначительно темперированная терции в границах незначительно темперированной квинты) звучат лучше, чем в равномерно-темперированном строе. Но если взять по-максимуму то, что возможно для строя равномерно-темперированного, то его благозвучие окажется жёстко и напрямую связанным с уровнем соответствия его фактических частотных параметров «идеальным» параметрам его же собственной математической модели. Иными словами, он тем благозвучнее, чем более фактические часто́ты его тонов, обертонов и производных от них биений приближены к соответствующим расчётным частотам тонов, обертонов и производных от них биений в его же собственной математической модели. А поскольку математическая модель

есть выражение максимальной точности, то получается, что чем выше у реального строя уровень точности, тем благозвучнее строй. Благозвучие, как мы знаем, невозможно выразить ничем иным, кроме как средствами самого́ благозвучия. Но средств выражения точности предостаточно: в теоретических описаниях это математические величины, а в пространстве звучания – эталонные тоны (камертон или звук, принятый за эталонный) и эталонные темпы биений (периодические динамические пульсации заданной частоты, память о которых хранит в своём воображении опытный настройщик или способен выдавать в виде периодических прерывистых звуков специально предназначенный для этих целей прибор).

Всё вышесказанное даёт нам возможность чётко сформулировать критерии оценки и определения уровней качества равномерно-темперированного строя.

Неудовлетворительный: звуки хроматической октавы в строе формально присутствуют, но октавы акустически не чисты – в их звучании ощущается неприятная на слух неустойчивость или прослушиваются явные биения; темпы биений в последовательностях одноимённых темперированных интервалов всех видов имеют явно нерегулярный характер (хотя в некоторых регулярность может и проявляться, сплошь или фрагментарно, но при «плохих» октавах это всё равно не имеет никакого значения).

Удовлетворительный: октавы акустически чисты (не имеют явных прослушиваемых биений); темпы биений в последовательностях совершенных консонансов имеют относительно регулярный характер (признак значительных, но допустимых, отклонений фактических частот биений от расчётных с поправкой на негармоничность обертонов), вследствие чего темпы биений в последовательностях несовершенных консонансов нерегулярны, но нерегулярность сведена к минимуму.

Хороший: октавы акустически чисты; темпы биений в последовательностях всех темперированных интервалов имеют относительно регулярный характер.

Отличный: октавы акустически чисты; темпы биений в последовательностях всех темперированных интервалов имеют безотносительно регулярный характер (то есть фактические часто́ты биений максимально приближены к расчётным с поправкой на негармоничность обертонов). Такое качество строя хорошо проявляет себя в процессе завершающего слухового контроля при проигрывании в хроматической последовательности диссонирующих аккордов (например, уменьшенных септаккордов, каждый из которых имеет в своей структуре три малых терции, два тритона и уменьшенную септиму); при этом, во-первых, никакой звук не «торчит», то есть не выбивается из созвучия, а наоборот, все звуки образуют удивительное гармоническое единство; во-вторых, слух будет улавливать явную регулярность изменения темпоритмических характеристик звучания. Это таким образом проявляют себя метабиения, темпы которых будут ускоряться при восходящем исполнении аккордов и замедляться при нисходящем.

В заключение рассмотрим, какие из технологий настройки фортепиано обеспечивают возможность достигать высшего качества строя и дают для этого необходимые средства.

Очевидно, что совершенно не годится для этого настройка интонированием, где один звук пристраивают к другому на основе вкусовой оценки красоты и, следовательно, правильности созвучия. Также не годится для этого настройка отдельными звуками, которую осуществляют с помощью набора камертонов или с использованием тюнера, особенно недорогого и, соответственно, несложного, не позволяющего вводить режим автоматических коррекций с целью учёта поправок на негармоничность обертонов.

Первым и основным признаком пригодности технологий для вышеупомянутой цели является настройка по биениям. Но весь набор таких технологий следует разделить надвое. И тогда в одном пакете окажутся технологии, где настройщик, настраивая интервал по биениям, должен руководствоваться личным внутренним субъективным чувством их темпа. Такие технологии в подавляющем большинстве способны дать строй удовлетворительного качества, но при определённых условиях позволяют достигать и хорошего, а иногда даже отличного, как это получается у цитируемого мною ранее В. Г. Порвенкова, который, параллельно с описанием в книге квинто-квартового

метода с попутным контролем темперации по сходству темпов биений в производных параллельных терциях и секстах, разработал и успешно применяет технологию настройки, которую он называет «терц-секст» и которую передаёт своим ученикам и близким ему коллегам по цеху. Однако в этом методе высшее качество строя даётся далеко не всем, потому что условия его достижения при установке темпов биений с опорой на внутреннее чувство достаточно непросты. Во-первых, нужно иметь и хорошо развить тончайшие слуховые способности в области темпоритмического слуха, чтобы устанавливать в настраиваемых интервалах темпы биений хотя бы с точностью до половинных долей. Во-вторых, следует наработать немалый опыт, позволяющий надёжно закрепить в памяти хотя бы тоже с точностью до половинных долей базовые эталонные темпы для исходных интервалов, с которыми затем сверяют темпы биений в сопоставляемых с ними интервалах производных. Однако, если принять во внимание тот факт, что внутреннее субъективное чувство темпа крайне неустойчиво само по себе, да ещё и фатально зависимо от сиюминутного психофизического состояния настройщика, то следует признать, что при применении описываемых технологий достижение отличного качества строя справедливо будет отнести к категории счастливых случайностей, возникающих вследствие стечения целого ряда благоприятных обстоятельств, в числе которых большинству настройщиков следует отвести самое почётное место ситуации «повезло угадать!» В другом пакете окажется технология, в которой настройщик использует независимый, объективный и во всех случаях бесстрастный и беспристрастный генератор эталонных темпов. Читатель уже наверняка понял, что я говорю о методе синхронизации, автором и апологетом которого являюсь. Тут у настройщика, создающего равномерно-темперированный строй, возникнут определённые сложности, если он вместо строя отличного или хорошего вознамерится создать удовлетворительный или, тем более, неудовлетворительный. От него потребуются либо талант противоположного свойства (то есть полная неспособность синхронизировать темп биений в интервале с эталонным темпом, выдаваемым прибором), либо умысел, возможно с желанием над кем-нибудь подшутить.

Москва, май 2011 года