

АЛЕКСАНДР ЯНОВСКИЙ

Методическое пособие по настройке фортепиано методом синхронизации



Субконтрактава Контрактава Большая октава Малая октава Первая октава Вторая октава Третья октава Четвёртая октава Пятая октава

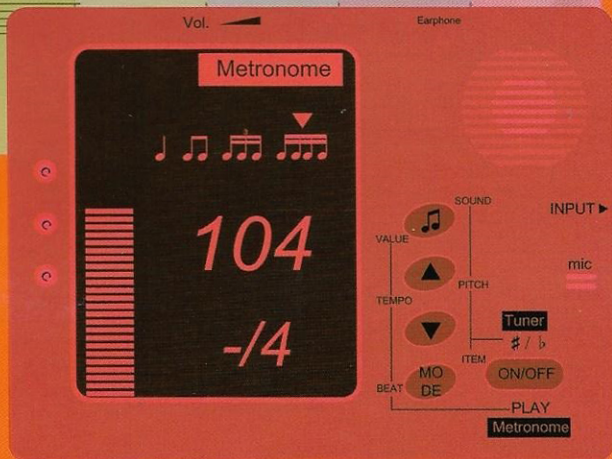


Ре₂ Фа₂ Ля₂ До₃ Ми₃ Соль₃ Си₃ Ре₃ Фа₃ Ля₃ До₄ Ми₄ Соль₄ Си₄ ре₄ фа₄ ля₄ до₅ ми₅ соль₅ си₅ ре₅ фа₅ ля₅ до₆ ми₆ соль₆ си₆ ре₆ фа₆ ля₆ до₇ ми₇ соль₇ си₇ ре₇ фа₇ ля₇ до₈ ми₈ соль₈ си₈ ре₈ фа₈ ля₈ до₉ ми₉ соль₉ си₉

С₂ D₂ E₂ F₂ G₂ A₂ H₂ C₃ D₃ E₃ F₃ G₃ A₃ H₃ C D E F G A H c d e f g a h c' d' e' f' g' a' h' c'' d'' e'' f'' g'' a'' h'' c''' d''' e''' f''' g''' a''' h''' c'''' d'''' e'''' f'''' g'''' a'''' h''''

C0 D0 E0 F0 G0 A0 H0 C1 D1 E1 F1 G1 A1 H1 C2 D2 E2 F2 G2 A2 H2 C3 D3 E3 F3 G3 A3 H3 C4 D4 E4 F4 G4 A4 H4 C5 D5 E5 F5 G5 A5 H5 C6 D6 E6 F6 G6 A6 H6 C7 D7 E7 F7 G7 A7 H7 C8 D8 E8 F8 G8 A8 H8

ТЕХНОЛОГИЯ ДОСТУПНАЯ КАЖДОМУ



А. В. Яновский

НАСТРОЙКА
ФОРТЕПИАНО
МЕТОДОМ
СИНХРОНИЗАЦИИ

*Технология,
доступная каждому*



Методическое пособие



Москва
ООО Издательство «КОМПОЗИТОР»
2010

ББК 85.31
Я-64

Яновский А. В.
Я 64 Настройка фортепиано методом синхронизации. *Технология, доступная каждому*. Методическое пособие. – М.: ООО Издательство «Композитор», 2010. – 88 с.

ISBN 5-85285-342-9

А $\frac{4905000000-015}{082(02)-10}$ без объявл.

ББК 85.31

ISBN 5-85285-342-9

© Яновский А. В., 2010 г.
© ООО Издательство «Композитор», 2010 г.

ПРИРОДА МУЗЫКАЛЬНОГО ЗВУКА

Удар фортепианного молотка переводит струну из состояния покоя в состояние вибрации, в продолжение которой каждая частица тела струны совершает колебательные движения маятникового типа. Эти движения представляют собой периодическое чередование замкнутых единичных циклов, каждый из которых складывается из отклонения любой частицы тела струны от положения покоя сначала в одном направлении, затем в направлении противоположном, и, наконец, возврата к положению покоя. Такие циклы одинаковы по длительности и именуются *периодами*. Частота колебаний измеряется в герцах (*Гц*), по имени исследователя колебательных процессов — немецкого учёного-физика Г. Герца. Количество герц означает количество периодов колебаний в секунду.

Расхожие словосочетания «струна поёт», «гармонь поёт» и т. п. — это не более чем поэтические выражения: ни струна, ни музыкальный инструмент не поют и петь не могут. Фортепианная струна колеблется практически беззвучно. В процессе колебаний она стремится раскачать опоры, меж которых туго натянута. Одна из опор — *аграф*, *клангштабик* или *каподастр* — раскачиванию поддаётся неохотно и едва-едва, а другая, которую именуют *штегом*, — гораздо охотнее, потому что для того и предназначена.

Штег — это брус из плотной древесины, на который струны опираются в своём натяжении, слегка перегибаясь через него. Штег прочно прикреплён к поверхности тонкого и большого по площади щита из особой резонансовой древесины, именуемого декой. Суммарное натяжение струн пианино — свыше 16 тонн, рояля — свыше 20. Попутное давление струн на штег, а через штег на деку, — свыше 500 кг. Поэтому дека всегда пребывает в напряжённом состоянии и чутко реагирует на малейшее внешнее воздействие. Колеблющаяся струна раскачивает штег, передавая ему свои колебания в мельчайших деталях. Штег в свою очередь раскачивает деку, передавая полученные колебания ей. Дека тоже колеблется, попеременно выгибаясь своими плоскостями то в одну, то в другую сторону. С каждым колебанием она со стороны выгиба сталкивает воздушные частицы в тончайший слой уплотнённого воздуха, а с противоположной стороны, стороны прогиба, создаёт тончайший слой воздуха разрежённого. И так слой за слоем попеременно.

Каждые два слоя воздушных частиц, уплотнённый и разрежённый, вместе образуют фронт и тыл одной *динамической волны*. Волны в форме многослойных сфер, разрастающихся со скоростью свыше 300 метров в секунду, распространяют по воздушной среде во все стороны динамические колебания воздушных частиц, где каждая частица, получив энергию толчка, толкает в свою очередь соседку и, передав полученную энергию ей, возвращается на место, чтобы тут же испытать новый толчок. Если на пути распространения динамических волн оказывается слуховой орган (в первую очередь мы имеем в виду человеческое ухо), волны механически воздействуют на его барабанную перепонку. Придя областью фронта, они вдавливают её вовнутрь, преодолевая естественное внутреннее давление в организме, а затем, придя областью тыла, позволяют ей под воздействием всё того же внутреннего давления выпятиться наружу. Таким образом, в колебательный процесс вовлекается и слуховой орган. Нервы мгновенно преобразуют колебания барабанной перепонки в биоэлектрические импульсы, передают эти импульсы в мозг, и тот, наконец, фиксирует ощущение, которое человек выражает словами: «Я слышу звук». Следовательно, звук возникает только в мозгу. Это реакция психики на механическое воздействие внешней среды на слуховой орган.

Если представить струну в виде вереницы жёстко связанных между собой частиц её тела и проследить за траекториями их перемещения в колебаниях, обнаружится следующая закономерность. Предположим, колебания исследуемой струны в продолжение одного периода сложились в следующую конфигурацию:



Рис. 1

Более глубокие исследования непременно покажут, что за время того же периода дважды возникала ещё и такая конфигурация:

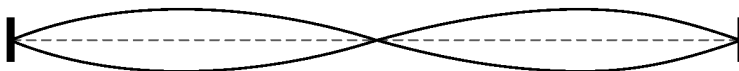


Рис. 2

Трижды — ещё и такая:

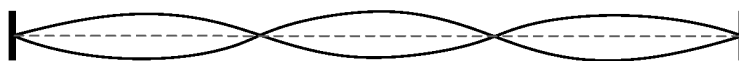


Рис. 3

Четырежды — такая:

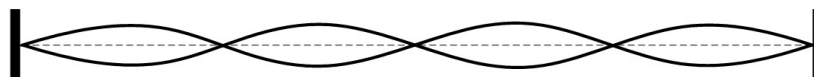


Рис. 4

И так далее до бесконечности. Это — конфигурации так называемых *простых колебаний*, совокупность которых составляет сложные колебания струны. Их называют *модами колебаний* (от лат. *modus* — «способ, образ действия»). Звенья, из которых состоит любая простая конфигурация, называют *пучностями*, а стыки между звеньями — *узлами*.

Колебания подчинены следующей математической закономерности. Если частоту простых колебаний с единственной пучностью принять за 1, то частоты простых колебаний с 2, 3, 4 и более пучностями будут выражены числами натурального математического ряда 1, 2, 3, 4 и т. д., а соотношения между частотами составят 1:2:3:4 и т. д. Колебания графически принято изображать в виде волнообразных кривых линий на прямой горизонтальной линии — оси времени. Количество «волн» на определённом отрезке оси есть графическое выражение частоты колебаний, от которой зависит высота производимого звука. Чем чаще волны, тем выше звук. А размер «волн» по вертикали — это размах колебаний, то есть их амплитуда, от величины которой зависит мощность звука.

Поскольку каждое отдельное простое колебание есть часть общего сложного колебания, простые колебания называют ещё и частичными, а также *гармониками* (G). Колебания струны представляют собой наложение друг на друга огромного количества гармоник. Каждая гармоника имеет номер, совпадающий с количеством пучностей в соответствующей этой гармонике конфигурации колебаний. Гармоника простого колебания с единственной пучностью — это G_1 , с двумя пучностями — G_2 , с тремя пучностями — G_3 и т. д. Частоты гармоник также принято выражать в герцах. Если, например, частота G_1 100 Гц, то частота G_2 той же струны непременно составит 200 Гц, частота G_3 — 300 Гц и т. д. G_1 — это гармоника так называемого *основного тона*. Она определяет частотные характеристики всех остальных гармоник, благодаря чему мы слышим звуки как различные по высоте. Остальные гармоники участвуют в образовании призвуков, сопутствующих основному тону и именуемых *обертонами*.

Таким образом, единичный звук — это целый «хор» обертонов, включая основной тон (он же — нулевой обертоном). Обертоны, входя в спектр звука, формируют его *тембр*. Обычно слух воспринимает звук обобщённо, но если настроить его особым образом, то в общем звучании некоторые обертоны можно даже различить; особенно в спектре басовых звуков. Чем обертонов больше и чем ярче их звучание, тем объёмнее, «сочнее», красивее звук. Но обертоны ценны не только как «ингредиенты» тембра. Для настройки их роль гораздо более значительна.

МУЗЫКАЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ В ЕВРОПЕЙСКОЙ МУЗЫКЕ

Если взять струну и, прикасаясь к ней кончиком пальца в разных местах, возбуждать её колебания по любую сторону от места прикосновения, то в одних случаях прикосновение пальца будет препятствовать возникновению звука, а в других случаях колеблющийся участок струны со стороны возбуждения будет производить отчётливое звучание и давать чистый тон. Исследования причин не-возникновения или возникновения этого тона покажут, что он возникает исключительно при условии, если палец прикасается к струне в месте её деления на какое-либо целое количество частей, то есть 2, 3, 4 и т. д. Это — природный феномен. Звуки, полученные таким образом от частей струн, музыканты-струнники (например, гитаристы) используют для украшения музыки. Эти звуки называют *флажолетами*, потому что по тембру они схожи со звучанием продольной деревянной флейты, именуемой по-французски «*flageolet*».

Всякие два звука, вне зависимости от того, одинаковы ли они по высоте или нет, звучат ли они вместе или друг за другом, образуют между собой так называемый *музыкальный интервал*. Флажолетные тоны, звуча совместно со звуком струны целиком, или же друг с другом, тоже образуют различные музыкальные интервалы, которые в музыкальной акустике называют *натуральными* (от лат. *natura* — «природа»).

Первым выдающимся европейским исследователем природы музыкальных звуков и их соотношений в интервалах был древнегреческий философ и математик Пифагор Самосский (VI век до н. э.), заложивший своими трудами основы европейского музыкознания. Используя явление флажолетов и сопоставляя длины рабочего участка струны целиком и её участков, дающих флажолеты, он, составил для всех интервалов европейской музыкально-звуковой системы пропорции, которые, после дополнения его последователями, приобрели следующий вид: прима — 1/1; малая секунда — 16/15; большая секунда — 9/8; малая терция 6/5; большая терция — 5/4; кварта — 4/3; тритон — 7/5; квинта — 3/2; малая секста — 8/5; большая секста — 5/3; малая септима — 16/9; большая септима — 15/8; октава — 2/1 (интервалы приведены в порядке возрастания их размерностей). Интервальные пропорции стали впоследствии называть *интервальными коэффициентами*.

Частота колебаний струны, следовательно, высота производимых ими звуков зависит от четырёх физических факторов. При условии равенства каких-либо трёх факторов из четырёх более высокий звук будет давать та струна из двух, которая либо тоньше, либо короче (разумеется, мы имеем в виду только её рабочий участок, то есть тот, который колеблется), либо сильнее натянута, либо изготовлена из менее плотного материала. Пользуясь этим, вообразим две струны, одинаковые по всем четырём параметрам и, следовательно,

дающие два одинаковых по высоте звука. Одна струна имеет неизменяемую длину рабочего участка, а у другой его можно постепенно уменьшать посредством перемещения специально установленного под струной подвижного порожка, и тем самым повышать производимый этой струной звук.

Если в моменты образования натуральных интервалов, когда подвижной порожек будет оказываться в точках деления струны на целое количество частей, сопоставить конфигурации колебаний обеих струн и изобразить их графически, получится *рис. 5* (см. след. стр.).

На нём мы видим, что в каждом интервале пучности конфигураций одинаковы по величине, но различны по количеству. Каждой конфигурации соответствует гармоника, номер которой совпадает с количеством в ней пучностей. Частоты обеих гармоник в каждом интервале совпадают, по причине чего такие гармоники именуют совпадающими. Соотнесение количества пучностей в каждом интервале соответствует пифагоровым интервальным коэффициентам.

АКУСТИЧЕСКИЕ ФЕНОМЕНЫ

Однако вспомним, что в колебаниях каждой струны есть и другие гармоники. И они тоже заслуживают внимания. В природе колебаний существует явление, которое физики называют захватом частоты. Если два различных колебания имеют равные или кратные друг другу частоты, соотношения которых могут быть выражены простыми числами, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 и т. п., то явление захвата частоты мгновенно совмещает эти колебания по фазам. И тогда равночастотные колебания становятся *синхронными*, а разночастотные — *синтактными*, то есть совпадающими по тактам (например, в колебаниях с соотношением 1:2, предположим, 100 и 200 Гц, каждое второе колебание из 200 будет совпадать с каждым первым колебанием из 100). Когда в общем пространстве распространения звука две струны колеблются синхронно или синтактно, все или кратные волны от них непременно совпадают фронтами и тылами. В результате сложения плотностей фронтов и разреженностей тылов волн сила их воздействия на слуховой орган удваивается, отчего слух в моменты совпадения волн воспринимает слышимый звук с удвоенной громкостью.

Но представим, что произойдёт, если частоты колебаний двух струн составят, например, 100 и 99 Гц. В этом случае первая пара звуковых волн совпадёт фронтами и тылами, вызвав на слух удвоение громкости; в очередной паре одна волна отстанет от другой на $\frac{1}{100}$ сек.; в следующей паре отставание составит $\frac{2}{100}$, в следующей — $\frac{3}{100}$ и т. д. Таким образом, уплотнённость фронта отставшей волны будет всё более совмещаться с разреженностью тыла опередившей волны, отчего мощность воздействия на слуховой орган

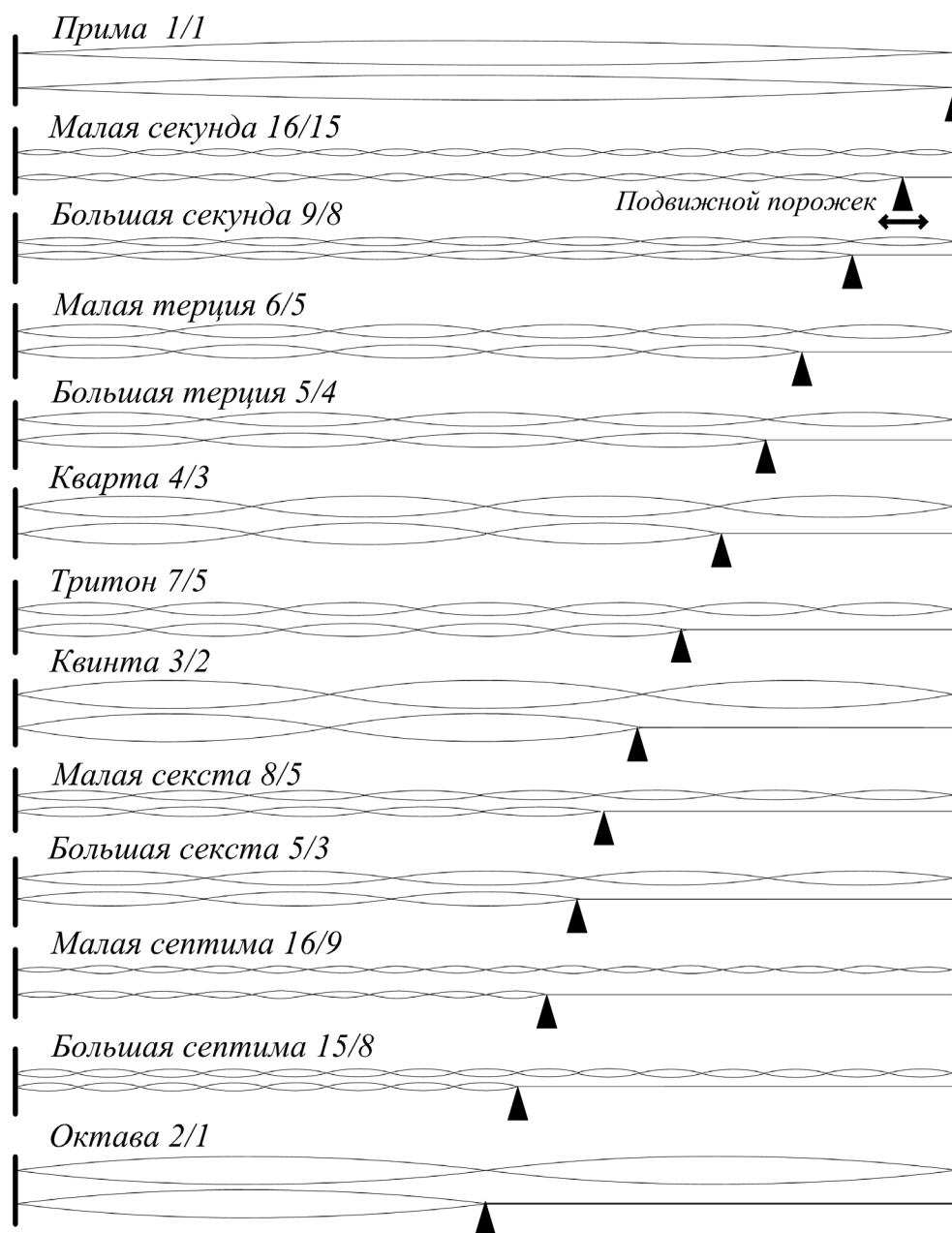


Рис. 5

будет плавно убывать и через $\frac{50}{100}$ ($\frac{1}{2}$) сек. убудет вовсе. А далее, вследствие всё того же отставания одной волны от другой, фронты и тылы волн начнут сближаться и через $\frac{1}{2}$ секунды снова полностью совпадут. Таким образом, в течение первой полусекунды слух будет воспринимать плавное понижение громкости звучания от максимума до минимума, а в течение второй полусекунды — плавное повышение её от минимума до максимума. Несложно посчитать, что если частоты колебаний струн будут составлять 100 и 98 Гц, то слух в течение секунды воспримет ослабление и усиление громкости дважды, при частотах 100 и 97 Гц — трижды и т. д. Описанный феномен периодических изменений громкости звучания, воспринимаемых слухом как динамические пульсации, в музыкальной акустике называют *биениями*, а их количество в секунду — *частотой биений* (например: 0,5 б/сек.; 1,4 б/сек.; 6,93 б/сек. и др.). То, как биения с той или иной частотой воспринимает слух, мы зовём *темпом*.

Получается, что единичный звук насквозь пронизан биениями от несоответствия частот его собственных гармоник. Воспринимает ли их слух? В некоторых случаях да. Например, когда обертоны негармоничны (с этим явлением нам ещё предстоит ознакомиться), и ещё когда темпы биений находятся в достаточно ограниченном диапазоне: от 1 биения в несколько секунд до приблизительно 40 б/сек., потому что более частые биения звучат для слуха уже слитно, то есть неразличимо. В остальных случаях биения в единичном звуке слух не воспринимает. Во-первых, по причине их полной гармоничности. А именно: при частоте G_1 , предположим, 100 Гц, темп биений между G_1 и G_2 (200 Гц) или G_2 (200 Гц) и G_3 (300 Гц), или между прочими гармониками с соседними номерами, составляет 100 б/сек. и потому полностью совпадает с частотой G_1 100 Гц; темп биений между G_1 (100 Гц) и G_3 (300 Гц) или G_5 (500 Гц) и G_7 (700 Гц) и т. д. составляет 200 б/сек. и потому полностью совпадает с частотой G_2 200 Гц и т. д. Во-вторых, биения с частотой, выше воспринимаемой на слух, ведут себя подобно звуковым волнам и образуют самостоятельные тоны, частоты которых синхронно и синтактно совпадают с частотами всех обертонов, то есть «растворяются» в них. Эти самостоятельные тоны, возникающие из слитных на слух биений, — ещё один акустический феномен, называемый в музыкальной акустике «разностные комбинационные тоны» (их частоты образуются из разностей частот образующих их тонов или обертонов). Биения в виде различимых на слух пульсаций и комбинационные тоны в виде самостоятельных тонов образуются и между всеми гармониками единичного звука, и между всеми гармониками различных звуков. Биения и комбинационные тоны и сами образуют биения и комбинационные тоны второго, третьего и других уровней, которые мы назовём *метабиениями* и *метатонами* (от греч. *meta* — «через, после, за»). Метабиения хорошо прослушиваются в звучании аккордов, в интервалах которых существуют яркие биения с различными темпами. Темпы метабиений и метатонов тоже равны разностям темпов образующих их биений и комбинационных тонов.

РАЗЛИЧЕНИЕ БИЕНИЙ ПО ТЕМПАМ И УРОВНЯМ

Комбинационные тоны как звучащие самостоятельно встречаются в очень редких случаях — когда, например, два одноголосных музыкальных инструмента с одинаковыми тембрами (например, кларнеты) достаточно громко исполняют какой-нибудь интервал из разновысоких звуков. Тогда в их совместном звучании отчётливо проступает третий тон. Польза знания об этом заключается разве что в избегании возникновения комбинационных тонов, потому что в случае их негармоничности (несозвучности или созвучности, которая в данный момент не нужна) они «загрязняют» созвучия. Зато биения в виде динамических пульсаций служат единственной опорой для настройщика при точной настройке интервалов на слух. Например, чтобы настроить два звука абсолютно одинаково, нужно сделать их не только одинаковыми по высоте, но и добиться, чтобы биения в их совместном звучании полностью отсутствовали (нулевые биения — это тоже биения!) Или, наоборот, чтобы настроить два звука с заданной разницей по высоте, необходимо сделать так, чтобы в их совместном звучании присутствовали биения, темп которых соответствует заданной разнице. Однако и единичный звук, и любое созвучие пронизаны множеством биений. Поэтому необходимо определиться, о каких из них идёт речь. Для этого вернёмся к паре одинаковых струн, под одной из которых установлен подвижной порожек.

Пока рабочие участки струн одинаковы, оба звука от них настолько одинаковы, что сливаются в единый звук, в котором полностью отсутствуют биения. Интервал между такими звуками называют *примой*, а также нулевым интервалом (дистанция между звуками равна нулю), а также *унисоном* (от лат. *unus* — «один» и *sonus* — «звук»). Однако едва подвижной порожек будет сдвинут с места, как в совместном звучании обеих струн появятся биения, а звуки частично потеряют прежде абсолютное интонационное сходство, поскольку один звук остался прежним, а другой теперь звучит чуточку выше. То есть интервал стал явно не нулевым, а прима он или уже какой-то другой интервал, зависит от того, в контексте какой звуковысотной системы рассматривать возникшую ситуацию. Поскольку нас интересует исключительно европейский музыкальный строй, то в нём возникший интервал — пока ещё прима, только уже не натуральная, а расширенная. (Так как звуки стали разновысокими, нам в дальнейшем гармоники G_1 и G_1 удобнее обозначать как G_1^n и G_1^o , гармоники G_2 и G_2 как G_2^n и G_2^o и т. д., где индекс «*n*» или «*o*» указывает на принадлежность данной гармоники к нижнему или верхнему звуку).

Итак, если частота G_1^n составляет, предположим, 100 Гц , а частота G_1^o 101 Гц , то между одноимёнными (с одинаковыми номерами) гармониками обоих звуков биения имеют следующие темпы: G_1^n и G_1^o — 1 б/сек. , G_2^n и G_2^o — 2 б/сек. , G_3^n и G_3^o —

3 б/сек. и т. д. Все эти биения кратны в соотношении 1:2:3:4... и т. д., следовательно, они синтактны и укладываются в совместный, самый высокий по частоте темп, какой только способен различить слух. Если в нулевом интервале унисоны были между всеми одноимёнными гармониками, то теперь вместо них возникли биения. Значит ли это, что унисонов в интервале больше не осталось? Между одноимёнными гармониками — да. Но если интервал исследовать, то унисоны обнаружатся между гармониками разноимёнными. Например, при постоянной частоте G_1^n 100 Гц и изменяемой частоте G_1^e 101,01 Гц унисон существует между G_{100}^n и G_{99}^e , при частоте G_1^e 101,02 Гц между G_{99}^n и G_{98}^e , при частоте G_1^e 101,03 Гц между G_{98}^n и G_{97}^e , при частоте G_1^e 101,042 Гц между G_{97}^n и G_{96}^e и т. д. Рассматриваемый интервал — пока ещё прима. Граница, до которой расширяемый интервал прима, а после которой он уже малая секунда, пролегал по середине полутона, где частота G_1^e составляет 102,93 Гц, а унисон — между G_{36}^n и G_{35}^e . Определить эту границу не существует иного способа, кроме как вычислить математически (как это сделать, будет рассказано далее). Но настроить интервал шириной в $\frac{1}{2}$ полутона вполне возможно. Для этого нужно расслышать биения между G_1^n и G_1^e и найти способ установить их нужный темп, который в нашем примере составляет 2,93 б/сек. Расслышать эти биения и отличить их от других несложно. Во-первых, у них самый медленный темп. Во-вторых, чем меньше номера гармоник, тем биения между ними звучат ярче.

Когда повышаемый звук пересечёт межинтервальную границу, интервал перестанет быть расширенной примой и превратится в суженную малую секунду, а унисон по мере её постепенного расширения будет «подниматься» по парам гармоник со всё меньшими номерами. Когда он установится между совпадающими G_{16}^n и G_{15}^e , малая секунда превратится из суженной в натуральную с интервальным коэффициентом $\frac{16}{15}$. Однако унисона между этими гармониками мы уже не услышим по причине, которая вскоре станет понятна. По мере дальнейшего повышения «подвижного» звука натуральная малая секунда превратится в расширенную, затем обернётся суженной большой секундой, которая, в свою очередь, превратится в натуральную с унисоном между G_9^n и G_8^e , затем в расширенную и т. д., и т. п.

Последовательные изменения ситуации нам удобнее всего рассмотреть на *таблице № 1*, рассчитанной от частоты основного тона примы (G_1^n) 100 Гц. Здесь просматриваются акустические характеристики всех 12-ти натуральных интервалов (кроме примы) на глубину первых шестнадцати гармоник. Сплошные линии между частотами гармоник означают биения, темпы которых находятся в пределах слухового восприятия. Прерывистыми линиями обозначены биения с темпами, которые по яркости находятся за пределами восприятия на слух. Величины частот биений указаны над линиями (некоторые неточности в сотых долях не имеют значения, так как они — следствие действия правил округления чисел в системе десятичных дробей). Линии с нулевыми обозначениями, соединяющие обозначения частот гармоник в серых прямоугольниках, означают унисоны.

Табл. 1. АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАТУРАЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Номера гармоник	Малая секунда 16/15	Большая секунда 9/8	Малая терция 6/5	Большая терция 5/4	Кварты 4/3	Тритон 7/5
№1	100 — 867 — 106,67	100 — 125 — 112,5	100 — 20 — 120	100 — 25 — 125	100 — 33,33 — 133,33	100 — 40 — 140
№2	200 — 13,34 — 213,34	200 — 25 — 225	200 — 40 — 240	200 — 50 — 250	200 — 66,66 — 266,66	200 — 80 — 280
№3	300 — 20 — 320	300 — 37,5 — 337,5	300 — 60 — 360	300 — 75 — 375	300 — 100 — 400	300 — 120 — 420
№4	400 — 26,68 — 426,68	400 — 45 — 480	400 — 80 — 480	400 — 100 — 500	400 — 133,33 — 533,33	400 — 160 — 560
№5	500 — 33,36 — 533,35	500 — 67,5 — 562,5	500 — 120 — 600	500 — 150 — 625	500 — 166,66 — 666,66	500 — 200 — 700
№6	600 — 40 — 640	600 — 100 — 700	600 — 160 — 720	600 — 175 — 750	600 — 200 — 800	600 — 240 — 840
№7	700 — 746,69	700 — 125 — 787,5	700 — 200 — 840	700 — 250 — 875	700 — 266,66 — 933,33	700 — 300 — 980
№8	800 — 853,36	800 — 150 — 900	800 — 240 — 960	800 — 300 — 1000	800 — 333,33 — 1066,67	800 — 360 — 1120
№9	900 — 960,03	900 — 187,5 — 1012,5	900 — 300 — 1080	900 — 375 — 1125	900 — 400 — 1200	900 — 420 — 1260
№10	1000 — 1066,7	1000 — 225 — 1125	1000 — 400 — 1200	1000 — 450 — 1250	1000 — 500 — 1333,33	1000 — 540 — 1400
№11	1100 — 1173,4	1100 — 275 — 1237,5	1100 — 500 — 1320	1100 — 550 — 1375	1100 — 600 — 1466,67	1100 — 660 — 1540
№12	1200 — 1280	1200 — 337,5 — 1350	1200 — 600 — 1440	1200 — 625 — 1500	1200 — 700 — 1600	1200 — 780 — 1680
№13	1300 — 1386,7	1300 — 400 — 1462,5	1300 — 800 — 1560	1300 — 750 — 1625	1300 — 800 — 1733,33	1300 — 840 — 1820
№14	1400 — 1493,4	1400 — 475 — 1575	1400 — 1000 — 1800	1400 — 875 — 1875	1400 — 900 — 1866,67	1400 — 960 — 1960
№15	1500 — 1600	1500 — 550 — 1687,5	1500 — 1200 — 1800	1500 — 1000 — 2000	1500 — 1000 — 2000	1500 — 1080 — 2100
№16	1600 — 1706,7	1600 — 637,5 — 1800	1600 — 1440 — 1920	1600 — 1125 — 2000	1600 — 1100 — 2133,33	1600 — 1200 — 2240
Номера гармоник	Квинта 3/2	Малая секста 8/5	Большая секста 5/3	Малая септима 16/9	Большая септима 15/8	Октава 2/1
№1	100 — 150	100 — 160	100 — 166,67	100 — 177,78	100 — 187,5	100 — 200
№2	200 — 300	200 — 320	200 — 333,34	200 — 355,56	200 — 375	200 — 400
№3	300 — 450	300 — 480	300 — 500	300 — 533,34	300 — 562,5	300 — 600
№4	400 — 600	400 — 640	400 — 666,68	400 — 711,12	400 — 750	400 — 800
№5	500 — 750	500 — 800	500 — 833,34	500 — 888,9	500 — 937,5	500 — 1000
№6	600 — 900	600 — 960	600 — 1000	600 — 1066,7	600 — 1125	600 — 1200
№7	700 — 1050	700 — 1120	700 — 1166,7	700 — 1244,5	700 — 1312,5	700 — 1400
№8	800 — 1200	800 — 1280	800 — 1333,33	800 — 1422,2	800 — 1500	800 — 1600
№9	900 — 1350	900 — 1440	900 — 1500	900 — 1600	900 — 1687,5	900 — 1800
№10	1000 — 1500	1000 — 1600	1000 — 1666,7	1000 — 1777,8	1000 — 1875	1000 — 2000
№11	1100 — 1650	1100 — 1760	1100 — 1833,4	1100 — 1955,6	1100 — 2062,5	1100 — 2200
№12	1200 — 1800	1200 — 1920	1200 — 2000	1200 — 2133,4	1200 — 2250	1200 — 2400
№13	1300 — 1950	1300 — 2080	1300 — 2166,7	1300 — 2311,1	1300 — 2437,5	1300 — 2600
№14	1400 — 2100	1400 — 2240	1400 — 2333,4	1400 — 2488,9	1400 — 2625	1400 — 2800
№15	1500 — 2250	1500 — 2400	1500 — 2500	1500 — 2666,7	1500 — 2812,5	1500 — 3000
№16	1600 — 2400	1600 — 2560	1600 — 2666,7	1600 — 2844,5	1600 — 3000	1600 — 3200

Количество переходных ситуаций от одного интервала к другому бесконечно, но продемонстрировать характер перемен несложно, проследив за любой гармоникой. Возьмём, к примеру, гармонику № 5 нижнего звука (G_5^n). В малой секунде между нею и G_5^e биения с частотой 33,35 б/сек.; в большой секунде частота G_5^e возросла, биения ускорились до 62,5 б/сек. и вышли за пределы слухового восприятия; в малой терции уже достаточно возросла частота G_4^e и в пределы слухового восприятия вошли биения между G_5^n и G_4^e , которые в предыдущем интервале находились за пределами слухового восприятия, потому что частота G_4^e была ещё недостаточно высока; в большой терции (опять же за счёт дальнейшего роста частоты G_4^e) между G_5^n и G_4^e возник унисон; в кварте (всё по той же причине) между G_5^n и G_4^e возникли 33,33 б/сек.; в тритоне эти биения ускорились и вышли за пределы слухового восприятия; в квинте они ускорились ещё сильнее; далее к моменту образования малой сексты достаточно возросла частота G_3^e и в пределы слухового восприятия вошли биения между G_5^n и G_3^e (33,33 б/сек.), которые в предыдущем интервале были ещё за этими пределами по причине недостаточной частоты G_3^e ; в большой сексте частота G_3^e ещё больше возросла и между G_5^n и G_3^e установился унисон и т. д.

Ещё до знакомства с таблицей мы познакомились с расширенной примой и присутствием в её звучании множества синтактных биений, сливающихся в единый темп и имеющих «высокую плотность», поскольку в организации этих биений принимает участие огромное количество пар гармоник, образующих «слои» биений на различных звуковых планах (ближнем, среднем, дальнем и т. п.). В натуральной малой секунде «плотность» биений ниже, потому что «слоёв» воспринимаемых биений здесь всего 6. Но здесь мы тоже сталкиваемся с единым темпом, потому что темпы 6,67; 13,34; 20; 26,66; 33,33 и 40 синтактны в соотношении 1:2:3:4:5:6 и тоже укладываются в общий темп 40 б/сек. Аналогичную картину «кооперации» биений в общий темп мы обнаружим во всех остальных интервалах, за исключением квинты и октавы, где биения в пределах слухового восприятия отсутствуют полностью.

КАТЕГОРИЗАЦИЯ ИНТЕРВАЛОВ ПО УДОБСТВУ ИХ ТОЧНОЙ НАСТРОЙКИ

В интервалах есть и другие акустические различия. В частности, биения в обеих секундах, малой терции, тритоне, малой сексте и обеих септимах синтактны, а в большой терции, кварте и большой сексте синхронны, что отражается на характере звучания. Синтактные биения дают темп ритмизированный. Например, в малой терции каждое первое биение усилено вследствие наложения на темп 40 б/сек. темпа 20 б/сек. и потому играет роль сильной доли, тогда как каждое второе биение

не усилено и играет роль слабой доли. В других интервалах ритмизация сложнее. Синхронные биения не ритмизированы, и потому темп у них монотонный. В ритмизированных темпах яркость звучания биений нарастает «волнами» по мере возрастания и убывания силы долей, а в синхронных каждое биение — сильная доля, и потому звучат они гораздо более чётко, жёстко и определённо.

Следует также обратить внимание на то, что различные по темпам биения и унисоны расположены на различных звуковых планах. Одни к слуху «ближе», другие от него «дальше». Например, темпы биений в малой терции и тритоне одинаковы, но, согласно таблице № 1, в малой терции на ближнем плане 20 б/сек, а на более дальнем 40 б/сек., а у тритона наоборот. Поэтому звучание тритона слух воспринимает как более беспокойное.

Из анализа акустических характеристик интервалов напрашивается вывод, что настроить натуральный интервал несложно; нужно всего лишь добиться в процессе настройки установления унисона в его совпадающих гармониках, контролируя на слух обнуление биений между ними. Поэтому очень важно, насколько унисон близок к слуху, то есть сколько «слоёв» фоновых биений находится «поверх» него и «заслоняет» его от слуха в момент его установления. Благодаря таблице мы видим, что в квинте и октаве их нет вовсе, поэтому в них и унисон, и биения в совпадающих гармониках, предшествующие его установлению, прослушиваются предельно отчётливо; в кварте и большой терции «слоёв» два, а в большой сексте один, они достаточно «прозрачны», и в них и унисон, и биения в совпадающих гармониках перед его установлением тоже прослушиваются достаточно отчётливо; в малой терции, тритоне и малой сексте количество «слоёв» больше, то есть биения «плотнее», что прослушивание затрудняет, однако не делает его совсем невозможным. В обеих секундах и септимах «оболочки» биений настолько плотны и непрозрачны, а унисоны расположены на столь дальнем плане, что возможность их прослушивания практически исключена.

Казалось бы, унисон в совпадающих гармониках и биения в тех же гармониках, предшествующие его установлению, служат единственным и самым надёжным средством обеспечения точности интервала при настройке его на слух. С этой точки зрения наиболее пригодными интервалами для настройки их по унисонам и биениям в совпадающих гармониках являются октавы и квинты, за ними следуют кварты, далее идут большие терции и большие сексты, и замыкают перечень «полупригодные» малые терции, тритоны и малые сексты. Секунды и септимы настраивать таким образом нельзя.

Однако есть и другая система категоризации интервалов по основанию «чувствительности» их к деформациям. Под деформациями условимся понимать любое отклонение интервалов от натуральной размерности (их сужение или расширение). При деформациях унисоны в совпадающих гармониках исчезают, уступая место биениям.

В таблице акустических характеристик натуральных интервалов все интервалы построены от общего нижнего звука с частотой Γ^n , 100 Гц. Если

этот звук понизить, предположим, на $0,5 \text{ Гц}$, то в совпадающих гармониках всех интервалов вместо унисонов появятся биения, но частоты их будут различны. Поскольку различие в частотах для нас очень важно, приведём их величины в порядке возрастания: прима — $0,5 \text{ б/сек.}$; октава — 1 б/сек. ; квинта — $1,5 \text{ б/сек.}$; кварта — 2 б/сек. ; большая терция — $2,5 \text{ б/сек.}$; большая секста — $2,51 \text{ б/сек.}$; малая терция — 3 б/сек. ; тритон — $3,5 \text{ б/сек.}$; малая секста — 4 б/сек. . Вполне очевидно, что обнулить 4 биения в секунду неизмеримо легче, чем 1. К тому же при установлении унисона с одной и той же величиной погрешности точность интервала с 4 б/сек. будет в 4 раза выше, чем в интервале с 1 б/сек. . Другое дело, что расслышать биения в совпадающих гармониках малой сексты неизмеримо сложнее, чем примы или октавы. Если оценить в баллах яркость биений в совпадающих гармониках и по этому основанию расположить интервалы тоже по возрастающей, мы получим те же интервалы, но уже в обратном порядке.

Наложение обеих систем категоризации друг на друга даёт основания для оценки удобства точной настройки интервалов на слух. Здесь на первом месте большие терции и большие сексты, за ними идут малые терции и малые сексты, далее тритоны, затем кварты, затем квинты. Замыкают перечень октавы и примы.

Далее нам придётся оперировать наименованиями звуков и соответствующих им нот, струн и клавиш, поэтому познакомимся с одним из вариантов их буквенных обозначений, «привязанных» для удобства понимания и запоминания к фортепианной клавиатуре (см. *рис. 6*).

Звуковой диапазон фортепиано (как, впрочем, и любого другого музыкального инструмента) разделён на октавы по звукам C (*до*), но делить его можно и по другим звукам, сохраняя за ними принадлежность к октавам, разделённым по звукам C . Например, в октаве $a-a_1$ звуки a , b и h принадлежат к малой октаве $c-h$, а звуки $c_p, c_p^\#, d_p, d_p^\#, e_p, f_p, f_p^\#, g_p, g_p^\#$ и a_1 — к первой октаве c_1-h_1 .

ПРОБЛЕМА СОРАЗМЕРНОСТИ НАТУРАЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Итак, если настроить 12 последовательных акустически чистых (то есть без биений) пифагорических (то есть с коэффициентом $3/2$ по Пифагору) квинт, то 12 настроенных ходов «втянут» в состав гаммы звукоряда полный набор из 12 звуков, образующих между собой полный набор уже известных нам интервалов, включая октаву. И тогда схематически звукоряд приобретает форму замкнутого круга (*рис. 7*), в котором ходы квинтами от любого исходного тона приводят к тому же исходному тону и замыкают звукоряд на нём.

*ФОРТЕПИАННАЯ КЛАВИАТУРА
Деление звукового диапазона на октавы и связь клавиш с нотными
и буквенными обозначениями музыкальных звуков*

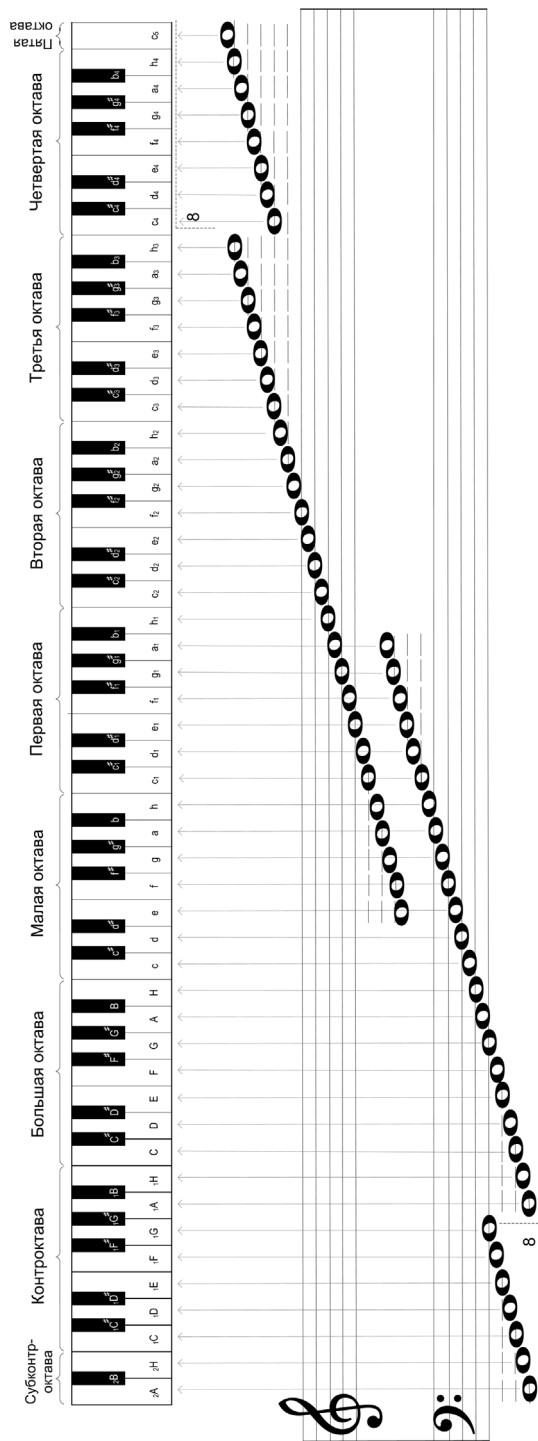


Рис. 6

Вышеизложенное порождает иллюзию полной готовности к настройке фортепиано. Ведь достаточно настроить по камертону исходный звук, построить от него 12 последовательных квинт, а затем октавными ходами распространить полученные звуки на весь звуковой диапазон фортепиано — и дело сделано! Тем более что унисоны не так уж и сложно построить в любых интервалах, особенно в октавах и квинтах, где никакие биения не мешают от- лично их прослушивать.

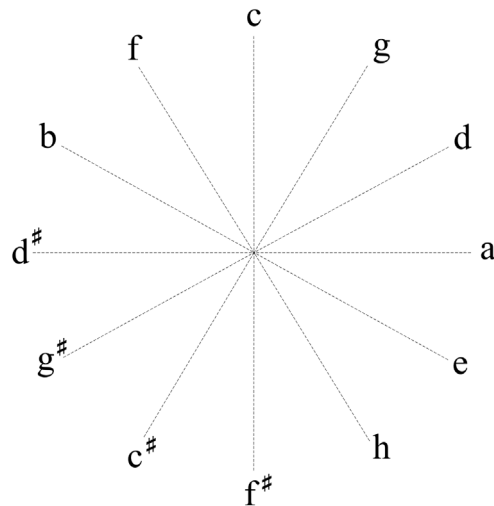


Рис. 7

Но всякая попытка реализовать этот замысел обречена на провал. И настройка тем гарантированнее зайдёт в тупик, чем точнее (то есть чем акустически чище) будут настроены квинты. Свидетельством тупика станет то, что последний звук на 12-м ходу, который по логике вещей должен совпасть по высоте с исходным звуком, с ним не только не совпадёт, а окажется значительно выше; то есть октава не «сойдётся». А если, во имя «схождения» октавы, в качестве замыкающего оставить исходный звук, то в звучании последней квинты будут прослушиваться очень частые биения вследствие её деформации в сторону значительного сужения. Это будут, так сказать, слуховые впечатления, а что произойдёт по сути, нам поможет понять математика.

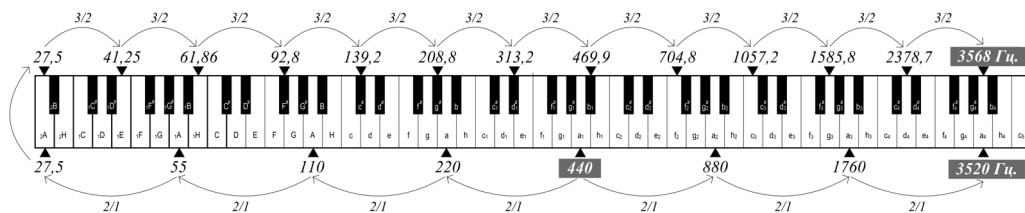


Рис. 8

В нижней части схемы на *рис. 8* даны рассчитанные от a , с современной стандартной частотой 440 Гц частоты тонов звуков, образующих между собой октавы, а в верхней части — рассчитанные от $\frac{1}{2}A$ частоты тонов звуков, образующих между собой чистые квинты. В музыкальной акустике малая секунда и полутон по интервальной размерности идентичны. Две смежных малых секунды дают в сумме одну большую секунду, то есть 2 полутона; три малых секунды (или одна большая и одна малая) дают в сумме малую терцию в 3 полутона и т. д. Поэтому в музыкальной акустике интервальную размерность принято выражать в полутонах: малая секунда — 1, большая секунда — 2, малая терция — 3, большая терция — 4, кварта — 5, тритон — 6 (6 полутонов или 3 целых тона!), квинта — 7, малая секста — 8, большая секста — 9, малая септима — 10, большая септима — 11, октава — 12. И мы видим, что при равенстве количества полутонов «цепочка» из 12 чистых квинт ($12 \times 7 = 84$) шире «цепочки» из 7 чистых октав ($7 \times 12 = 84$) на 48 Гц , что в пересчёте на интервал составляет почти $1/9$ целого тона. Музыкальные акустики назвали эту разницу *коммой* (что в переводе с греческого означает «отрезок») и по причине её возникновения от пифагорических квинт нарекли *пифагоровой* (пифагорийской, пифагорейской, пифагорической).

Получается, что чистые квинты и чистые октавы друг другу несоизмеримы. Если исследование продолжить, то выяснится, что несоизмеримы не только квинты и октавы, но и все без исключения чистые интервалы, — ни чистой октавы, ни друг другу. Двенадцать малых секунд шире октавы; шесть больших секунд тоже шире октавы, но на другую величину, потому что две малых секунды шире одной большой; четыре малых терции шире октавы, а три больших терции уже октавы; два тритона уже октавы; три малых сексты (24 полутона) шире двух октав (тоже 24 полутона), а четыре больших сексты (36 полутонов) уже трех октав (тоже 36 полутонов); двенадцать кварт (60 полутонов) уже пяти октав (тоже 60 полутонов), а двенадцать квинт (84 полутона) шире семи октав (тоже 84 полутона), что мы уже видели на *рис. 8*; пять квинт (35 полутонов) шире семи кварт (тоже 35 полутонов) и т. п. И совершенно очевидно, что при настройке последовательными квинтами строй гарантированно замкнётся на исходном тоне только при условии, если квинтовую «цепочку» сузить на величину пифагоровой коммы. А это означает, что необходимо либо одну квинту оставить суженной на всю величину пифагоровой коммы, либо две квинты сузить на $1/2$ пифагоровой коммы каждую, либо три квинты на $1/3$ коммы каждую (и т. д., и т. п.), либо, в конце концов, сузить каждую из двенадцати квинт на $1/12$ коммы. Последний вариант выглядит наиболее привлекательно. Во-первых, все квинты будут иметь одинаковые соотношения тонов и, следовательно, одинаковые акустические характеристики. Во-вторых, каждые 7 ходов такими последовательными квинтами образуют полутон; все такие полутоны тоже будут иметь одинаковую размерность; из них можно строить любые интервалы, которые во всех случаях будут соразмерны друг другу.

Термин «темперация» происходит от латинского *temperamentum* и означает надлежащее соотношение, соразмерность. В музыке это — сопровождаемое возникновением биений в совпадающих гармониках сужение или расширение («темперирование») интервалов натурального звукоряда с целью приведения их к соразмерности с некоторыми другими интервалами (исторические строи) или же со всеми (современный равномерно-темперированный строй). Впрочем, соразмерность — не самоцель. Не случайно, во французском языке слово *tempérament* означает одновременно и соразмерность, и чувственность. А всё потому, что от несоразмерности или соразмерности интервалов музыкального строя зависит чувственное восприятие исполняемой в нём музыки как неблагозвучия или благозвучия. Последнее и является конечной целью всякой настройки. Следовательно, осталось только придумать, как равномерные полутоны, во-первых, вычислить, а во-вторых — создать.

ГАРМОНИЯ И АЛГЕБРА

Всякий рукотворный предмет вначале приходит в мир в виде воображаемой или изображаемой модели, а затем по ней создаётся и он сам. Сразу же определимся с местом математики в моделировании музыкального строя, для чего последуем примеру выдающегося композитора С. И. Танеева, который, создав всемирно признанный научно-педагогический труд о полифонии «Подвижной контрапункт строгого письма», предпослал ему в качестве эпиграфа цитату из «Книги о живописи» великого итальянца эпохи Возрождения Леонардо да Винчи: «Никакое человеческое исследование не может почитаться истинной наукой, если оно не изложено математическими способами выражения». Воспользуемся такими способами выражения и мы.

Октава разделена на 12 полутонов, каждый из которых — это интервал между двумя ближайшими по высоте звуками. Полутоны в октаве будут одинаковы только при условии, если частота основного тона всякого последующего звука будет равна частоте основного тона всякого предыдущего звука, умноженной или поделённой на какую-то постоянную величину. Музыкальные акустики назвали эту величину *интервальным коэффициентом полутона* и обозначили латинской буквой *i*. Чистая октава имеет соотношение частот основных тонов $2/1$; то есть, если частоту основного тона нижнего звука октавы принять за 1, то частоту основного тона её верхнего звука, расположенного на 12 полутонов выше, следует принять за 2. И тогда, если частота основного тона нижнего звука равна 1, то частота основного тона соседнего звука, который расположен на полутон выше, должна быть равна $1 \times i$; частота основного тона звука, расположенного выше на два полутона, должна быть равна $1 \times i \times i$, или, что то же самое, $1 \times i^2$; частота основного тона звука, расположенного выше на три полутона, должна быть равна $1 \times i \times i \times i$, или $1 \times i^3$ и т. д.; и в конечном итоге

частоту основного тона самого верхнего звука октавы следует обозначить как $1 \times i^{12}$, и она, как мы уже выяснили, равна 2. Запишем это равенство в виде формулы: $1 \times i^{12} = 2$; и тогда:

$$i = \sqrt[12]{2 : 1} = 1,05946309435926564\dots$$

В результате, мы получили так называемое иррациональное число (не совместимое с единицей, поэтому его вычисление нельзя завершить), и им можно пользоваться, только округлив до какого-либо знака, например, 1,059463. Сразу же построим логические выводы. Любое рациональное число, умноженное или поделённое на число условно рациональное, непременно даёт условно рациональный результат. И тогда, если частота исходного тона музыкального строя является собой число рациональное, то величины частот всех остальных тонов будут рациональны условно, иными словами — приблизительно. Но и это не всё. Приблизительно соразмерны друг другу и интервалы такого музыкального строя, хотя его официальное наименование «равномерно-темперированный» содержит в себе явный намёк на абсолют. И всё это означает, что приблизительность есть атрибут (неотъемлемое свойство) равномерно-темперированного строя. То есть, этот строй нельзя создать вообще, если не настраивать его звуки и интервалы приблизительно.

Но что же тогда считать в таком строе точностью, без понятия которой нет и не может быть объективного критерия оценки качества конечного продукта, — потому что категории «нравится» или «не нравится» чересчур субъективны и далеко не всегда соответствуют истине? Об этом мы поговорим далее, в главе «Критерии качества музыкального строя», а пока продолжим знакомиться со средствами математического моделирования музыкального строя.

Чтобы при наличии расчётной величины интервального коэффициента i определить частоту основного тона верхнего звука в малой секунде (1 полутона), достаточно частоту основного тона нижнего звука умножить на i ; а в большой секунде (2 полутона) дважды умножить на i или один раз на i^2 , а в малой терции (3 полутона) трижды умножить на i или один раз на i^3 и т. д. Именно таким образом была получена *таблица стандартных частот тонов*, и на её основе — *таблица стандартных частот биений в интервалах* (обе даны в приложениях). Таблица частот биений для нас неизмеримо важнее, потому что музыкальный строй настраивают не по частотам тонов, а по биениям, частоты которых рассчитывают по формуле

$$N^n = f^v \times G^v - f^n \times G^n,$$

где N — количество биений в секунду (частота биений), n — количество полутонов в интервале, f — величины частот основных тонов, G — номера совпадающих гармоник, n и v — принадлежность частот и гармоник нижнему или верхнему звукам интервала.

С помощью интервального коэффициента i^n , где показатель степени n равен количеству полутонов в интервале, можно вычислять не только частоты тонов, но и напрямую частоты биений в одноимённых интервалах, когда частота биений в одном уже известна, а другие расположены выше или ниже. Например, стандартные биения в большой терции c_1-e_1 равномерно-темперированного строя составляют $+10,37$ б/сек. Следовательно, биения в большой терции f_1-a_1 , которая расположена на пять полутонов выше, составят: $+10,37 \times i^5 = +10,37 \times 1,334839852 = +13,84$ б/сек.

Но это ещё не всё. В вышеприведённой формуле частоту основного тона нижнего звука несложно выразить через частоту верхнего и наоборот:

$$f^n = \frac{f^6 \cdot \Gamma^6}{\Gamma^n} \quad f^6 = \frac{f^n \cdot \Gamma^n}{\Gamma^6}.$$

И тогда формула расчёта частот биений приобретает такой вид:

$$N_n = f^n \left(i^n \cdot \Gamma^6 - \Gamma^n \right) = f^6 \left(\Gamma^6 - \frac{\Gamma^n}{i^n} \right).$$

Если теперь вместо букв подставить числовые значения, то части формулы, заключённые в скобки, дадут величины, постоянные для каждой категории интервалов. Назовём их коэффициентами интервальных биений (пульсаций) и обозначим как p_n^n и p_n^6 . Применяя эти коэффициенты, можно напрямую вычислить частоту биений в любом интервале по одной лишь частоте основного тона его нижнего или верхнего звука. А пользуясь попеременно таблицами интервальных коэффициентов i^n и коэффициентов интервальных биений p_n^n и p_n^6 , можно легко, быстро и без дополнительных действий рассчитать математическую модель равномерно-темперированного строя всего лишь по одной-единственной частоте основного тона исходного звука. Например, если a_1 с частотой 440 Гц является верхним звуком терции f^1-a^1 (4 полутона), а p_4^6 большой терции составляет $+0,031497212$, то частота биений в этой терции составит: $440 \times 0,031497212 = +13,86$ б/сек. И тогда в большой терции c_1-e_1 , расположенной на 5 полутонов ниже, при величине i^5 $1,334839852$ частота биений составит: $13,86 : 1,334839852 = +10,38$ б/сек. И т. д., и т. п. *Таблица коэффициентов интервальных биений* тоже дана в приложениях.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ «ИНТЕРВАЛ — ОБРАЩЕНИЕ»

Обращением называют перенос нижнего звука интервала на октаву вверх или верхнего на октаву вниз, а также возникший новый интервал. Интервал и его обращение в сумме всегда составляют октаву, следовательно, секунда обращается в септиму (малая в большую, а большая в малую) и наоборот, терция в сексту и наобо-

рот, квинта в кварту и наоборот, тритон обращается в тритон. Акустически чистый интервал даёт акустически чистое обращение, суженный интервал даёт расширенное обращение, а расширенный суженное. Эту закономерность несложно понять и запомнить, если вообразить октаву, поделённую третьим звуком на два интервала, и эффект, который вызовет в обоих интервалах понижение или повышение общего для них срединного звука. Понятно, что это породит в их звучании биения, возникшие в противоположных зонах темперации. Под данную закономерность не подпадают только тритоны, которые в равномерно-темперированном строе оба бывают только расширенными. От взаиморасположения интервала и его обращения зависит соотношение в них частот биений, которое несложно определять, запомнив следующее.

Если в конструкции нижний интервал кварта или имеет в наименовании определение «малая», а именно: кварта — квинта, малая терция — большая секста, малая секста — большая терция, то соотношение биений в интервале и его обращении всегда составляет 1:1. Если нижний интервал квинта или имеет в наименовании определение «большая», а именно: квинта — кварта, большая секста — малая терция, большая терция — малая секста, то соотношение биений всегда составляет 1:2. В равномерно-темперированных тритонах, которые являются обращениями друг друга, соотношение биений всегда составляет 1:1,4142, то есть приблизительно 1:1,4.

Для настройщика знание вышеописанных закономерностей имеет вполне определённую практическую ценность по причине различной «чувствительности» интервалов к погрешностям. Если октаву строить не напрямую, а как смежные квинту и кварту, её точность окажется выше в 1,5 раза; а если строить её как смежные малую терцию и большую сексту, её точность будет выше в 2,5—3 раза. Таким же образом можно строить квинту как смежные малую и большую терции, — и её точность будет выше в 1,5—2 раза. Фактором «чувствительности» к погрешностям удобно пользоваться при настройке не только простых, но и составных интервалов (составной интервал — это простой интервал плюс одна, две, три октавы и т. д.; перечислим их по возрастающей: нона, децима, ундецима, дуодецима, терцдецима, квартдецима, квинтдецима — она же двойная октава). Например, если от звука F (фа большой октавы) тщательно настроить акустически чистую восходящую большую дециму (большая терция плюс октава) $F-a$, а затем такую же акустически чистую большую дециму через октаву $F-a_p$, то октава $a-a_1$ окажется настроенной очень точно.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИК МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРАКТИКЕ

При наличии готовой таблицы стандартных частот биений средства и техники математического моделирования строя для настройщика фортепиано никакой практической ценности не имеют и приведены исключительно в целях ознакомления читателя с базовыми основаниями предмета деятельности, без знания и понимания которых освоение профессии возможно только методом «натаскивания». Но в некоторых случаях без применения этих техник в практической работе не обойтись. Например, иногда приходится выполнять настройку с повышением или понижением строя относительно действующего стандарта, а именно: настроить фортепиано для гастролирующего ансамбля или певца, которые прибыли из страны, где стандарт строя иной; или музыкальный инструмент так изношен, что уже не держит стандартный строй и его приходится настраивать с понижением строя; или концертирующий пианист требует, чтобы инструмент звучал чуть выше положенного (такие примеры хорошо известны в профессиональных кругах настройщиков) и т. п. Понятно, что в интервалах повышенного строя темпы биений будут выше, а в пониженном наоборот, но в любом случае при создании нестандартного строя настройщик, применяющий метод синхронизации, должен их величины знать, а для этого предлагаются следующие техники.

Если требуемый звуковысотный уровень строя выражен определённой частотой основного тона исходного звука, то, готовясь к настройке, можно использовать приём моделирования, избавляющий от необходимости выполнять сложные математические расчёты. Предположим, заданная частота a_1 составляет не стандартные 440, а 435 Гц, а в имеющемся в распоряжении настройщика плане настройки частоты биений рассчитаны от a_1 440 Гц. В этом случае необходимо определить величину поправочного коэффициента путём деления стандартной частоты на заданную: $440 : 435 = 1,011494$. А далее всё просто. Если, например, в стандартном строе большая терция $f_1 - a_1$ имеет +13,86 б/сек., то в заданном строе она должна иметь: $+13,86 : 1,011494 = +13,7$ б/сек. Остальные частоты биений пересчитываются аналогичным образом.

Ещё меньшую сложность представляет настройка с понижением строя на полутон или целый тон, применяемая на изношенных инструментах, которые уже «не держат» стандартный строй. В этом случае ничего пересчитывать не надо, а надо всего лишь настроить на стандартную частоту 440 Гц не a_1 , а, соответственно, b_1 или h_1 и далее настраивать на стандартные биения не интервалы по таблице, а интервалы, расположенные выше на полутон или целый тон. Например, на стандартную частоту +13,86 б/сек. нужно настраивать не большую терцию $f_1 - a_1$, а, соответственно, большую терцию $f_1^* - a^*(b)_1$ или $g_1 - h_1$.

Несколько сложнее выполнить моделирование, если изменение строя указано в долях — например, понижение на $\frac{1}{4}$ тона ($\frac{1}{2}$ полутона). В этом случае рекомендуется следующее. В музыкальной акустике части интервала менее полутона принято выражать либо в долях полутона (или тона), как это сделано выше, либо в *центах* (от лат. *centum* — «сто»; 1 цент — это $\frac{1}{100}$ доля полутона). В октаве 12 полутонов, в полутоне 100 центов, следовательно, в октаве 1200 центов. Если интервальный коэффициент полутона (i) определяют путём извлечения корня 12-й степени из 2, то интервальный коэффициент 1 цента (i_c) определяется путём извлечения корня 1200-й степени из 2 и составляет 1,00057779. Заданное понижение строя на $\frac{1}{2}$ полутона — это понижение на 50 центов. Коэффициент интервала в 50 центов — это i_c^n , где $n = 50$; и тогда $1,00057779^{50} = 1,0293$. Следовательно, понижение частоты 440 Гц на 50 центов составит: $440 : 1,0293 = 427,47 \approx 427,5$ Гц. Величина 1,0293 является поправочным коэффициентом для всего строя и на неё следует также разделить стандартные величины биений во всех интервалах строя. При повышении строя на поправочный коэффициент не делят, а умножают.

Сразу же порекомендуем, как настроить a_1 , например, на 427,5 Гц, если в распоряжении имеется камертон только на 440 Гц. В трёхструнном хоре a_1 заглушаем 2 струны, а оставшуюся настраиваем на 440 Гц по камертону. Затем освобождаем вторую струну и, сначала настроив её в чистую приму с первой, затем её понижаем относительно первой на 12,5 Гц ($440 - 427,5 = 12,5$), то есть добиваемся в звучании примы 12,5 б/сек.; и в этом случае вторая струна окажется настроенной на частоту 427,5 Гц. Такой темп достаточно трудно контролировать на слух, поэтому операцию можно выполнить в несколько приёмов, поочередно настраивая струны хора одну по другой с небольшими понижениями, чтобы в конечном итоге сумма биений ото всех понижений составила 12,5 б/сек.

Правомерен вопрос: если в терции $f_1 - a_1$ не +13,86, а +13,7 б/сек., имеет ли смысл принимать такую разницу во внимание; а также нужно ли и возможно ли обеспечить при настройке такую точность?

Всё зависит от технологии настройки. Если речь идёт о настройке методом синхронизации, то не только такую, а даже бóльшую точность он обеспечивает гарантированно. Однако и она к абсолютной точности строя не ведёт. Это — парадокс, и вытекает он из феномена естественной негармоничности обертонов

ФЕНОМЕН НЕГАРМОНИЧНОСТИ ОБЕРТОНОВ

Все ранее описанные величины частот тонов и биений справедливы для так называемых идеально гибких струн, которые существуют только в мыслительной действительности, то есть в теоретических предположениях, воображении и т. п. В реальности же настройщик имеет дело со струнами, изготовленными из веществ, физи-

ческие свойства которых вносят в вышеупомянутые величины коррективы, подчас довольно значительные.

Фортепианная струна туго натянута и при колебаниях отклоняется от положения покоя, а сила натяжения стремится струну в состояние покоя вернуть. Но не только она. Совершая колебания, струна вынуждена ещё и изгибаться, формируя различные конфигурации. А поскольку струнная сталь обладает ещё и жёсткостью, то есть упругостью, это свойство тоже заставляет струну сопротивляться отклонениям от состояния покоя. Потому что отклонения — это изгибы и перегибы; их тем больше, чем больше номер гармоники; чем их больше, тем они короче; а чем они короче, тем действие упругости выше. Кроме того, упругость проявляет себя и через толщину струны, которая чем больше, тем жёсткость струны в целом выше, и потому выше действие упругости. И, наконец, упругость проявляет себя через длину рабочего участка струны; чем он короче, тем действие упругости тоже выше. Физики-акустики выявили, что жёсткость струны, представляющая собой совокупность и взаимодействие всех перечисленных проявлений упругости, в конечном итоге влияет на частоты её обертонов, изменяя их в сторону повышения относительно основного тона, которое тем больше, чем больше номер гармоники обертона. Иными словами, идеальное соотношение частот обертонов 1:2:3:4... и т. д. правомерно только для идеально гибких струн, а у реальной струны всякий обертон звучит относительно основного тона несколько выше, чем ему надлежит; и чем больше номер гармоники, тем это отклонение значительнее. Отклонения реальных частот обертонов от идеальных определяются формулой

$$f' = f^0 n \left(1 + \frac{\pi n^2}{32} \cdot \frac{Ed^2}{\sigma l^2} \right),$$

где:

E , d , l и σ — соответственно модуль упругости, диаметр, длина струны и напряжение в её материале;

f^0 — частота основного тона, то есть гармоники нулевого обертона;

f' — фактическая частота гармоники обертона;

n — номер гармоники обертона;

π — число «пи» (округленно равное 3,14).

Отсюда следует, что отклонение частоты обертона от идеальной увеличивается с увеличением диаметра струны, номера обертона, и уменьшается с увеличением напряжения и длины струны. В части формулы в скобках, которая представляет собой коэффициент негармоничности обертонов конкретной струны, единственное переменное число n^2 в знаменателе одного из членов указывает, что отклонение частот обертонов струны возрастает пропорционально квадрату номера каждой последующей гармоники. В отдельном звуке негармоничность обертонов сказывается разве что на ухудшении характеристик его тембра. В звучании интервала прима, если физические па-

раметры струн одинаковы (то есть все гармоники обоих звуков по частотам совпадают), негармоничность обертонов никак себя не проявляет. На звучание интервала с разновысокими звуками негармоничность обертонов тоже практически почти не влияет, но сказывается на отклонении его размерных параметров от стандартных, причём тем сильнее, чем ближе к краям звукового диапазона фортепиано расположены струны, дающие звуки интервала, потому что по мере приближения к краям радикально изменяются их физические параметры. В басах по мере понижения тонов струны утолщаются, а в дискантах по мере повышения тонов укорачиваются их рабочие участки. Это приводит к явлению так называемого расширения интервалов.

Поясним это. Если, например, частота G_2^n нижнего звука октавы несколько выше удвоенной частоты его основного тона (G_1^n), а основной тон верхнего звука октавы, то есть G_1^o , настроен на частоту G_2^n нижнего звука, что является обязательным условием акустической чистоты октавы, то соотношение частот основных тонов обоих звуков октавы (G_1^n и G_1^o) никак не может составлять 1:2; то есть G_1^n будет несколько ниже и, следовательно, октава будет несколько шире. То же самое касается других интервалов. Но для слуха это тоже незаметно. Проблема отклонения частот обертонов от идеальных наиболее ощутимо даёт о себе знать в аккордах. Например, если в мажорном или минорном трезвучии очень точно настроить на стандартные частоты биений обе терции, то непременно выяснится, что в суммарном интервале квинта частота биений чуть-чуть не совпадает со стандартной; а привести её к стандартной можно только путём изменения стандартных биений в одной из терций, имеющей с квинтой общий корректируемый звук.

В трезвучиях, расположенных в средней части звукового диапазона фортепиано, описанные отклонения настолько невелики, что в процессе настройки обычно никак не учитываются. Но по мере приближения к краям звукового диапазона негармоничность обертонов возрастает, причём у малогабаритного пианино значительно сильнее, чем у концертного рояля, потому что струны у пианино в басах короче и толще рояльных, а в дискантах просто короче. Кроме того, влияние негармоничности обертонов на размерные и акустические характеристики аккорда возрастает с расширением расположения его звуков, потому что радикально вырастает разница между величинами номеров гармоник. Например, в реально звучащей большой сексте (G_5^n и G_3^o) темп биений будет выше, чем в построенной от верхнего звука этой сексты нисходящей терцдециме (большая секста через октаву; G_{10}^n и G_3^o), потому что между нижними звуками сексты и терцдецимы акустически чистая октава, у которой G_2^n и G_1^o по частоте полностью совпадают, а G_{10}^n и G_5^o нет. Если оба интервала расположены в средней части звукового диапазона фортепиано, то биения в октаве от нижних гармоник настолько неярки и медленны, что слух их не улавливает. А если биения в сексте и терцдециме уравнять, биения появятся в октаве.

Итак, если октавы настраивать как акустически чистые, то соотношение частот их основных тонов вследствие негармоничности обертонов будет составлять не 1:2, а несколько больше, причём по мере приближения к краям звукового диапазона несоответствие будет возрастать, то есть низкие звуки будут звучать всё более низко, чем должно, а высокие — всё более высоко. Но, как ни странно, именно это явление позволяет воспринимать звучание строя как правильное, потому что психофизиология человеческого слуха устроена таким образом, что низкие звуки ему хочется слышать чуть более низкими, а высокие чуть более высокими, чем им надлежит быть.

Негармоничность обертонов усиливает фактор приблизительности, но не до такой степени, чтобы создание музыкального строя превратилось в неразрешимую проблему. Тем более, что, как мы помним, приблизительность — атрибут строя, то есть его неотъемлемое свойство; и вопрос качества строя не в её отсутствии, а в её величине. Чем приблизительность меньше — тем выше точность, а, следовательно, выше качество строя, то есть его благозвучие. Но опять же, «выше», «ниже», «меньше», «больше» — это всё категории относительные, а этого для оценки, и тем более для создания строя, явно недостаточно. Нужны критерии более определённые.

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА МУЗЫКАЛЬНОГО СТРОЯ

Высшей ценностью музыкального строя является его благозвучие. Однако определение «благозвучен» тоже допустимо лишь как эстетическая оценка конечного продукта, и совершенно непродуктивно в качестве критерия в процессе настройки. Благозвучие не возникает само по себе, его необходимо кому-то произвести. И этот некто должен лучше других знать и понимать, из чего оно происходит и какими средствами производится. Но рассмотренный теоретический материал лишь подталкивает к неутешительным выводам: интервальный коэффициент — величина иррациональная и, следовательно, приблизительная; производные от него частоты тонов тоже; производные от них частоты биений тоже; к этому следует добавить негармоничность обертонов и производное от неё непостоянство размерностей интервалов; при этом следует учесть ещё и тот факт, что даже самый опытный настройщик ограничен в возможностях слуха при переносе расчётных параметров модели строя на собственно строй. Всё это говорит о том, что реальный строй способен соответствовать своей собственной математической модели только в одном параметре — частоте основного тона исходного звука. Можно ли при таких условиях создать точный равномерно-темперированный строй? И что в таком случае может служить надёжным критерием его точности?

Разумеется, можно. И надёжные критерии есть. Их два. Первый — это максимально возможная акустическая чистота октав. Второй — это максимально возможная регулярность изменения темпов биений в хроматических последовательностях одноимённых интервалов и метабиений в хроматических последовательностях одноимённых аккордов. Дело в том, что набор музыкальных звуков вполне может соответствовать какому-либо одному из этих критериев и при этом совершенно не соответствовать другому. Например, можно кое-как настроить некоторое количество разновысоких звуков и построить от каждого из них великолепные по акустическим характеристикам нисходящие и восходящие октавы. Или можно выстроить звуки так, что при последовательном исполнении одноимённых интервалов по восходящей и нисходящей темпы биений в них будут изменяться регулярно, но при этом октавы между звуками будут вовсе отсутствовать. В первом случае никакой речи не может идти о равномерной темперации, а в другом — о строе вообще. Потому что строй, да ещё и темперированный равномерно, — это одновременное его соответствие обоим критериям сразу.

Соответствие музыкального строя обоим критериям сразу служит для настройщика фортепиано единственной проблемой и единственной целью, успех достижения которой зависит от двух вещей: уровня личных способностей и совершенства применяемой технологии. Причём эти вещи можно рассматривать и в прямой зависимости, и в обратной, потому что, например, высокоодарённому настройщику несовершенная технология не помеха, а низкоодарённому без хорошей технологии не обойтись, хотя, разумеется, она ничем не помешает и высокоодарённому. Поэтому содержание данной книги следует рассматривать как средство формирования у читателя представлений о наиболее высокоэффективной технологии настройки фортепиано равномерно-темперированным строем, дающей гарантированно высокий результат вне зависимости от степени личной одарённости её пользователя, а также как набор советов и рекомендаций по практическому освоению этой технологии.

Правомерен вопрос: имеет ли смысл моделирование строя, если математические параметры модели перенесены на строй принципиально быть не могут? Разумеется, имеет, потому что без модели нельзя создать не только высокоточный строй, но и строй вообще. Важно только правильно понимать функцию модели в настройке. Её математические величины следует рассматривать как целевые основания, к которым надлежит максимально приближать размерные параметры реального строя. Чем лучше это настройщику удаётся, тем более высококачественный строй он получает. Отсюда вытекает двуединство решаемых настройщиком задач: первая — максимально точное моделирование строя; вторая — максимально точный перенос расчётных параметров модели строя на собственно строй. При наличии уже когда-то и кем-то разработанной модели строя в виде таблицы стандартных биений в его интервалах настройщику остаётся успешно ре-

шить лишь вторую задачу, а это (помимо его личных профессиональных качеств) в значительной степени зависит от применяемых им методики и технологии настройки.

ТИПОЛОГИЗАЦИЯ МЕТОДИК НАСТРОЙКИ

Типологический анализ современных методик настройки равномерно-темперированным строем позволяет свести всё их разнообразие к трём принципиально различным способам: настройка интервалов и аккордов интонированием, настройка интервалов по биениям, настройка по прибору каждого звука в отдельности.

Настройка звуков по прибору никаких особых талантов от настройщика не требует. В настоящее время для целей такой настройки электронная промышленность выпускает специальные приборы — *тюнеры* (от англ. *tune* — «настройка»). Однако настройку даже по самому высокоточному прибору называть собственно настройкой приходится с большой натяжкой, если понимать музыкальный строй не как сумму отдельных звуков, а как звуки в их отношениях, — межзвуковые в интервалах и межинтервальные в аккордах, — которые способен уловить слух даже плохого настройщика, но не способен «расслышать» (и, следовательно, помочь организовать) даже самый хороший прибор.

Настройка интонированием — это настройка с опорой на индивидуальные эстетические и вкусовые представления настройщика о благозвучии (красоте звучания) интервалов и аккордов. Здесь благозвучие выступает как основной продукт, а правильная температура, как побочный, возникающий автоматически. В настройке интонированием наиболее успешны настройщики, богато одарённые от природы изысканнейшим музыкальным вкусом, тончайшим слухом и цепкой памятью, способной удерживать в себе эталонное представление о красоте и характере звучания каждого интервала и аккорда. Такие настройщики используют биения незначительно, лишь как вспомогательное средство предварительного введения интервала в правильную зону (сужение или расширение) температуры. Однако созданный интонированием строй никогда не достигает наивысшего качества и неизбежно несёт на себе признаки индивидуального стиля настройщика, а качество такого строя в значительной степени зависит ещё и от настроения и психофизического состояния настройщика в процессе работы. Низкоодарённые настройщики в настройке интонированием в лучшем случае способны создать строй приемлемого качества, но не более.

Настройка интервалов по биениям с контролем аккордов по метабиениям меняет приоритеты местами. Здесь правильная температура — продукт основной, а благозвучие строя — побочный. При настройке этим способом качество

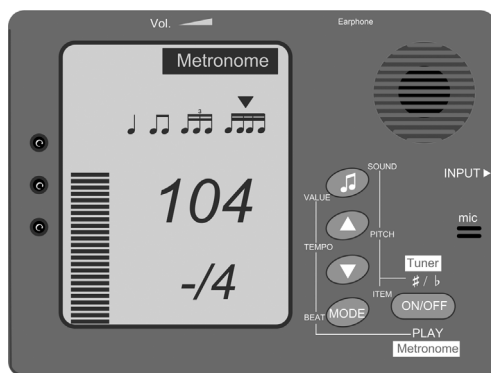
стройка попадает в прямую и непосредственную зависимость от технологии настроенного процесса, потому что только уровень совершенства технологии и степень владения её приёмами определяет степень точности переноса на реальный строй расчётных параметров его математической модели, и, в конечном итоге, красоту его звучания.

В большинстве современных методик настройки настройщик при работе с биениями вынужден доверяться личному внутреннему чувству темпа, при опоре на которое погрешности в установлении темпов биений в «низкоскоростных» интервалах (квинтах, квартах) составляют не менее 0,1–0,3 б/сек., а в «высокоскоростных» (терциях, секстах) 0,5–1,5 б/сек., что для точности строя весьма печально.

При настройке же методом синхронизации внутреннее чувство темпа заменяет прибор, который, в отличие от тюнера, используется не для настройки тонов, а для точной установки темпов биений и метабиений.

ГЕНЕРАТОР ЭТАЛОННЫХ ТЕМПОВ БИЕНИЙ

Этот прибор по его функции в настройке следует назвать внешним независимым генератором эталонных темпов биений и метабиений. А по сути это всего лишь электронный метроном, из тех, которые в настоящее время широко распространены в музыкальном обиходе (рис. 9).



а) Метроном и тюнер в одном приборе



б) Только метроном







Рис. 9

Такой прибор можно купить в любом магазине музыкальных инструментов и принадлежностей или заказать по системе торговли с доставкой. Некоторые модели метронома совмещены с тюнером (образец слева), что создаёт дополнительные удобства: во-первых, для настройки не требуется камертон; во-вторых, при отсутствии у начинающего настройщика навыков построения

интервалов тюнер даёт ему возможность быстро выполнить такую работу путём предварительной настройки отдельных тонов. Разнообразие моделей электронных метрономов достаточно велико, но не все они отвечают необходимым требованиям. Пригодные для наших целей метрономы «отбивают» темп лёгким и прозрачным по звучанию пощёлкиванием электронного зумера, что позволяет одновременно с этим прослушивать биения в звучании интервала, потому что громкость щелчков можно регулировать. Количество «ударов» в минуту можно варьировать от 30 до 230 или 250. У некоторых моделей электронных метрономов этим всё и заканчивается, и потому для настройки они не пригодны. А у «пригодного» метронома имеется дополнительный режим деления промежутков между ударами на более короткие промежутки, что достигается установкой курсора на жидкокристаллическом дисплее прибора над или под изображениями соответствующих нотных значков или просто установкой нотного значка (см. *рис. 9*) При установке значка ♩ (четвертная) метроном даёт ровно столько ударов в минуту, сколько установлено в виде цифрового значения на его дисплее, при установке ♪ (дуоли) это количество ударов удваивается, при установке ♫ (триоли) утраивается и ♫ (квартоли) учетверяется. Нехитрый арифметический подсчёт показывает, что полный диапазон темпов электронного метронома составляет от 30 (установка 30 ♩) до 920 (230 ♫) или 1000 (250 ♫) ударов в минуту с дискретностью в пределах основного рабочего диапазона ± 1 удар. Если эти темпы пересчитать в секундах, то получается от 0,5 до 15,333 или 16,667 ударов в секунду с шагом изменения в тысячные доли и менее. Точность «фантастическая». Настройщику остаётся всего лишь установить на метрономе нужный темп и затем на слух синхронизировать биения в настраиваемом интервале или метабиения в проверяемом аккорде с темпом его ударов. При этом соблюдение «фантастической» точности не требует от настройщика и половины того напряжения, которое он испытывает при традиционных способах настройки.


При введении режима деления промежутков между ударами на дуоли, триоли и квартоли все электронные метрономы акцентируют первую долю в группе из двух, трёх или четырёх ударов несколько другим звуком как сильную. Некоторым настройщикам это может мешать, и тогда им следует приобрести модель метронома, в которой предусмотрено отключение режима акцентирования сильной доли (на рисунке — на дисплее левой модели обозначение «-/4» свидетельствует о том, что этот режим отключён). Но и спешить с этим не следует. Работая с биениями, настройщик через некоторое время непременно поймает себя на том, что его сознание непроизвольно делит монотонную вереницу биений или щелчков метронома на группы и в воображении наделяет первую долю в каждой группе статусом сильной, то есть осуществляет виртуальную ритмизацию темпа, потому что таким образом психологически проще настроиться на заданный темп. И может случиться, что при отключении режима акцентирования сильной доли его станет кому-

то недоставать. Метрономом можно пользоваться по-разному: настраивая интервал, слушать метроном и биения вместе; сначала послушать метроном и настроиться на его темп, затем настроить на этот темп биения в интервале, затем послушать метроном и биения вместе и при необходимости внести в биения коррекцию и т. п.

Темпы биений в интервалах и метабиений в аккордах при использовании метронома имеет смысл выражать не в числах биений в секунду, а в установочных параметрах для метронома. Например, на *рис. 9* на дисплеях обеих моделей выставлены число 104 и знак квартоли (). Следовательно, при такой установке темп метронома составит 416 ударов в минуту ($104 \times 4 = 416$) или, в пересчёте на секунды, 6,93 удара в секунду ($416:60 = 6,9333\dots$), что соответствует стандартной частоте +6,93 б/сек. в большой терции $f-a$ малой октавы. Темпы биений обычно указывают в плане настройки, и настройщику в начальный период работы с метрономом придётся заглядывать в схему или запись плана перед каждым настроечным ходом. Но вскоре необходимость в этом отпадёт, потому что интервалы с системой обозначений в виде установочных параметров для метронома очень легко и быстро запоминаются. Например, большая терция $f-a$ как «сто-четыре-на-четыре» (104 ) , большая терция $d-f^\sharp$ как «сто-семьдесят-пять-на-два» (175 ) , большая секста $f-d_1$ как «сто-девятнадцать-на-четыре» (119 ) , большая терция $b-d_1$ как «сто-восемьдесят-пять-на-три» (185 ) или «сто-тридцать-девять-на-четыре» (139 ) и т. д. Тот, кто начнёт пользоваться метрономом, вскоре непременно это почувствует.

При необходимости выполнить нестандартную настройку необходимо вычислить поправочный коэффициент и с его помощью пересчитать не частоты биений, как было рекомендовано ранее, а установочные параметры для метронома. Например, если a_1 необходимо настроить на частоту 435 Гц, то величина поправочного коэффициента составит 1,011494 ($440 : 435$). И тогда новые установочные параметры для большой терции $f-a$ составят:

$$104 \times 4 : 1,011494 = 411,3; 411 \text{ это } 137 \times 3;$$

следовательно, это «137 ». И т. д.

ПОДГОТОВКА ФОРТЕПИАНО К НАСТРОЙКЕ

Если читатель намерен испробовать себя в роли настройщика фортепиано, то дальнейшее ознакомление с теоретическим содержанием этой книги следует начать совмещать с практическими действиями. Готовя фортепиано к настройке, необходимо снять с него все корпусные детали, препятствующие доступу к его струнам

и клавиатуре. Сделать это несложно, если внимательно рассмотреть, как эти детали крепятся. В обязательном порядке следует снять клап, фигурную крышку, прикрывающую клавиатуру, чтобы в случае её нечаянного падения в процессе настройки не травмировать пальцы руки, находящейся на клавиатуре. Обеспечив свободный доступ к струнам, надлежит подготовить к настройке хоры (группы струн по две и три), потому что настройку возможно вести только на одиночных струнах, а фортепианный молоток бьёт по всем струнам хора сразу, и пока все они звучат, ни одну из них настроить не получится. В двухструнных и трёхструнных хорах настраивают сначала одну струну, затем по ней подстраивают вторую, затем по двум или по любой из двух третью. Поэтому для настройки одну струну хора оставляют свободной, а остальные заглушают. Для глушения используют клинки (фетровые, войлочные, резиновые или деревянные, оклеенные кожей) или войлочную ленту. Для глушения струн в хорах дискантового регистра пианино, куда из-за особенностей конструкции с короткими клинками не подобрёшься, используют резиновый или фетровый клинок на тонкой длинной ручке или приспособление в виде длинной деревянной палочки с клиновидным концом, оклеенным кожей, который легко вставить между струнами, просунув приспособление между фортепианными молотками.

Вначале настраивают так называемую *область темперирования*, участок не менее октавы (13 звуков подряд) в средней, теноровой части звукового диапазона; затем по звукам и интервалам области темперирования настраивают басовый регистр слева от области темперирования, а затем таким же образом остаток тенорового и дискантового регистры справа от области темперирования. Для глушения струн требуется, как минимум, два клинка. Одним заглушают струны в хоре уже настроенном, а другим — в хоре, который предстоит настроить. Этот способ прост, но утомителен, потому что требует частой перестановки клинков, а кроме того, он сильно усложняет обнаружение пропущенных незамеченными ошибок и неточностей и процесс их устранения. Поэтому многие настройщики при настройке области темперирования предпочитают пользоваться 13–14 клинками или более (в некоторых методиках область темперирования шире октавы), заглушая разом вторые и третьи струны всех хоров на этом участке. Резиновые клинки несложно изготовить из обычного резинового малярного шпателя с уже готовой клиновидной рабочей поверхностью, который остается всего лишь разрезать ножом на узкие полоски клинков (см. *рис. 10*).

Вместо клинков гораздо удобнее пользоваться войлочной лентой шириной не менее 1–1,5 см и толщиной 3,5–4 мм, которую с помощью плоского пера отвёртки заправляют на участке трехструнных хоров в промежутки между хорами, а на участке двухструнных — через два хора, вследствие чего в каждом хоре остаётся свободной только одна струна (*рис. 10*). С помощью ленты в зависимости от её длины можно заглушать струны хоров только об-

ласти темперирования, целиком регистра и даже всего звукового диапазона фортепиано. При этом в крайних хорах регистров, где отсутствует возможность заглушать струны только лентой, дополнительно используют клинки.

СПОСОБЫ ГЛУШЕНИЯ СТРУН В ХОРАХ

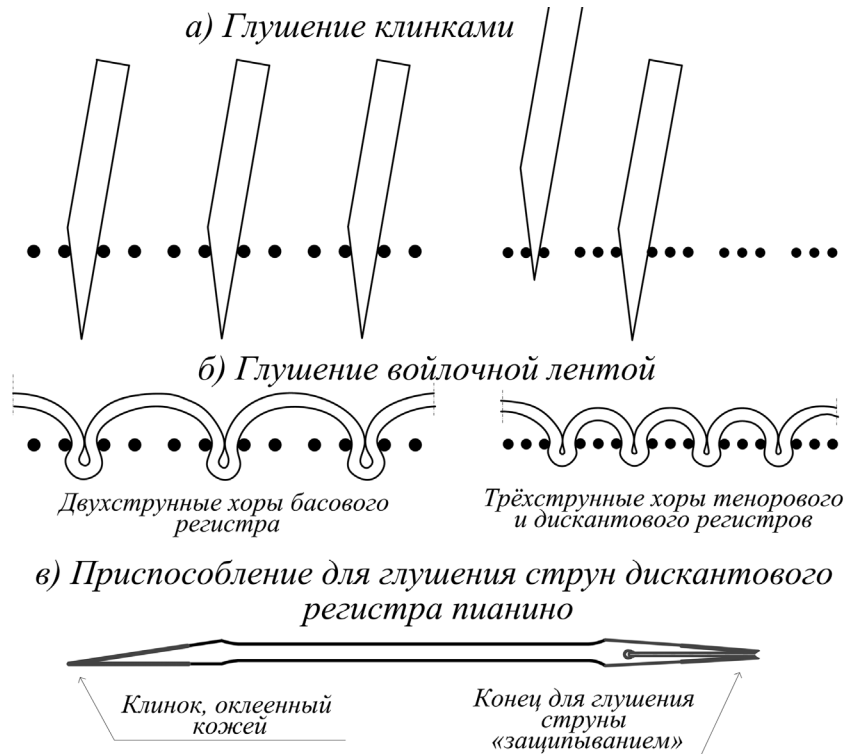


Рис. 10

При глушении лентой хоров пианино, особенно малогабаритного, возникают мнимые сложности в области дискантового регистра, где слишком мал промежуток между линией удара молотков и демпферами, отчего даже самая узкая лента после её установки мешает молоткам ударять по струнам. Эти сложности преодолеваются просто. Нужно заправить ленту между хорами, затем нажать ногой правую педаль, чтобы демпферы (глушители звука) отошли от струн, и аккуратно сдвинуть заправленную ленту по струнам вниз, чтобы после освобождения педали головки демпферов опустились на выпуклости ленты. Демпферы перестанут заглушать звук, но настройке это никак не мешает, потому что длительность звучания дискантовых струн невелика и резонируют они в ответ на звучание других струн весьма неохотно и тихо. После настройки первых струн в хорах по ним подстраивают вторые и третьи струны, пошагово извлекая ленту слева направо из промежутков между хорами.

От глушения струн лентой по всему звуковому диапазону польза не только в сокращении количества физических действий. Когда по одной струне настроены хоры ограниченного участка, окончательно проверить точность настройки

можно только на этом участке. Позднее, когда между вторыми и третьими струнами будут настроены унисоны, которые объективно невозможно выстроить на слух очень точно, биения в интервалах и на этом участке, и между звуками этого и соседних участков приобретут менее чёткий характер, что затруднит настройку и значительно снизит точность строя. Когда же по одной струне настроены хоры всего звукового диапазона, несложно проверить точность строя по всему звуковому диапазону сначала на одиночных струнах, и только после устранения всех неточностей окончательно подстроить вторые и третьи струны.

ПРАВИЛА РАБОТЫ НАСТРОЕЧНЫМ КЛЮЧОМ

Настройка фортепиано — это натяжение его струн до необходимых пределов. Подчеркнём особо: натяжение, но ни в коем случае не ослабление. Если струна почему-то оказалась уже настроенной выше, её для настройки следует слегка отпустить (ослабить её натяжение). Натяжение производят вращением струнного колка, вибреля, по часовой стрелке с помощью специального настроечного ключа. Настроечный ключ состоит из рабочей головки и рукоятки. В рабочей головке имеется шестнадцатигранное отверстие звездообразной формы, что позволяет устанавливать ключ на квадратных гранях головки вибреля в восьми различных положениях, потому что вирбель может быть ориентирован гранями по-разному, а ключ необходимо ориентировать всегда одинаково, как это изображено на *рис. 11*.

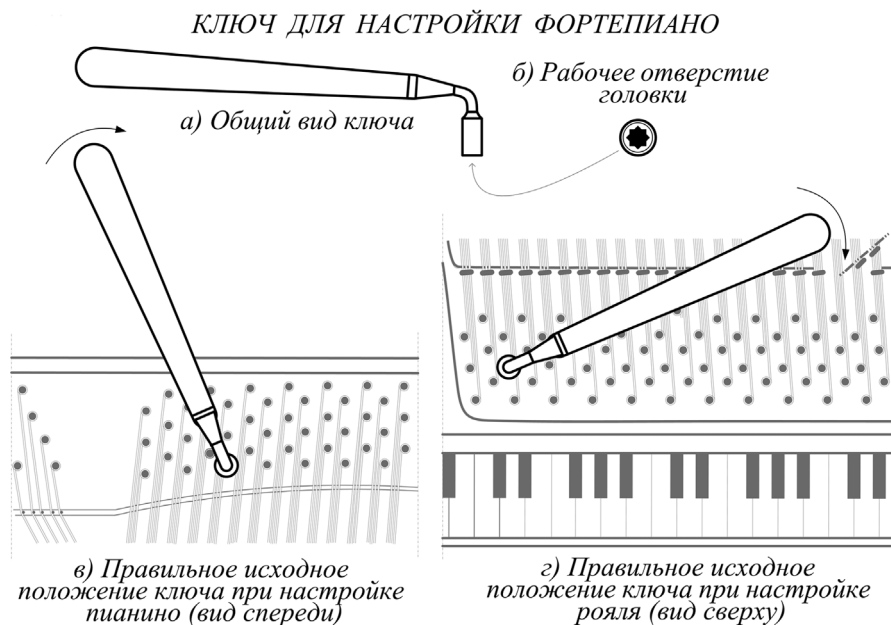


Рис. 11

Вирбели бывают различной толщины: обычные от 6,5 до 7 мм (наиболее распространённый — 7 мм) и ремонтные до 7,6 мм. Поэтому профессиональные настройщики пользуются, как правило, ключами со сменными головками, а настройщику-любителю достаточно одного ключа под вирбели его музыкального инструмента. Ключи для настройки приобретают в магазинах музыкальных инструментов и принадлежностей, заказывают по Интернету или у слесаря-специалиста, который способен придать отверстию в головке ключа нужную звездообразную форму с коническим расположением противоположных граней под углом приблизительно $4,5^\circ$.

Насаживать ключ на вирбель следует очень надёжно, держа его рукой за головку, но не за рукоять, потому что иначе есть опасность неплотной насадки; и тогда при приложении к ключу усилия возникает риск смять грани головки вирбеля или рабочего отверстия головки ключа. Рука, вращая ключ, ни в коем случае не должна «висеть в воздухе». Настройщик держит ключ правой рукой за конец рукояти, надёжно и устойчиво опираясь локтем этой же руки на горизонтальную поверхность над вирбельбанком у пианино или предплечьем на форбаум (передний брус) у рояля. Рояль настраивают сидя, а пианино стоя (малогабаритное тоже можно сидя, но достаточно высоко).

Неправильные действия настроечным ключом сводят настройку к абсолютно бесполезной работе, а правильными они могут быть лишь при условии, если опираются на знание не только того, как и до каких пределов можно и нужно струну натягивать, но и поведения струны, вирбеля и опорных конструкций фортепиано в процессе настройки и после неё.

Вирбель прочно сидит в гнезде и, благодаря большой силе трения о его стенки, удерживает струну в постоянно натянутом состоянии при величине её натяжения от 70 до 150 кг. Вирбель в процессе настройки подвергается упругим деформациям — скручиванию по продольной оси и изгибанию. Струна на нерабочих участках (там, где она не колеблется) плотно соприкасается с некоторым количеством деталей опорных конструкций, и везде в местах соприкосновения велики силы трения. Вследствие этого на различных участках струны между местами её соприкосновения при изменении её натяжения возникают различные по величине напряжения. Если струну просто натянуть и оставить в таком состоянии, то после настройки, в процессе эксплуатации фортепиано, она под воздействием вибрации вследствие ударов фортепианного молотка или просто с течением времени иногда скачками, иногда медленным сползанием преодолевает силы трения, напряжение на различных участках выровняется, и это будет непременно сопровождено расстройкой тона. Поэтому настраивать струны нужно правильно и единообразно, соблюдая следующие правила:

1. Настройку желательно вести от начала до конца преимущественно на одном уровне громкости и, настраивая интервал, стараться нажимать на обе клавиши с одинаковой силой. Предпочтителен диа-

пазон от *mezzo piano* (не совсем тихо) до *mezzo forte* (не совсем громко), в пределах которого и уровень громкости ровнее, и длительность звучания достаточна, и высоты тонов постояннее, и ясно прослушиваются биения.

2. Струну следует настраивать исключительно в направлении усиления натяжения. Если струна уже перетянута и звучит выше, чем необходимо, её перед настройкой следует слегка отпустить.

3. Заканчивать натяжение струны нужно с легчайшей перетяжкой, а затем кончиками пальцев несильно надавить на рукоять ключа в противоположном натяжению направлении, но без вращения вибреля. Произойдет осадка (раскручивание и распрямление) вибреля, что поможет ему принять прежнюю форму. Вследствие этого несколько выровняются напряжения на различных участках струны, и высота её тона слегка понизится. Если величина перетяжки была избрана правильно, то после осадки вибреля в настраиваемом интервале установятся необходимые акустические характеристики, а если неправильно, то настройку следует повторить. Правильная осадка вибреля — это процедура стабилизации строя. Как правильно выполнять осадку вибреля, описать несложно, но, к сожалению, овладеть этим навыком по описанию нельзя, как нельзя по описанию научиться плавать, а можно только практически, путем личных проб и ошибок. Рука настройщика должна привыкнуть действовать правильно.

4. Настройку струны всегда следует заканчивать одним-двумя сильными ударами по клавише, после чего окончательно проверять точность настройки интервала. Если настройка сбилась, об этом сообщит изменение акустических характеристик интервала. Следовательно, действия по настройке были выполнены неправильно и настройку следует повторить до получения стабильного результата.

5. Иногда натяжение струны необходимо изменить на очень незначительную величину, а попытки получить нужный результат обычным способом оказываются чересчур грубы и приводят то к «недотяжкам», то к «перетяжкам». В подобных случаях опытные настройщики рекомендуют, плавно наращивая усилие, прилагаемое к рукояти ключа, привести напряжённую руку в состояние вибрации (проще говоря: мелкой дрожи) — и в какой-то момент вирбель непременно совершит «микроскопический» поворот. Если одного поворота будет недостаточно, приём следует повторить.

6. В процессе настройки следует избегать соблазна добиваться небольших изменений высоты тона не с помощью поворота вибреля в гнезде, а путём усиления или ослабления натяжения струны посредством скручивающего или изгибающего воздействия ключом на вирбель. Эффекта таким образом можно достичь, но такая настройка не продержится и нескольких минут.

7. Вирбель, который слишком легко вращается в гнезде, не сможет удерживать струну в нужном натянутом состоянии. Если у такого вирбеля между струнными кольцами (витками струны на нём) и кромкой его гнезда имеется свободный промежуток, вирбель следует слегка вколотить в гнездо одним-двумя осторожными и достаточно сильными ударами молотка через специальный подбойник или подходящий предмет из более мягкого металла, чтобы не повредить головку вирбеля. Если же свободного промежутка нет, то здесь поможет либо замена вирбеля на ремонтный (большого диаметра), либо реставрация гнезда. И замена вирбеля, и реставрация гнезда требуют знания и неукоснительного соблюдения ряда важнейших технологических правил. Поэтому, чтобы по незнанию не вывести музыкальный инструмент из строя, правильнее всего для выполнения ремонтных работ обратиться к услугам опытного специалиста.

8. Случается, что у музыкального инструмента вирбельные гнёзда значительно изношены и вирбели вращаются достаточно легко, но натяжение струн всё ещё удерживают, хотя подбивать их уже некуда. Такой инструмент долго держать строй не будет. Если нет возможности произвести ремонт, лучше сразу же выполнить настройку с понижением строя, который продержится дольше. Хотя следует знать, что у некоторых обладателей абсолютного или тонкого музыкального слуха звучание пониженного строя способно вызывать неприятие и даже отторжение, а стандарт звуковысотности продиктован не чьей-то прихотью, а соответствием высоты строя особенностям психофизиологии звуковысотного восприятия музыки. Если инструмент с пониженным строем используют в учебных целях, это может обернуться для ребёнка в лучшем случае привыканием к «неправильному» по высоте звучанию, а в худшем — возникновением и развитием нелюбви к музыке вообще. Поэтому имеет смысл при первой же возможности обратиться к специалисту для выполнения восстановительного ремонта.

ЗАВЕРШЕНИЕ НАСТРОЙКИ СТРУН ОБТЯЖКОЙ

У фортепиано система стабилизации строя крайне несовершенна. В этом несложно убедиться, если, настроив между двумя струнами хора акустически чистую приму и добросовестно выполнив все рекомендации по осадке вирбеля, всего лишь несильно надавить пальцем на одну из струн и послушать, как изменилось звучание. Непременно выяснится, что от акустической чистоты примы не осталось и следа. Но нестабильность положения фортепианных струн можно успешно использовать

в целях тончайшей настройки, потому что метод синхронизации вынуждает работать с максимальной точностью, а это становится возможным, если в технологию настройки ввести процедуру принудительной обтяжки струн.

Для этого рекомендуем изготовить специальное приспособление в виде медного наконечника, напрессованного на жало короткой крестообразной ручной отвёртки, с жёлобом, предохраняющим от соскальзывания со струны при нажиме на неё (рис. 12):

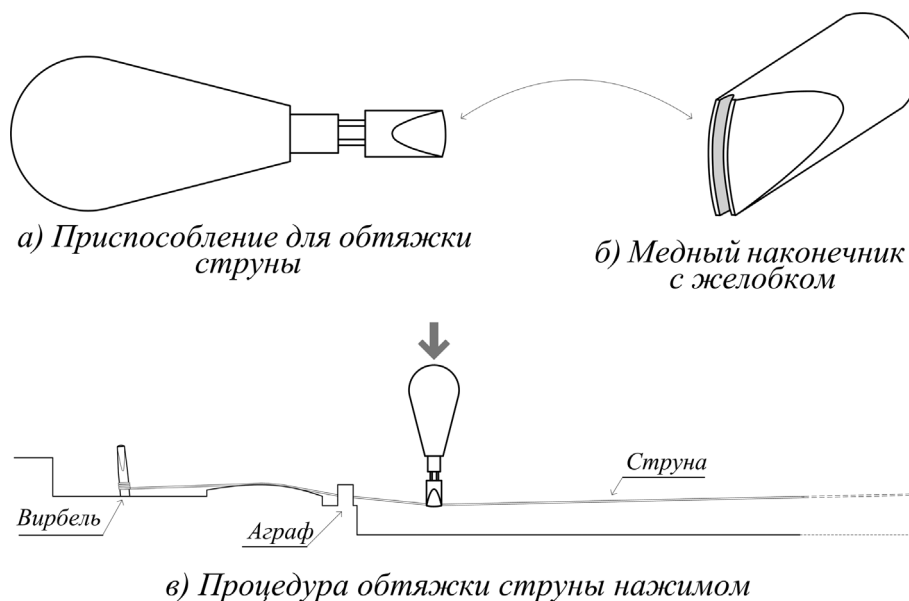


Рис. 12

Некоторые настройщики изготавливают аналогичное приспособление целиком из дерева твёрдых пород. Правило пользования приспособлением таково: сначала следует настроить струну с небольшой перетяжкой, затем осадить вирбель, получив в звучании настаиваемого интервала биения, близкие к необходимым, а затем обтянуть струну нажимом на неё (см. рис. 12) до окончательного установления необходимого темпа биений. Несколько упражнений помогут быстро выработать устойчивый навык, а применение процедуры обтяжки струн, как показывает практика, даст гораздо более стабильный строй, чем просто настройка с осадкой вирбеля. Обвитую струну, чтобы не повредить её навивку, следует обтягивать близ аграфа или клангштабика на свободном от навивки участке. Операция по обтяжке струн наиболее желательна при настройке области темперирования.

ВЫРАБОТКА НАВЫКА УПРАВЛЕНИЯ БИЕНИЯМИ

Умение настраивать фортепиано складывается из владения пятью техниками. Первая — построить нужный интервал; вторая — темперировать интервал в правильной зоне; третья — уверенно расслышать унисон или биения; четвёртая — придать унисону точность или биениям необходимый темп; пятая — обеспечить настроенному интервалу стабильность. Начинающему настройщику следует помнить о том, что, во-первых, настройка темперированных интервалов от их акустически чистого вида уберегает от ошибок в выборе правильной зоны темперации, потому что даже опытный настройщик, услышав интервал с биениями, не сможет уверенно определить, сужен он или расширен; а во-вторых, биения проще научиться слышать и распознавать не тогда, когда они уже присутствуют в звучании, а с момента, когда они возникают. Для практического овладения перечисленными техниками настройки предлагаем следующие приёмы.

Выбираем на фортепиано первый гладкострунный трёхструнный хор, следующий сразу же за хором, имеющим обвитые струны. Считая его нулевым (№ 0), заглушаем вторые и третьи струны в этом хоре и ещё в 12 хорах подряд (№№ 1—12), расположенных правее.

Настройка примы. Временно освобождаем в хоре № 0 вторую струну. Настраиваем её по первой струне так, чтобы оба звука от обеих струн сделались похожими друг на друга, как братья-близнецы. Затем, внимательно вслушиваясь в их совместное звучание, добиваемся, чтобы оба звука слились в один и из звучания полностью исчезли какие-либо динамические (по уровню громкости) изменения и неустойчивость. Когда звучание станет образно походить на бесконечную прямую чёткую линию безо всяких шероховатостей по краям, это означает, что между звуками образовалась акустически чистая прима. После этого медленно и плавно начинаем усиливать натяжение второй струны и внимательно слушаем, как в звучании примы возникает неустойчивость, которая затем перерастает во всё более отчётливые динамические пульсации в виде периодического изменения громкости звучания, делающиеся по мере усиления натяжения струны всё более быстрыми. Это и есть биения. Несколько раз изменяя силу натяжения струны в сторону понижения и повышения, слушаем, как вследствие этого изменяется темп биений. Устанавливаем на метрономе 2—3 различных темпа в пределах диапазона от 0,5 до 2—4 ударов в секунду (от 30♩ до 120♩—120♩) и производим синхронизацию темпа биений в звучании примы с темпом ударов метронома. При этом совершенно не важна величина темпа, а важно овладение техникой синхронизации. Добившись синхронности темпов, учимся стабилизировать интервал.

Настройка октавы. В прима участвуют два абсолютно одинаковых по высоте звука, которые настроить друг по другу несложно. С другими интер-

валами, где звуки имеют различную высоту, дело обстоит несколько сложнее. Поэтому всякий интервал предварительно строят как мелодический (последовательное исполнение звуков), а затем окончательно как гармонический (одновременное исполнение звуков). А для этого необходимо знать, как нужный интервал (в нашем случае октава) звучит в мелодическом исполнении. Новичкам в этом поможет воспоминание двух первых звуков знакомой мелодии. Например, восходящей октавой начинается песня композитора В. Соловьёва-Седого «Вечер на рейде»: «Спо-ём-те, друзья...»; или песня-призыв гномов к окончанию работ во всемирно известном мультфильме «Белоснежка и семь гномов», музыка Ф. Черчилла. Можно также вспомнить всем нам знакомую с детства гамму *до—ре—ми—фа— соль—ля—си—до*. В песнях между звуками, приходящимися на первый и второй слоги, или в гамме между первым и последним *до* — октава. Оставляем в хоре № 0 свободной одну струну. Вслух или мысленно поём (сольфеджируем) октаву так, чтобы её нижний звук совпал по высоте со звуком этой струны, и настраиваем свободную струну хора № 12 так, чтобы её звук совпал с верхним звуком сольфеджируемой октавы. Нажимаем одновременно клавиши хоров №№ 0 и 12, внимательно вслушиваемся в звучание и, корректируя верхний звук, добиваемся акустической чистоты октавы. Теперь, усиливая натяжение верхней струны, ловим на слух возникновение в звучании неустойчивости, затем биений, ускоряем и замедляем биения, синхронизируем их по темпу с ударами метронома, стабилизируем интервал.

Настройка квинты между хорами № 0 и № 7. Квинтами начинаются песня композитора А. Новикова «Дороги»: «Эх, до-роги...»; детская песенка «По ма-лину в сад пойдём...»; песня революционного времени «Вы жерт-вою пали...»; русская песня «Ни-что в полюшке не колышется...»; в гамме квинта между звуками *до* и *соль* (*до—ре—ми—фа— соль*). Сольфеджируем восходящую квинту так, чтобы её нижний звук совпал по высоте со звуком струны хора № 0, и настраиваем струну хора № 7 так, чтобы её звук совпал с верхним звуком сольфеджируемой квинты. Далее одновременно нажимаем обе клавиши хоров №№ 0 и 7, внимательно вслушиваемся в звучание квинты и, корректируя верхний звук, добиваемся её акустической чистоты. Затем, слегка ослабив натяжение струны хора №7 или услив натяжение струны хора № 0 (сузить квинту!), получаем в квинте биения, ускоряем их, замедляем, синхронизируем по темпу с ударами метронома, стабилизируем интервал. Проводя тренировку, следует быть внимательным. Ускоряя и замедляя биения в интервале, не следует нарушать границу нулевых биений, чтобы не перейти в неправильную зону темперации, потому что биения и в суженном, и в расширенном интервале звучат абсолютно одинаково, но ошибка в выборе зоны темперации хотя бы одного интервала неотвратимо заведёт всю настройку в тупик.

Настройка кварты между хорами № 0 и № 5. Кварта звучит между первыми звуками Гимна России (муз. А. Александрова), песни о бродяге «По ди-

ким степям Забайкалья...» или в гамме между звуками *до* и *фа* (*до—ре—ми—фа*). После настройки акустически чистой кварты биения следует получить путём усиления натяжения струны хора № 5 или ослабления струны хора № 0 (интервал расширенный!) и только в зоне расширения проводить все вышеописанные манипуляции с биениями.

Настройка большой сексты. Хоры № 0 и № 9; интервал расширенный; первые звуки новогодней песенки композитора Л. Бекмана «В ле-су родилась ёлочка», романса А. Варламова «Красный сарафан»: «Не шей ты мне, матушка...»; или в гамме между звуками *до* и *ля*;

Настройка большой терции. Хоры № 0 и № 4; интервал расширенный; три больших терции подряд мы слышим в шуточной песенке «Чи-жик - пыжик, где ты был?..»; в гамме это *до—ми*;

Настройка малой терции. Хоры № 0 и № 3; интервал суженный; первые звуки песни композитора Б. Мокроусова «Одинокая гармонь»: «Снова замерло всё до рассвета...», украинские песни «Йи-хав ко-зак за Дунай», «Рэ-вэ та й стогнэ Днипр широкий»; в гамме это *ре—фа, ми—соль, ля—до* или *си—ре*.

Остальные интервалы образуются в процессе настройки автоматически, и их при необходимости только проверяют.

УПРАВЛЕНИЕ МЕТАБИЕНИЯМИ

Научиться распознавать в звучании аккорда метабиения и управлять ими несколько сложнее, чем это было с биениями, но всё же возможно, если начать с акустически чистого аккорда. Между хорами № 0 и № 7 настраиваем акустически чистую квинту, а затем от хора № 7 нисходящую акустически чистую большую терцию. В результате между хорами № 0 и № 3 должна автоматически возникнуть акустически чистая малая терция. Теперь все три звука образуют акустически чистое минорное трезвучие основного вида. Однако в равномерно-темперированном строе квинта обязана быть суженной, поэтому повышаем звук струны хора № 0 до появления в звучании квинты 1 *б/сек.* (на метрономе следует установить 60♩). В результате малая терция тоже сузится и в её звучании должно автоматически возникнуть ровно 2 *б/сек.* (120♩ или 60♩), а большая терция (№ 3 — № 7) пока остаётся акустически чистой (0 *б/сек.*) Если теперь исполнить все три звука вместе, то есть трезвучие целиком, мы услышим пульсацию с темпом 2 *б/сек.*, которая одновременно есть и биения в малой терции, и метабиения, возникшие вследствие разности между темпами биений в обеих терциях (2 *б/сек.* — 0 *б/сек.* = 2 *мб/сек.*) Однако в равномерно-темперированном строе большая терция обязана быть расширенной. Поэтому понижаем звук струны хора № 3, расширяя большую терцию (№ 3 — № 7) до появления в её звучании

1 б/сек. (60 ♩) и при этом ещё сильнее сужая терцию малую. Если теперь проверить малую терцию, то выяснится, что в её звучании появились 3 б/сек. (60 ♩), а в звучании аккорда остались всё те же самые 2 мб/сек. (3 б/сек. — 1 б/сек. = 2 мб/сек.) Но на этот раз их следует слушать не среди биений в терциях, которые прослушиваются тоже, а в звучании всего аккорда, которое теперь пульсирует целиком, и его звучание можно образно сравнить с плавным периодическим покачиванием рыбацкого поплавка на неторопливых волнах. Если звук струны хора № 3 понизить ещё больше, например, до появления в звучании большой терции 4,5 б/сек. (135 ♩), то в звучании малой терции непременно образуется 6,5 б/сек. (195 ♩ или 130 ♩), а в звучании аккорда останутся всё те же 2 мб/сек. Плавно изменяя высоту звука струны хора № 3 то в сторону понижения, то в сторону повышения, мы будем слышать изменяющиеся биения в обеих терциях, но неизменные по темпу метабиения. Темп метабиений изменится только при условии изменения величины температуры квинты, но он всегда будет равен удвоенному темпу биений в квинте.

Взаимозависимость трёх интервалов по темпам биений характерна для всех трезвучий, но с той лишь разницей, что темп метабиений в мажорном трезвучии по сравнению с метабиениями в одноуровневом минорном трезвучии всегда выше и не кратен темпу биений в квинте, отчего мажор по пульсациям звучит жёстче и более «нервно».

ФУНКЦИЯ «ТРЕУГОЛЬНИКА» В НАСТРОЙКЕ

Традиционные технологии настройки фортепиано предполагают процесс, в котором интервалы строят друг от друга, то есть всякий вновь настроенный по интервалу звук служит исходным для настройки очередного интервала. Назовём такую форму процесса ленточной. При этом ошибки и погрешности, допущенные в настройке предыдущего интервала, перекочёвывают из него в последующий интервал, объединяются с очередными ошибками и погрешностями и в конечном итоге проявляются в накопленном виде в интервале, замыкающем строй, отчего конечный и исходный звуки практически никогда не совпадают. Это порождает необходимость возврата назад и коррекции уже настроенных интервалов. Настройка методом синхронизации, сводящая погрешности до минимума, при ленточной форме процесса тоже приводит к деформации замыкающего интервала, но причина её в противоположном. Здесь деформации строя в целом образуются не из-за допущенных неточностей в отдельных интервалах, а наоборот, вследствие именно высокой точности; а природа деформаций — в естественной негармоничности обертонов. Но, как мы уже говорили, критерием точности строя является не совпадение частот тонов и биений с расчётными, а «одинаковость» одноимённых интервалов по соотношениям частот

тонов в границах октав, которая проявляет себя как регулярность в изменениях темпов биений в последовательностях одноимённых интервалов. Темпы биений в исполняемых в хроматической последовательности одноимённых интервалах должны нарастать или убывать плавно, без контрастных перепадов и резких скачков. Метод синхронизации противопоставляет «ленточной» форме процесса «блочную», основанную на самых устойчивых к деформациям фигурах — треугольниках.

Музыкальное трезвучие представляет собой треугольник с вершинами-звуками и сторонами-интервалами, в звучании каждого из которых имеются биения. Все элементы треугольника-трезвучия имеют размерные параметры: звуки — частоты тонов, а интервалы — производные от частот тонов частоты биений. Любой аккорд можно рассматривать как систему треугольников: трезвучие — один треугольник; септаккорд — два треугольника, нонаккорд — три, ундецимаккорд — четыре, терцдецимаккорд — пять и т. д. Обращения трезвучий тоже состоят из треугольников, сторонами которых являются терция, кварта и секста. Ошибка или погрешность в любом параметре хотя бы одного элемента треугольника изменяет его форму. Поскольку его параметры являются параметрами примыкающих к нему других треугольников, его деформация неизбежно влечёт деформацию и их. А поскольку они воспроизводятся в каждой октаве, это выливается в деформацию строя в целом.

Музыкальный строй «закован в корсет» октав. Любые «цепочки» одноимённых интервалов не имеют права не совпадать крайними звуками с октавами или «цепочками» из октав. Следовательно, если какой-либо интервал делается уже или шире, это влечёт автоматическое перераспределение между интервалами так называемой темперационной нагрузки и вследствие этого другой одноимённый интервал изменяется наоборот, становится на ту же величину шире или уже. Ленточная настройка интервалами не в состоянии избежать такого перераспределения и потому неизбежно производит интервалы, в той или иной степени разноразмерные, в то время как настройка методом синхронизации позволяет производить равноразмерные «треугольники», благодаря чему автоматически делаются равноразмерными и все одноимённые интервалы. Настройку по этому методу осуществляют путём коррекции всех трёх интервалов настраиваемого трезвучия до максимального совпадения темпов биений во всех трёх интервалах с эталонными темпами по метроному. Подчеркнём особо: до максимального, но не до абсолютного, потому что при абсолютном совпадении темпов в двух любых интервалах в третьем интервале темп непременно не совпадёт, и «треугольник» не замкнётся. Однако практика показывает, что при достижении во всех трёх интервалах трезвучия максимального совпадения темпов биений с темпами ударов метронома, слух не обнаруживает между этими темпами сколько-нибудь значительного различия даже у малогабаритных пианино.

Настройка «треугольниками» — это базовый принцип настройки методом синхронизации, поэтому исследуем его теоретическую составляющую

более основательно, смоделировав ситуацию и произведя расчёты на базе параметров мензуры малогабаритного пианино модели С-13, где негармоничность обертонов очень высока и различия должны получиться наиболее значительными. Возьмём трезвучие, общие звуки смежных интервалов которого имеют одинаковые для обоих интервалов совпадающие гармоники, например, фаминорный секстаккорд $a-c_1^\#-f_1^\#$ со стандартными частотами тонов и, соответственно, биений: в большой терции $a-c_1^\# (\Gamma_5^n - \Gamma_4^a) + 8,73$ б/сек.; в кварте $c_1^\#-f_1^\# (\Gamma_4^n - \Gamma_3^a) + 1,25$ б/сек.; в большой сексте $a-f_1^\# (\Gamma_5^n - \Gamma_3^a) + 9,98$ б/сек. Исходные физические параметры соответствующих струн в системе мер «кг/см/сек» таковы:

звук a : $f^0 = 220$ Гц; $l = 77,9$ см; $d = 0,1$ см; $T = 73,8$ кг; $\sigma = 9401,27$ кг/см².

звук $c_1^\#$: $f^0 = 277,12$ Гц; $l = 63,15$ см; $d = 0,1$ см; $T = 77$ кг; $\sigma = 9808,92$ кг/см².

звук $f_1^\#$: $f^0 = 369,92$ Гц; $l = 48,6$ см; $d = 0,095$ см; $T = 73,4$ кг; $\sigma = 10360,46$ кг/см².

Напряжение (σ) в материале струн рассчитано по формуле:

$$\sigma = \frac{4T}{\pi d^2},$$

где T — величина натяжения струны. Итак, если:

$$f' = f^0 n \left(1 + \frac{\pi n^2}{32} \cdot \frac{E d^2}{\sigma l^2} \right),$$

а модуль упругости стали E , из которой изготовлена струнная проволока, составляет 200000 МПа, или 2029432,4 кг/см², то:

$$f_a^5 = 220 \cdot 5 \left(1 + \frac{3,14 \cdot 5^2}{32} \cdot \frac{2039432,4 \cdot 0,1^2}{9401,27 \cdot 77,9^2} \right) = 1100 \cdot 1,00092 = 1101,012 \text{ Гц};$$

$$f_{c_1^\#}^4 = 277,12 \cdot 4 \left(1 + \frac{3,14 \cdot 4^2}{32} \cdot \frac{2039432,4 \cdot 0,1^2}{9808,92 \cdot 63,15^2} \right) = 1108,48 \cdot 1,00052 = 1109,056 \text{ Гц};$$

$$f_{f_1^\#}^3 = 369,92 \cdot 3 \left(1 + \frac{3,14 \cdot 3^2}{32} \cdot \frac{2039432,4 \cdot 0,095^2}{10360,46 \cdot 48,6^2} \right) = 1109,76 \cdot 1,00075 = 1110,59 \text{ Гц}.$$

Таким образом, вследствие негармоничности обертонов фактическая частота Γ_5 звука a составляет 1101,012 Гц; частота Γ_4 звука $c_1^\#$ 1109,056 Гц; частота Γ_3 звука $f_1^\#$ 1110,59 Гц. Следовательно, фактическая частота биений в большой терции $a-c_1^\#$ должна составить +8,046 б/сек.; в кварте $c_1^\#-f_1^\#$ +1,532 б/сек.; в большой сексте $a-f_1^\#$ +9,578 б/сек. Всё это — разности между фактическими частотами гармоник. Определяем величины соотношений фактической

и расчётной частот биений путём деления меньших величин на бóльшие. В большой терции $a-c_1^\sharp$ она составит 0,9488 (8,046:8,48); в кварте $c_1^\sharp-f_1^\sharp$ 0,8355 (1,28:1,532); в большой сексте $a-f_1^\sharp$ 0,98 (9,578:9,76). Как мы видим, дисбаланс значительный, а нам желательно, чтобы соотношения во всех трёх интервалах были одинаковы. Для этого определяем усреднённую величину соотношений:

$$(0,9488+0,8355+0,98) : 3 = 0,9345.$$

Пересчитанная на эту величину частота биений в большой терции составит: $+8,48 \cdot 0,9345 = +7,92$ б/сек.; в кварте: $+1,28 \cdot 0,9345 = +1,2$ б/сек.; в большой сексте: $+9,76 \cdot 0,9345 = +9,12$ б/сек.

В нашем трезвучии опорным (то есть неизменяемым) будем считать звук a , потому что он напрямую связан октавой с исходным звуком a_1 . Следовательно, мы имеем право корректировать только два других звука. Итак, если путём коррекции их частот мы добьёмся установления в интервалах новых расчётных частот биений и при этом «треугольник» замкнётся (то есть «конечная» гармоника совпадёт по частоте с нею же в качестве «исходной»), значит наши суждения верны и температурная нагрузка совместно с «материалом погрешностей» принципиально могут быть пропорционально распределены по всем трём интервалам трезвучия.

При «исходной» частоте гармоники Γ_5 звука a 1101,012 Гц и новой частоте биений в большой терции $a-c_1^\sharp+7,92$ б/сек. частота Γ_4 звука c_1^\sharp составит 1108,932 Гц (1101,012+7,92). При частоте Γ_4 звука c_1^\sharp 1108,932 Гц и частоте биений в кварте $c_1^\sharp-f_1^\sharp+1,2$ б/сек. частота Γ_3 звука f_1^\sharp составит 1110,132 Гц. (1108,932+1,2). При частоте Γ_3 звука f_1^\sharp 1110,132 Гц и частоте биений в большой сексте $a-f_1^\sharp+9,12$ б/сек. «конечная» частота Γ_5 звука a составит 1101,012 Гц (1110,132-9,12; обращаем внимание: здесь применено вычитание, потому что звук a есть нижний звук расширенного интервала). Как мы видим, частота Γ_5 звука a в большой терции $a-c_1^\sharp$ и частота Γ_5 звука a в большой сексте $a-f_1^\sharp$ полностью совпали, то есть треугольник «замкнулся».

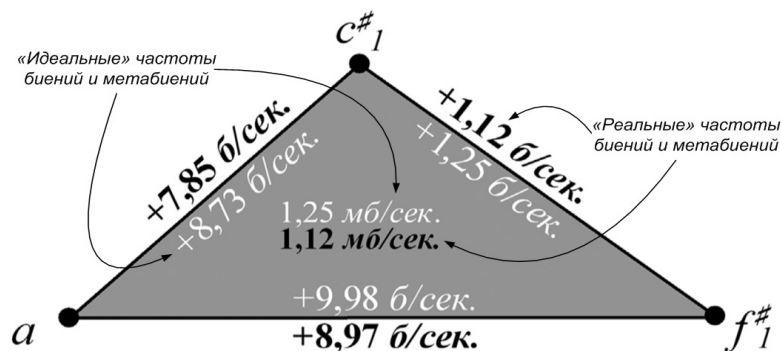


Рис. 13

Исследованное трезвучие графически выглядит так, как это показано на *рис. 13*. Фактические частоты рассчитаны с поправками на негармоничность обертонов и пропорциональное распределение температурной нагрузки по всем трём интервалам (подобные расчёты на материале трезвучий, где звуки участвуют в смежных интервалах различными совпадающими гармониками, например, мажорный секстаккорд $d-f-b$, значительно сложнее, но приводят к такому же конечному результату). У исследованного трезвучия все четыре параметра изменились по отношению к «идеальным» всего на 6,5%, что едва ли уловимо на слух. И это у малогабаритного пианино. А у концертного рояля аналогичные сопоставляемые параметры будут настолько близки по величинам к «идеальным», что различия в их темпах окажутся вовсе далеко за пределами слухового восприятия. И потому нет оснований сомневаться в том, что настроенный таким образом секстаккорд олицетворяет самую равномерную из возможных температур, к какой стремятся все настройщики фортепиано.

Отметим особо — такое распределение возможно только благодаря применению генератора эталонных биений. Потому что в традиционных методиках трезвучие образуется не как продукт настройки каждого из трёх его интервалов, а как следствие настройки квинт и кварт. Неизбежные при их настройке ошибки и погрешности принудительно вменяются в наследство терциям и их обращениям, секстам, да к тому же величины этих погрешностей помножены на коэффициенты «чувствительности». Отсюда нерегулярности изменения темпов биений в хроматических (через полутон) последовательностях терций и секст, свидетельствующие о нарушенной равномерности температуры, и, как следствие, недостаточное качество трезвучий как основы гармонии. Но если разрозненно настраиваемые интервалы и трезвучия поменять ролями, ситуация радикально изменяется. Технологически это выглядит так. Нужно все три интервала трезвучия настраивать в режиме итерации, то есть попеременно возвращаясь к каждому из них до тех пор, пока всё трезвучие не приобретёт нужное качество. А качество — это максимальное совпадение темпов биений во всех трёх интервалах и метабиений в трезвучии с эталонными темпами, заданными метрономом. При такой настройке ошибки обнаруживают себя и устраняются сразу же, а погрешности сводятся к минимуму, к тому же их «движение» полностью заблокировано, поскольку «вырваться» за пределы «треугольника» им уже не дано.

Чем объяснить, что, несмотря на нарушение «натуральности» интервалов, равномерно-темперированный строй всё-таки благозвучен, что и обеспечило его доминантное положение в современной музыке? А тем, что, во-первых, при правильной настройке естественная сонантность звуков его созвучий нарушается незначительно, а во-вторых, все пульсации в его аккордах в виде биений, «растворяющихся» в метабиениях, и метабиений, «растворяющихся» в метабиениях более высокого уровня, в конечном итоге приходят к нулю, что несложно проверить математически, то есть его аккорды уподобляются по темпоритмической организации аккордам строя натурального.

В контексте видения музыкального строя как набора «треугольников» область темперирования может быть представлена в виде системы из восьми трезвучий, образующих четыре однотипных блока, опорные звуки которых надёжно «привязаны» к исходному тону пятью интервалами, различными по частотам биений и легко проверяемыми (рис. 14).

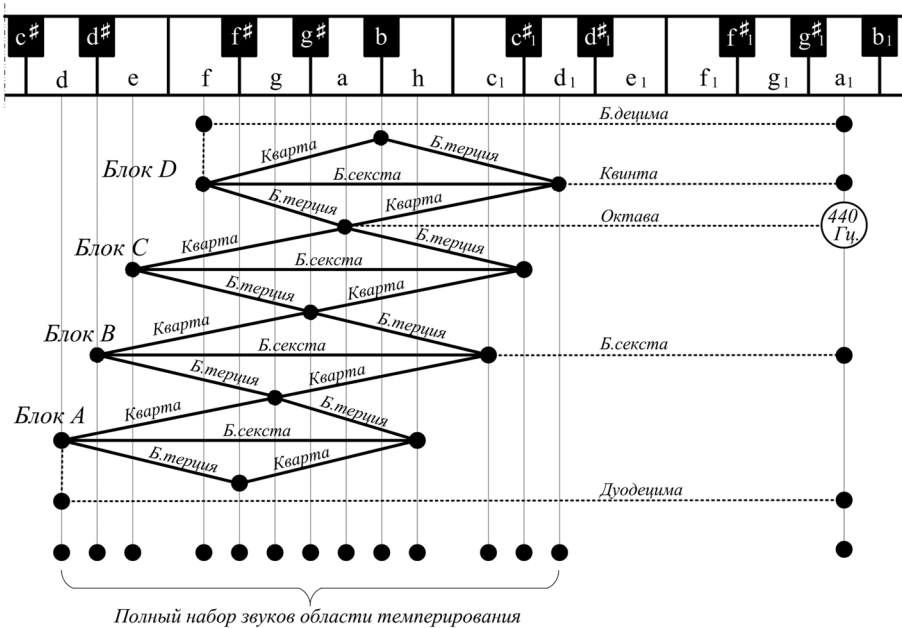


Рис. 14

Обоснуем причины выбора области темперирования $d-d^1$.

1. Когда исходный тон включён в состав звуков области темперирования, он связан с большим количеством этих звуков «непроверяемыми» интервалами (малые и большие секунды и септимы), «трудопроверяемыми» интервалами (малые терции, тритоны, малые сексты), и интервалами, дающими низкую точность в настройке (квинты, кварты, октавы). Остаются только легко проверяемые и дающие максимальную точность большая терция и большая секста, связывающие исходный тон с 2 звуками. Следовательно, относительно исходного тона большинство звуков будет настроено не непосредственно, а опосредованно, через другие интервалы; и потому такая настройка максимально точной быть не может. Объявленная область темперирования $d-d^1$ значительно удалена от исходного тона a_1 и «привязана» к нему акустически чистой октавой $a-a_1$, «низкоскоростными» (по темпам биений) квинтой d_1-a_1 и дуодецимой $d-a_1$ и «высокоскоростными» большой децимой $f-a_1$ и большой секстой c_1-a_1 . Наличие проверочных интервалов с такими различными ха-

рактическими характеристиками обеспечивает очень точную привязку к исходному тону 5 опорных звуков, а через них и всех остальных звуков области темперирования.

2. Струны на этом участке звукового диапазона фортепиано имеют самое благоприятное соотношение диаметров сечения, длин рабочих участков и величин напряжения, от которых напрямую зависит степень негармоничности обертонов. Следовательно, погрешности в настройке на этом участке будут минимальны.

3. Звуки на этом участке и не слишком низки, и не слишком высоки, что благоприятно сказывается на восприятии их на слух по тембрам.

4. Звуки на этом участке имеют достаточную длительность звучания, то есть очень медленно затухают; следовательно, при настройке легче поддерживать сравнительно постоянный уровень громкости, что облегчает процесс слухового контроля настройки.

5. Звуки на этом участке — ещё не басы, но уже богато насыщены обертонами, что делает биения яркими, а темпы биений в интервалах не слишком медленны и не слишком быстры, что позволяет уверенно воспринимать их на слух и хорошо различать.

6. Фортепиано с его огромным суммарным натяжением струн, распределённым по всему звуковому диапазону, представляет собой с точки зрения механики напряжённо-равновесную систему, которая удерживается в состоянии равновесия надёжными опорными конструкциями (деревянный футор, металлическая рама, вирбельбанк и др.) Однако процесс настройки неизбежно выводит эту систему из одного равновесного состояния и переводит в другое. При этом изменение сил натяжения струн на одном участке вызывает нежелательное изменение сил натяжения струн на других участках в виде реакций на перераспределение нагрузок на опорные конструкции. Поскольку участок $d-d_1$ расположен в непосредственной близости от шпрейца металлической рамы (мощной продольной опорной балки, функция которой — противостоять нагрузкам от натяжения), он менее других подвержен деформирующим воздействиям извне и потому лучше сохраняет «эталонный» строй на всех этапах настройки.

ПЛАН НАСТРОЙКИ ОБЛАСТИ ТЕМПЕРИРОВАНИЯ МЕТОДОМ СИНХРОНИЗАЦИИ

I ЭТАП. На этом этапе (схема на *рис. 15*) производится настройка двух первых опорных звуков области темперирования, f и a , с их надёжной привязкой к достаточно отдалённому исходному тону a_7 .

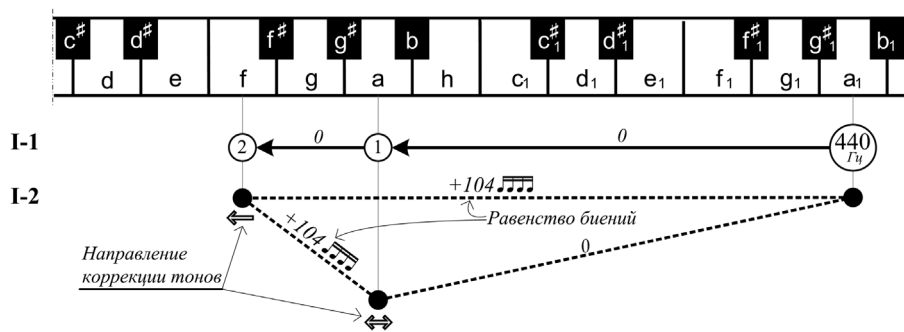


Рис. 15

- I-1.** 1) По камертону или тюнеру настроить исходный тон a_1 (большой белый кружок) на стандартную частоту 440 Гц.
 2) От звука a_1 , пока не заботясь о точности, предварительно настроить без биений нисходящую октаву $a-a_1$.
 3) От звука a , тоже пока не заботясь о точности, предварительно настроить без биений нисходящую большую терцию $f-a$, в результате чего образуется большая децима $f-a_1$.
- I-2.** 4) Слегка понизить звук f и, корректируя его по высоте в сторону повышения, синхронизировать темп биений в звучании расширенной (+) децимы $f-a_1$ с указанным на схеме темпом ударов метронома.
 5) Корректируя по высоте звук a , синхронизировать темп биений в звучании расширенной (+) терции $f-a$ с темпом ударов метронома.
 6) Нажав одновременно клавиши f , a и a_1 , вслушаться в характер биений в звучании всего трезвучия. При правильной настройке биения в дециме и терции должны полностью совпасть и быть чёткими (не «размытыми»), а метабиения в звучании трезвучия должны полностью отсутствовать.
 7) При обнаружении признаков метабиений процедуры 4) и 5) повторить до их устранения.
 8) Проверить акустическую чистоту октавы $a-a_1$.

Примечание. Опытный настройщик, настроив исходный звук a_1 , в состоянии сразу же, в один приём, настроить от него нисходящую расширенную большую дециму $f-a_1$, добившись в ней совпадения темпа биений с частотой ударов метронома, а затем от звука f настроить на тот же темп биений восходящую расширенную большую терцию $f-a$, что значительно сократит технологическое время на выполнение процедур данного этапа. При этом автоматически возникает очень точная октава $a-a_1$.

II ЭТАП. На этом этапе (рис. 16) производится настройка и привязка к исходному тону габаритных звуков области темперирования d и d_1 и прове-

ряются межинтервальные связи и отношения в аккордах, возникших с участием всех настроенных к этому моменту звуков. Кстати, читателю следует обратить внимание на то, что здесь и далее на каждой схеме сразу же под изображением фортепианной клавиатуры изображена вереница уже настроенных к началу этапа звуков (в данном случае это звуки f , a и a_1).

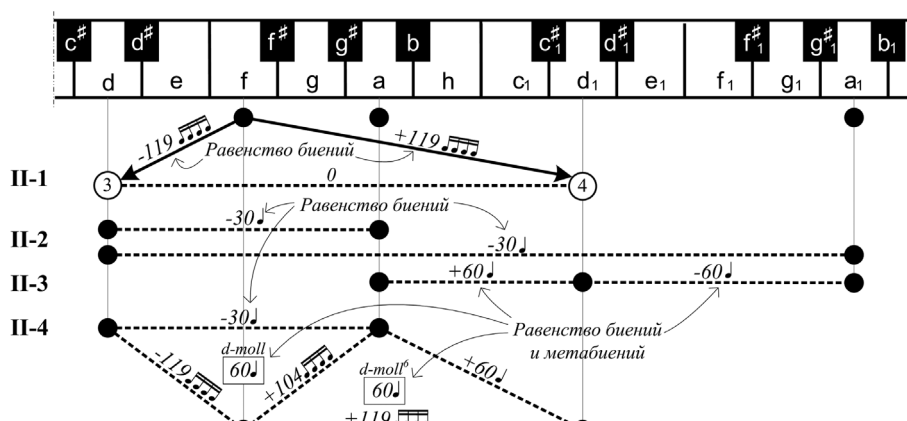


Рис. 16

- II-1.** 1) От звука f настроить нисходящую суженную (—) малую терцию $d-f$ с указанным на схеме темпом биений.
 2) От звука f настроить с таким же темпом биений восходящую расширенную (+) большую сексту $f-d_1$.
 3) Сопоставить темпы биений в терции и сексте. Они должны быть равны.
 4) Нажать одновременно клавиши d , f и d_1 и вслушаться в звучание трезвучия. Биения в терции и сексте должны полностью совпасть, а метабиения, которые свидетельствовали бы о неравенстве биений, должны отсутствовать. При обнаружении признаков метабиений процедуры 1) и 2) повторить до их устранения.
 5) Проверить точность октавы $d-d_1$.
- II-2.** 6) Сопоставить темпы биений в квинте $d-a$ и дуодециме $d-a_1$. Они должны быть равны.
- II-3.** 7) Сопоставить биения в кварте $a-d_1$ и квинте d_1-a_1 . Они должны быть равны.
- II-4.** 8) Сопоставить темпы метабиений в аккордах $d-moll$ (этот аккорд возникает автоматически) и $d-moll^6$. Они должны быть равны и у обоих аккордов должно наблюдаться сходство в тембре звучания, которое при одновременном исполнении этих аккордов измениться не должно.
 9) Рекомендуем обратить внимание на то, что аккорд $d-moll^6$ есть половинная часть блока D (см. рис. 14), а аккорд $d-moll$ содержит в себе малую терцию $d-f$, которая является межблочным интер-

валом, связующим полупостроенный блок D с будущим блоком A , и квинту $d-a$, которая тоже является межблочным интервалом, связующим блок D с будущим блоком C . Следовательно, от точности этих интервалов и в целом конструкции аккорда d -moll напрямую будет зависеть соположение названных блоков в системе строя.

Примечание. Исходя из того, что звуки a и a_1 уже настроены, настройку звуков d и d_1 можно выполнить и по-другому: от звука a настроить нисходящую квинту $d \leftarrow a$ с темпом биений $-30 \downarrow$, затем от того же звука настроить восходящую кварту $a \rightarrow d_1$ или от звука a_1 настроить нисходящую квинту $d_1 \leftarrow a_1$; в обоих случаях с темпом биений $\pm 60 \downarrow$. Выполнив настройку d и d_1 , следует проверить её правильность по нулевым биениям в октаве $d-d_1$, а также по равенству темпов биений в малой терции $d-f$ и большой сексте $f-d_1$ и соответствию их эталонным темпам.

III ЭТАП. На этом этапе (рис. 17) производится дотройка блока D ($f-a-b-d_1$), часть которого уже была построена в ходе двух предыдущих этапов.

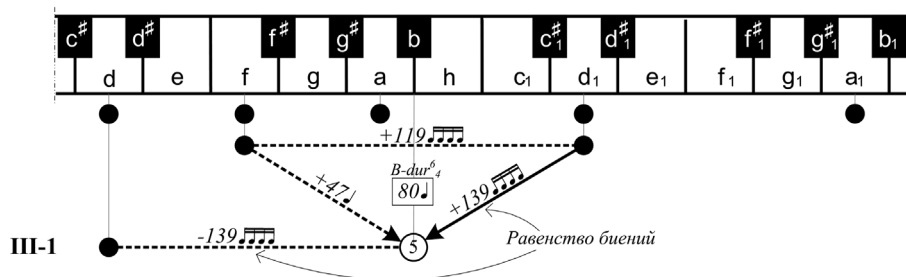


Рис. 17

- III-1.** 1) От звука d_1 настроить на указанный на схеме темп биений нисходящую большую терцию $b-d_1$.
 2) Проверить точность построения кварты $f-b$.
 3) Сопоставить темпы биений в малой сексте $d-b$ и большой терции $b-d_1$.
 4) Проверить темп метабиений в аккорде B -dur $\frac{6}{4}$; при необходимости отрегулировать его посредством тонкой коррекции звука b , приняв во внимание, что метабиения образуются из разности биений в терции и сексте, и, следовательно, при понижении звука b их темп будет возрастать и наоборот.

IV ЭТАП. На этом этапе (рис. 18) осуществляется равномерное распределение энгармонической коммы долями по $\frac{1}{3}$ между тремя смежными

большими терциями, образующими чистую октаву $d-d_1$, а также достройка блока A ($d-f^\sharp-g-h$) и проверка его соположения с блоками B и D в системе строя.

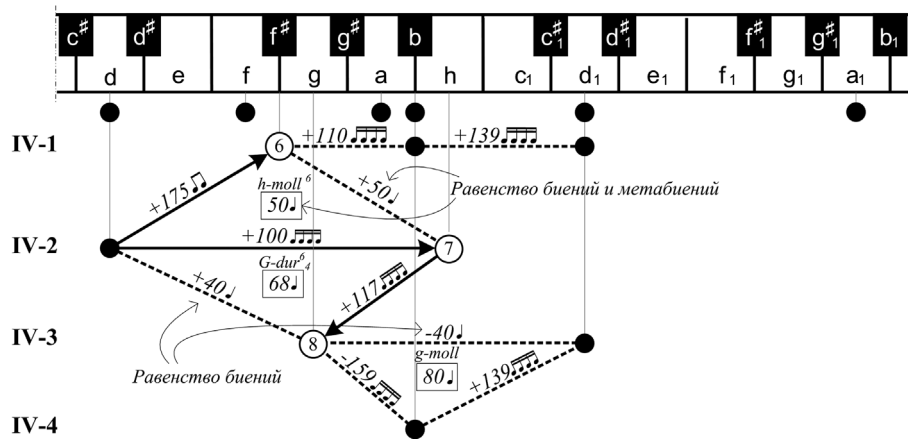


Рис. 18

- IV-1.** 1) Настроить от звука d восходящую большую терцию $d-f^\sharp$.
 2) Имея ранее настроенную большую терцию $b-d_1$, проверить темп биений в связующей их автоматически возникшей большой терции $f^\sharp-a^\sharp(b)$. Совпадение его с эталонным темпом по метроному послужит свидетельством равномерного распределения энгармонической коммы по всем трём большим терциям, составляющим в сумме октаву $d-d_1$. В случае несовпадения привести биения во всех трёх терциях к максимальному совпадению с эталонными посредством поправки сбившейся настройки звука d или d_1 , или тонкой коррекции звука f^\sharp или $a^\sharp(b)$. При правильной настройке звуки $d, f^\sharp, a^\sharp(b)$ и d_1 следует считать настроенными окончательно.
- IV-2.** 3) Настроить по биениям от звука d восходящую большую сексту $d-h$, контролируя при этом точность настройки по биениям в кварте $f^\sharp-h$.
 4) Сверить с эталонным темп метабиений в аккорде $h-moll^6$, который к тому же должен совпасть с темпом биений в кварте $f^\sharp-h$.
- IV-3.** 5) Настроить по биениям от звука h нисходящую большую терцию $g-h$, контролируя при этом точность настройки по биениям в кварте $d-g$.
 6) Сверить с эталонным темп метабиений в аккорде $G-dur^6_4$.
- IV-4.** 7) Проверить темп метабиений в автоматически возникшем аккорде $g-moll$ и темпы биений в его интервалах, которые являются межблочными и связывают блок A с будущим блоком B и уже настроенным блоком D .

V ЭТАП. На этом этапе (рис. 19) производится выстраивание блока *C* ($e-g^\#-a-c^\#$) и выверяется его соположение с блоками *A* и *B* в системе строя посредством проверки и коррекции межблочных интервалов.

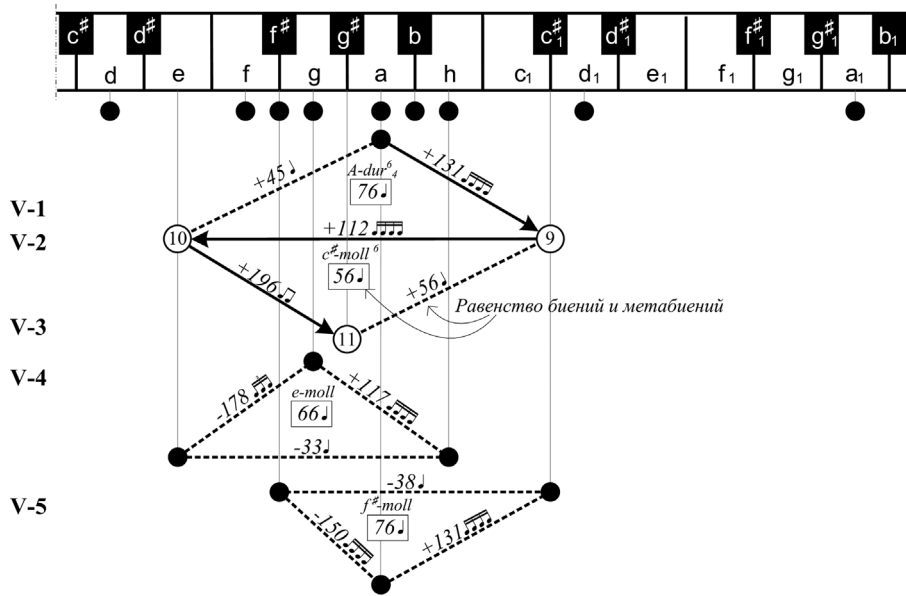


Рис. 19

- V-1.** 1) От звука *a* настроить на указанный на схеме темп биений восходящую большую терцию $a-c_1^\#$.
- V-2.** 2) От звука $c_1^\#$ настроить на указанный на схеме темп биений нисходящую большую сексту $e-c_1^\#$, особенно тщательно контролируя при этом темп биений в замыкающей «треугольник» аккорда $A-dur_4^6$ кварте $e-a$ и темп метабиений в аккорде. Требование тщательного контроля связано с замыканием настроенной части строя через кварту на опорный звук *a* (он же — октавное повторение исходного).
- V-3.** 3) От звука *e* настроить на указанный на схеме темп биений восходящую большую терцию $e-g^\#$, контролируя при этом темп биений в замыкающей «треугольник» аккорда $c^\#-moll_6$ кварте $g^\#-c_1^\#$ и темп метабиений в аккорде, который должен совпадать с темпом биений в кварте.
- V-4.** 4) Проверить темп метабиений в автоматически возникшем аккорде $e-moll$ и темпы биений в его интервалах, которые являются межблочными, связующими блок *C* с блоками *A* и *B*.
- 5) Особое внимание следует обратить на квинту $e-h$. Именно в ней в виде чрезмерных биений чаще всего проявляются погрешно-

сти в соположении блоков A и C , допущенные при настройке. Поэтому в первую очередь следует откорректировать «привязанный» к опорному звуку a звук e , который необходимо поместить в чрезвычайно узкое «пространство» между расширенной квартой $e-a$ (+45♭) и суженной квинтой $e-h$ (-33♭), контролируя темпы биений в них.

- 6) После этого от звука e завершить коррекцию блока C ($e-g^\#-a-c^\#$), а от звука h коррекцию блока A ($d-f^\#-g-h$) и затем окончательно проверить точность октавы $d-d_1$ по равенству биений в терции $d-f$ и сексте $f-d_1$, а также кварте $d-g$ и квинте $g-d_1$, корректируя звук d_1 .

Примечание. Исходя из того, что звуки a и h уже настроены, настройку звуков блока C тоже можно выполнить по-другому: 1) Настроить звук e одновременно от звука a по нисходящей кварте $e\leftarrow a$, а также от звука h по нисходящей квинте $e\leftarrow h$ с указанными на схеме темпами биений, «поместив» звук e в чрезвычайно «тесное» пространство между расширенной квартой и суженной квинтой; это пространство настолько «тесно», что при настройке такого «квинто-квартового» звука ошибиться практически невозможно. 2) Затем от звука e настроить по эталонным биениям восходящую большую терцию $e\rightarrow g^\#$. 3) Затем, исходя из того, что звуки $f^\#$ и $g^\#$ настроены, настроить звук $c_1^\#$ одновременно от звука $f^\#$ по восходящей квинте $f^\#\rightarrow c_1^\#$, и восходящей кварте $g^\#\leftarrow c_1^\#$ с указанными на схеме темпами биений, опять же «поместив» звук $c_1^\#$ в «тесное» пространство между расширенной квартой и суженной квинтой. 4) Проверить точность настройки по эталонным биениям в автоматически возникшей большой сексте $e-c_1^\#$ и другим «высокоскоростным» интервалам.

VI ЭТАП. Этот этап (рис. 20) завершает настройку области темперирования, в ходе которой строится блок B ($d^\#-g-g^\#-c_1$).

- VI-1.** 1) От звука g настроить нисходящую большую терцию $d-g$.
2) Следует сразу же проверить расположение звука $d^\#$ в «тесном» промежутке между уже настроенными расширенной квартой $d^\#-g^\#$ и суженной квинтой $d^\#-a^\#(b)$ по биениям в них.
- VI-2.** 3) От звука $d^\#$ настроить восходящую большую сексту $d^\#-c$.
4) Следует сразу же проверить расположение звука c в «тесном» промежутке между уже настроенными расширенной квартой $g-c$ и суженной квинтой $f-c$ по биениям в них.

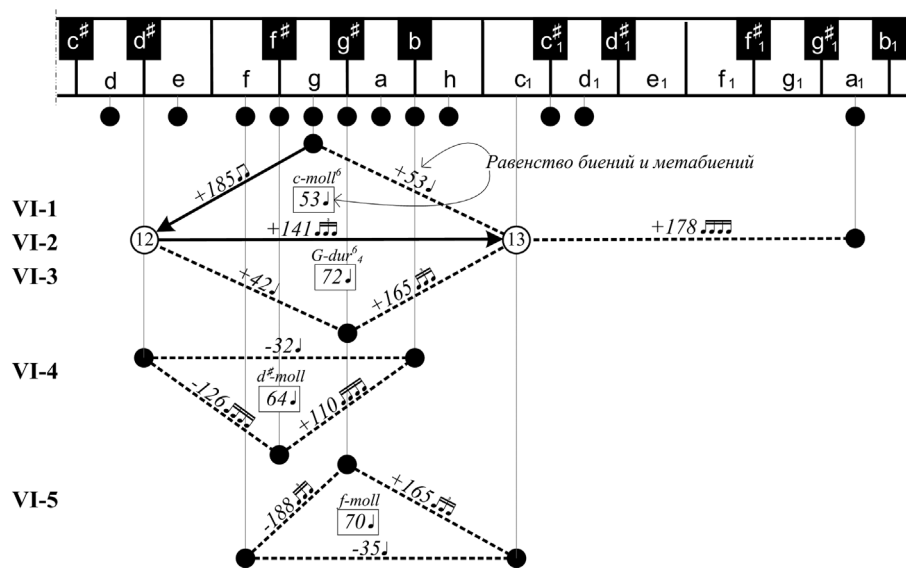


Рис. 20

- 5) Полезно осуществить дополнительную проверку точности отстояния звука c и через него всего блока B от исходного звука a , по биениям в большой сексте $c_1 - a_1$.
- VI-3. 6) Проконтролировать метабиения в аккорде $c\text{-moll}^6$, их темп должен совпадать с темпом биений в кварте $g - c_1$.
- 7) Проконтролировать метабиения в аккорде $G\text{-dur}^6$.
- VI-4. 8) Проконтролировать темпы биений в интервалах аккорда $d^2\text{-moll}$, которые являются межблочными и определяют соположение блока B с блоками A и D в системе строя, а также темп метабиений в этом аккорде.
- VI-5. 9) Проконтролировать темпы биений в интервалах аккорда $f\text{-moll}$, которые являются межблочными и определяют соположение блока B с блоками C и D в системе строя, а также темп метабиений в этом аккорде.

Примечание. По аналогии с вышеприведёнными примечаниями к предыдущим этапам настройку звука d^\sharp можно произвести по нисходящим кварте $d^\sharp \leftarrow g^\sharp$ и квинте $d^\sharp \leftarrow a$, звука c_1 — по восходящим кварте $g \rightarrow c_1$ и квинте $f \rightarrow c_1$, а затем проверить точность настройки по эталонным биениям в автоматически возникшей большой сексте $d^\sharp - c_1$ и другим «высокоскоростным» интервалам.

Таким образом, мы познакомились с планом настройки области темпирования методом синхронизации, разделённым на этапы, операции и процедуры и сопровождаемым комментарием. Без разбивки на операции

и процедуры и без сопровождающего комментария этот же план выглядит так (рис. 21 а и б).

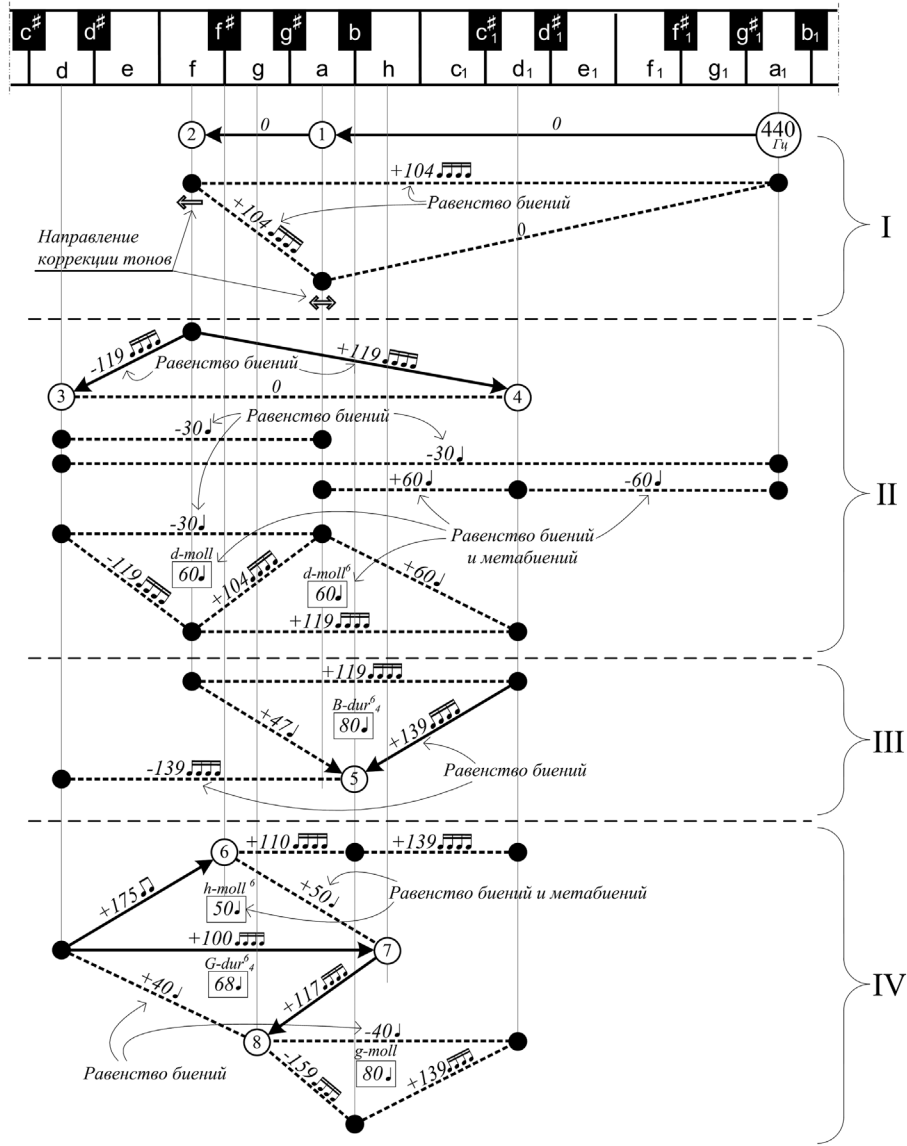


Рис. 21а

Набравшись опыта работы по этому плану, настройщик непременно обретёт способность не только самостоятельно изменять порядок процедур и операций в предлагаемом плане, но даже сочинить собственный план и применить другую область темперирования. Однако это даст положительный результат только при условии, если останутся неизменными главные принципы: настройка внутриблоковыми трезвучиями и контроль правильности построе-

ния межблоковых интервалов ещё до того, как будут окончательно построены сами блоки (в противном случае при обнаружении ошибок в межблоковых интервалах уже настроенные блоки придётся перенастраивать заново).

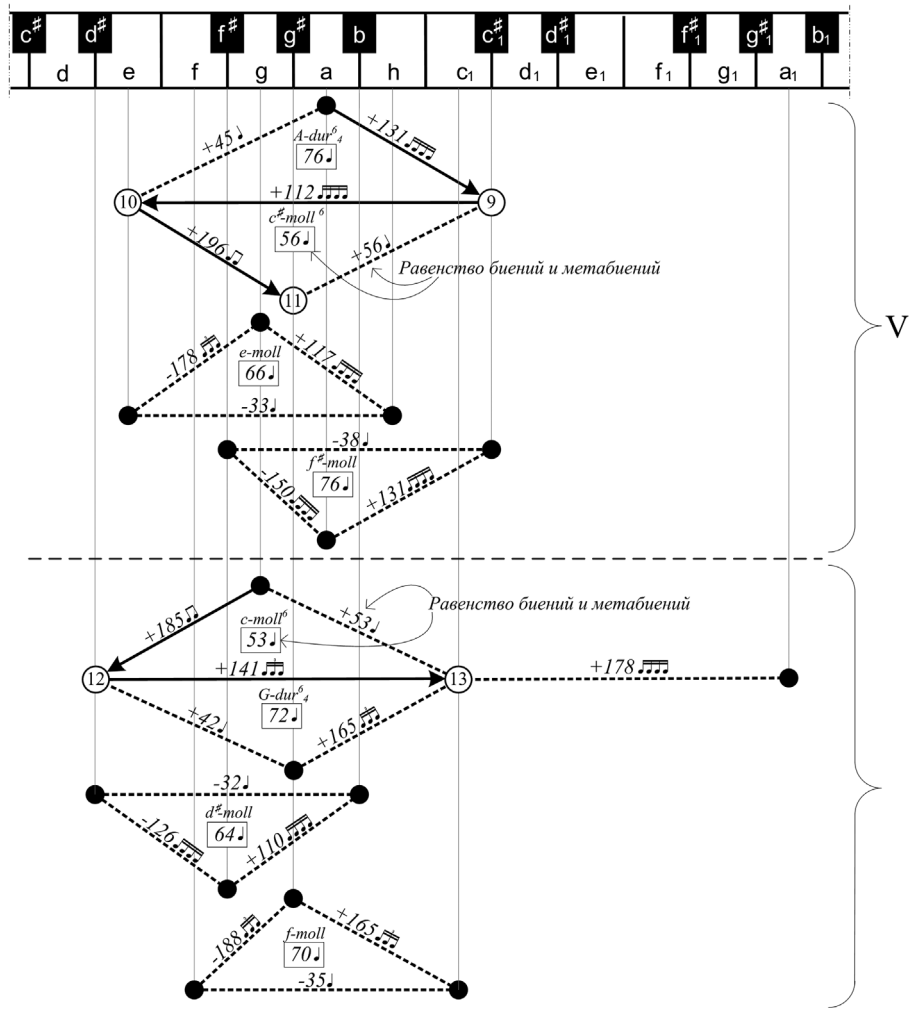


Рис. 216

Приведённый план изобилует количеством контрольных действий. И новичку, и опытному настройщику, переходящему на метод синхронизации, рекомендуем поначалу выполнять эти действия во всей полноте. Но такое будет продолжаться недолго, потому что с развитием навыка разовьётся и представление об эталонном звучании аккордов. И тогда необходимость сверять темп биений в каждом контролируемом интервале с ударами метронома постепенно отпадёт, и в конечном итоге всё сведётся к настройке по метроному только «настроечных» интервалов, а аккорды станут проверяться лишь по качеству их окончательного звучания.

Для игры в ансамбле два и более фортепиано обычно настраивают методом сведёния, то есть собственно настраивают один инструмент, а звуки других подстраивают к нему в унисон, иначе одинакового звучания не получается. Уверенно овладев методом синхронизации, настроив два фортепиано каждое в отдельности и сравнивая их одноимённые звуки и аккорды на слух, читатель сможет убедиться, что они полностью идентичны и здесь не требуется подстраивать один инструмент к другому методом сведёния. То есть точность настройки настолько высока, насколько это вообще возможно без применения сложнейшей компьютерной техники.

Обе части схемы плана настройки рекомендуем скопировать на два листа, склеить их тыльными сторонами, обрезать лишнее, в таком виде заламинировать и в процессе настройки класть перед собой на клавиатуру настраиваемого инструмента в качестве памятки. Когда настроечные параметры метронома для основных интервалов запомнятся, а это происходит легко и непременно случится, необходимость постоянно держать схему в поле зрения отпадёт сама собой.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРОЯ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРИРОВАНИЯ

Перед переносом настроенных звуков области темперирования на весь звуковой диапазон фортепиано полезно выполнить заключительный контроль качества температуры на этом участке. Цель проверки не только в том, чтобы окончательно убедиться, что все звуки «стоят» на своих местах, а также не случилась незамеченная самопроизвольная расстройка какого-либо тона. Отрешившись от технологии и сосредоточиваясь только на звучании, настройщик в процессе проверки невольно закрепляет в своём сознании и памяти эталонное представление о звучании правильно выстроенных интервалов, аккордов и вообще высококачественного равномерно-темперированного строя, что особенно полезно начинающему настройщику. Рекомендуем четыре способа заключительного контроля, хотя с приобретением опыта будет вполне достаточно любого из них одного.

1. Контроль периодичности изменения темпов биений в хроматических последовательностях одноимённых интервалов.

В пределах области темперирования $d-d_1$ укладываются расположенные в хроматической последовательности 10 малых терций, 9 больших

терций, 8 кварт, 7 тритонов, 6 квинт, 5 малых секст, 4 больших сексты, 3 малых септимы и 2 больших. Исполняя все или некоторые одноимённые интервалы (особенно рекомендуем большие терции, кварты и квинты) в восходящей и нисходящей последовательностях, настройщик при условии подлинно равномерной темперации должен слышать плавное, регулярное, без контрастных перепадов, изменение темпов биений. В случае обнаружения контрастного перепада не следует по первому впечатлению спешить корректировать подозрительный интервал, потому что причина не всегда в нём. Нужно спокойно выяснить, сбился ли нижний звук интервала или верхний, или произошёл сбой в соседнем интервале и контрастный перепад возник вследствие этого. Поиск места и причины сбоя, а также его устранение следует вести с учётом конструкции блока, к которому относится «подозрительный» интервал, и вносить исправления, не разрушая этой конструкции.

II. Контроль периодичности изменения темпов метабиений в хроматических последовательностях одноимённых трезвучий и их обращений.

В такой последовательности в пределах октавы области темперирования расположены 6 мажорных, 6 минорных, 7 уменьшенных, 5 увеличенных трезвучий и по 4 минорных секстаккорда и мажорных квартсекстаккорда. Кстати, для неопытного настройщика с недостаточно натренированным на динамические пульсации слухом распознавание на слух метабиений в отдельно звучащих трезвучиях и других аккордах представляет определённую сложность, но когда эти трезвучия или аккорды исполняются в хроматической последовательности, даже слабо натренированный слух гораздо увереннее различает в звучании метабиения и по темпу, и как отличные от биений по характеру.

III. Контроль по соотношениям темпов биений в интервалах уменьшенного трезвучия.

Изменение звуковысотного положения любого из тонов обычного мажорного или минорного трезвучия или их обращений изменяет частоты биений в интервалах и метабиений в аккорде, но не изменяет соотношений между этими частотами. В отличие от них в уменьшенном трезвучии даже при «микроскопических» изменениях звуковысотного положения любого из трёх звуков соотношения изменяются, причём самым радикальным образом. Стандартные соотношения даны на *рис. 22*:

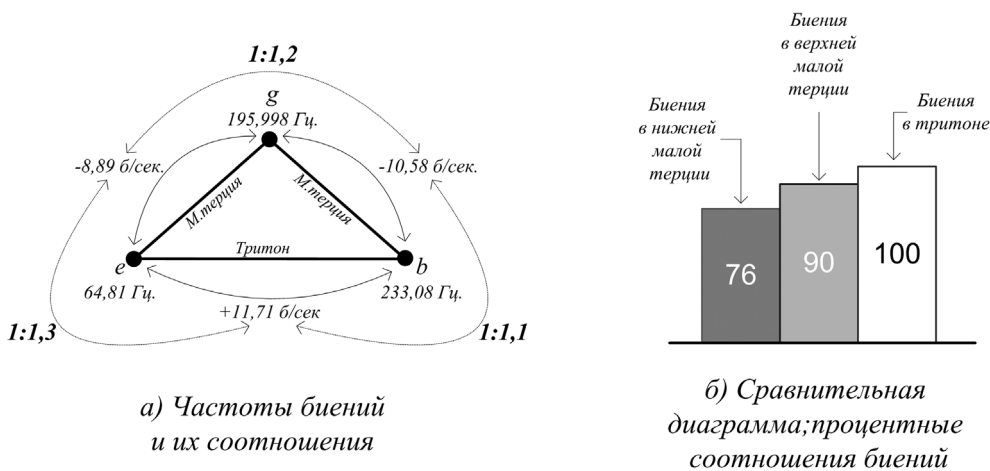


Рис. 22

Частоты биений в интервалах уменьшенного трезвучия жёстко связаны друг с другом не прямой, как в обычных аккордах, а обратно-пропорциональной связью, и чрезвычайно взаимозависимы. Трезвучие необычайно чувствительно к малейшим изменениям любого элемента; изменение параметров хотя бы одного интервала мгновенно изменяет параметры второго интервала и соотношение темпов биений во всех трёх интервалах, что в принципиальном виде демонстрирует диаграмма на рис. 23.

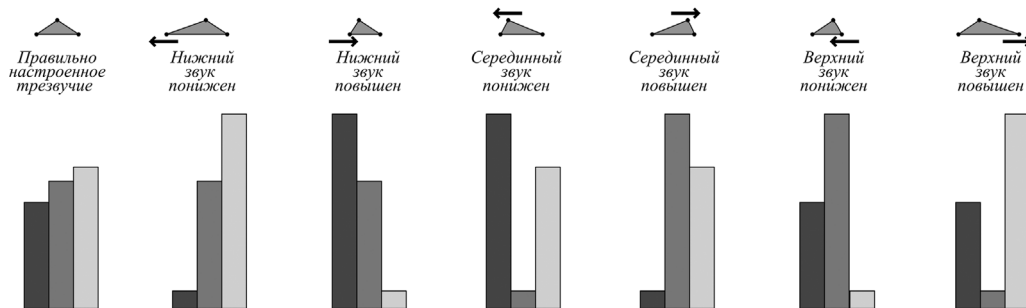


Рис. 23

На ней видно, что при понижении в трезвучии нижнего звука замедляются биения в нижней малой терции и ускоряются в тритоне, а при повышении этого звука всё происходит наоборот. При понижении среднего звука ускоряются биения в нижней малой терции и замедляются в верхней, а при повышении этого звука всё тоже происходит наоборот. При понижении верхнего звука ускоряются биения в верхней малой терции и замедляются в тритоне, а при повышении этого звука всё также происходит наоборот. Для успешного пользования предложенным способом контроля очень важно ознакомиться с акустическими особенностями

ми в звучании правильно настроенного уменьшенного трезвучия. В нём при последовательном исполнении сначала нижней малой терции, затем верхней малой терции, а затем тритона, настройщик должен слышать повышение темпа биений дважды, причем первое повышение должно быть несколько контрастнее второго. Здесь даже не важны абсолютные величины темпов, потому что любое нарушение звуковысотного положения любого из тонов уменьшенного трезвучия изменяет нормативное соотношение темпов настолько значительно, что не заметить это практически невозможно.

IV. Контроль по периодичности изменения темпов биений в «опорных» терциях в последовательностях семи септаккордов.

В звучании септаккорда или его обращения не очень сложно сконцентрировать слух и внимание на биениях в терции, восходящей от основного тона (назовём её «опорной»). Для этого следует исполнить сначала терцию, а затем септаккорд целиком. Если он настроен правильно, то на фоне остальных биений и метабиений биения в «опорной» терции будут прослушиваться отчётливо и неискажённо; если же септаккорд настроен неточно, то биения в этой терции либо будут «перекрыты» более частыми фоновыми биениями, либо «размоются» в метабиениях и станут на слух неразличимы.

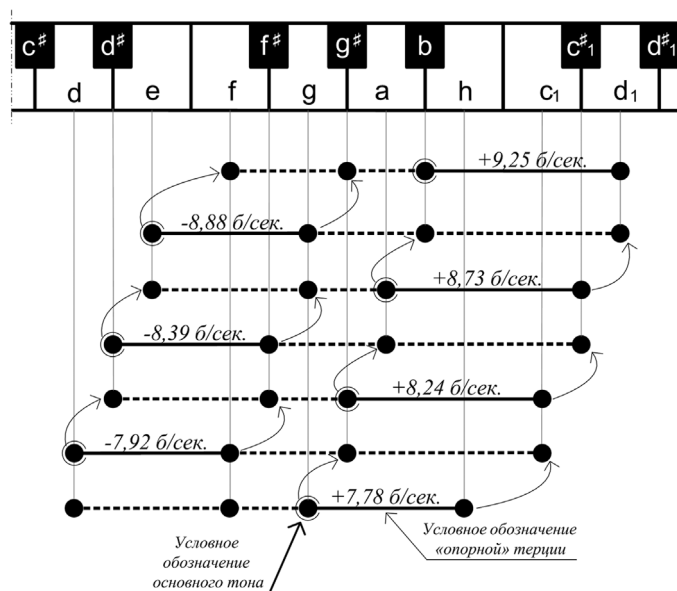


Рис. 24

На *рис. 24* приведены семь септаккордов (3 основного вида и 4 обращения, терцквартаккорда) и указаны частоты биений в «опорных» терциях, которые при исполнении септаккордов в предложенной на схеме последовательности дают плавно возрастающие темпы биений. Слух лучше контролирует плавность изменения этих темпов, если септаккорды исполнять «легато», то есть связно, «наступая» одной парой звуков на другую (вначале одновременно нажать все четыре клавиши, *d, f, g* и *h*; затем, не отпуская клавиш *d* и *f*, снять пальцы с клавиш *g* и *h*, перенести на клавиши *g[#]* и *c₁* и одновременно их нажать; затем, не отпуская клавиш *g[#]* и *c₁*, снять пальцы с клавиш *d* и *f*, перенести на клавиши *d[#]* и *f[#]* и одновременно их нажать и т. д.)

НАСТРОЙКА БАСОВОГО РЕГИСТРА

После настройки области темперирования необходимость в дальнейшем использовании метронома отпадает, поскольку все параметры строя уже полностью реализованы в её материале. Теперь остаётся перенести её звуки на весь звуковой диапазон фортепиано; вначале на басовый регистр, а затем на дискантовый. Обычно это делают октавными ходами с контролем точности аккордами, а также двойными и тройными октавами. То же самое можно делать и в предложенном методе, если не жалко растерять полученную высокую точность строя. А при желании её сохранить рекомендуем осуществлять октавными ходами только предварительную настройку, а затем настраивать точно, используя приёмы, данные на схеме настройки басового регистра (см. *рис. 25*) и в комментариях к ней.

Это приёмы не альтернативные. До определённого уровня звуковысотности удобнее пользоваться одним приёмом, после — другим, ещё дальше — третьим и т. д. Следует иметь в виду, что области применения приёмов частично и довольно значительно «перекрывают» друг друга.

1. Настройка по равенству темпов биений в нижней малой терции и верхней большой сексте

Настройку этим приёмом рекомендуется вести до уровня, когда биения в указанных интервалах станут слишком медленными и потому неудобными для сравнения. Обычно область настройки этим приёмом простирается от звука *c[#]* (*до-диез* малой октавы) до звука *G* (*соль* большой октавы).

Особое примечание: Здесь и далее, настроив рекомендуемыми приёмами некоторое количество звуков, необходимо на вновь настроенном участке проводить контроль равномерности темперации по регулярности изменения темпов биений в последовательностях одноимённых интервалов, захватывая в простран-

ство контроля целиком или частично ранее настроенные участки, а также проверять звучание кварт, квинт и октав в отдельности и в конструкциях «кварта плюс квинта равно октава».

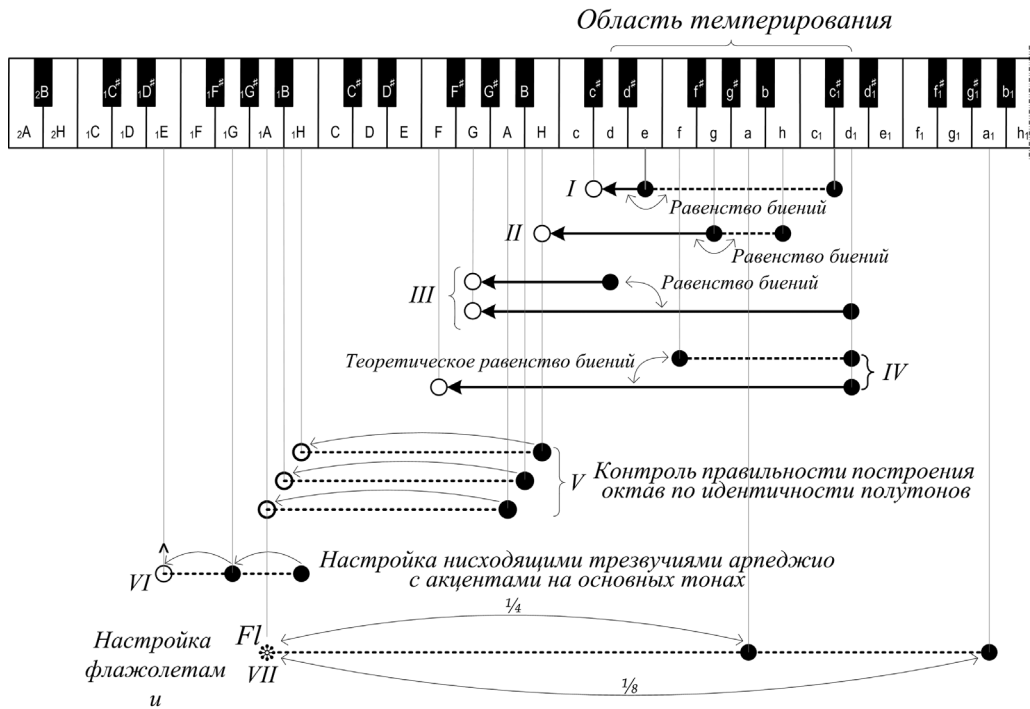


Рис. 25

II. Настройка по равенству темпов биений в нижней малой сексте и верхней большой терции.

В интервалах конструкции «малая секста — большая терция» темпы биений выше, чем в интервалах одноуровневой конструкции «малая терция — большая секста», поэтому настройку этим приёмом удобно вести от звука *H* (*си* большой октавы) до звука *C* (*до* большой октавы).

III. Настройка по биениям в квинтах и дуодецимах с общим нижним звуком.

Начиная от звука *G* (*соль* большой октавы) и до звука *C* (*до* большой октавы) настройку можно вести, контролируя акустическую идентичность звучания квинт и дуодецим, имеющих общий нижний звук. При настройке звука *D* (*ре* большой октавы) имеется возможность контроля точности настройки дуодецимой *D—a* и дуодецимой через октаву *D—a₁*, потому что звук *a₁* уже настроен. По теории в квинте *D—A* и дуодециме *D—a* должно прослушиваться

1 биение в 4 секунды (-0,25 б/сек.), а в дуодециме через октаву $D-a_1$ 1 биение в 8 секунд (-0,125 б/сек.) На фоне звучания низких тонов такие биения имеют весьма нечёткий характер, громкость их звучания повышается и снижается слишком плавно и медленно, и контролировать их на слух чрезвычайно сложно. Указанные интервалы воспринимаются на слух почти как акустически чистые, и здесь важно следить в основном за тем, чтобы не допустить биений на расширении этих интервалов.

IV. Настройка по биениям в больших секстах и больших терцдецимах с общим верхним звуком

В больших терцдецимах в басовом регистре должны хорошо прослушиваться биения от неравенства частот G_{10}^n и G_3^6 , при этом обертона гармонике G_{10}^n достаточно отчётлив и уверенно участвует в образовании биений, так как басовые звуки в целом обильно насыщены обертонами. Но здесь требуется определённая осмотрительность. С приближением к краю звукового диапазона негармоничность обертонов повышается. Меньше всего это заметно у концертного рояля, больше всего — у малогабаритного пианино. У концертного рояля при точной настройке всех остальных интервалов темпы биений в терцдециме и сексте с общим верхним звуком практически равны, а у малогабаритного пианино биения в терцдециме будут значительно медленнее, чем в сексте, — и это будет правильная настройка. Поэтому при настройке рекомендуем поступать следующим образом. Подойдя к звуку F , необходимо тщательно его настроить и проверить всеми иными рекомендованными способами, а затем сравнить темпы биений в терцдециме $F-d_1$ и сексте $f-d_1$. Выявленное соотношение следует считать эталонным, чтобы по этому соотношению в дальнейшем, после настройки каждого очередного звука, проверять по нисходящей регулярность изменения темпов биений в последовательностях пар «секста—терцдецима». Кроме того, на участках басового регистра полезно контролировать регулярность изменения темпов биений в нисходящей хроматической последовательности терцдецим.

V. Настройка октавами легато

Начиная со звука ${}_1H$ (си контроктавы) и особенно со звука ${}_1F$ (фа контроктавы), основные тоны басовых звуков прослушиваются с трудом, а у более низких они могут не прослушиваться вовсе. И тогда в ходе предварительной настройки октавами в силу большого количества обертонов для неопытных настройщиков возникает опасность настроить в унисон с основным тоном верхнего звука не октаву, а ундециму или дуодециму (кварта или квинта через октаву). Поэтому здесь рекомендуем следующие действия. Предварительно настроив в октаву очередной звук, нужно отступить вверх

на 3–4 полутона или более и прослушать в нисходящей хроматической последовательности звучание нисходящих октав, исполняя каждую легато (то есть вначале исполнять верхний звук, а затем наложением на него нижний). Если какой-то из нижних тонов окажется настроенным не в октаву, то при исполнении таким образом октав он по звучанию сразу же выбьется из общего ряда; и будет отчётливо слышно, настроен он ниже или выше необходимого.

VI. Настройка трезвучиями арпеджио

Начиная со звука *E* (ми контроктавы) и далее вниз немногие настройщики способны настраивать октавы на слух напрямую даже предварительно. Здесь рекомендуем вести настройку нисходящими мажорными или минорными трезвучиями, играя их нисходящими арпеджио, то есть «наслаивая» звуки друг на друга и делая акценты на основных тонах, которые в этих случаях являются нижними настраиваемыми звуками. Дополнительно проверить такую настройку следует предыдущим приёмом.

VII. Настройка флажолетами

Надёжной и полностью исключаящей возможные ошибки является настройка самых крайних басовых струн флажолетами (обертоны, извлекаемые при лёгком касании струны в точках её деления на 2, 3, 4, 5 и более частей). Удобнее всего настраивать октавными флажолетами. На рояле технически это сделать довольно несложно. Нужно поднять и поставить на штицу крышку, затем с помощью обычной нитки измерить длины рабочих участков струн в первом и последнем однострунных хорах, разделить полученные длины пополам или дважды пополам, отложить эти величины на измеренных струнах от аграфа (клангштабика) вниз и нанести две отметки мелом, между этими отметками нанести по условной прямой линии такие же отметки на все остальные струны. Далее порядок действий таков: установить настроенный ключ на вирбель басовой струны; нажать ногой правую педаль; приложить палец правой руки к отметке на струне; левой рукой нажать клавишу басовой струны, извлечь октавный обертон; сразу же вслед за этим извлечь звук из струны на октаву или две выше; перенести правую руку на рукоять настроенного ключа, и пока одновременно звучат обертон и октавный или двухоктавный тон (при нажатой правой педали они будут звучать достаточно долго), произвести настройку обертона в унисон с тоном. Некоторые настройщики вместо извлечения флажолетов с помощью пальца используют специальное приспособление в виде тонкой деревянной палочки с резиновым наконечником, на котором имеется узкий боковой выступ и в нём желобок для установки на струну.

Настройка флажолетами на пианино технически несколько сложнее, но тоже возможна. Здесь флажолетами можно извлекать трёхоктавные оберто-

ны ($1/8$ длины рабочего участка струны), условная линия извлечения которых расположена чуть выше головок демпферов. Нажимая левой рукой на клавишу басовой струны, нужно палец правой руки или специальное приспособление приложить к струне чуть выше демпфера, но при этом не препятствовать ударам молотка. Перемещая палец или приспособление по струне выше или ниже, следует из некоторого количества обертонов выбрать тот, который является трёхоктавным повторением основного тона струны. В силу высокой негармоничности обертонов трёхоктавные флажолеты ненадёжны, поэтому для настройки однооктавными флажолетами придётся снять нижнюю панель, опустить левую руку под штурьраму (выступ, на котором размещена клавиатура), дотянуться до басовых струн и, нажимая клавишу левой рукой, нащупать место извлечения октавного флажолета.

VIII. Настройка по обертонам посредством резонансной наводки

Если на хорошо настроенном фортепиано очень медленно, чтобы молоток не ударил по струне, нажать и удерживать клавишу басового звука, а затем резко нажать клавишу на октаву, две или три выше и тут же её отпустить, то на короткий верхний звук басовая струна отзовется достаточно долгим звучанием соответствующего обертона, который возбудится самопроизвольно вследствие резонансной наводки. Обертон возбудится даже в том случае, если высота тона-возбудителя будет немного с ним не совпадать; и при этом разница в высоте звучания будет достаточно хорошо прослушиваться. Этот эффект чрезвычайно удобно использовать для очень точной настройки басовых струн. Настроив басовую струну предварительно каким-либо из ранее перечисленных приёмов, нужно с помощью резонанса возбудить вышеописанным способом её обертон (лучше октавный) и, пока он звучит (при нажатой правой педали он будет звучать достаточно долго), взять ещё раз, но теперь не очень громко, верхний октавный тон и произвести окончательную настройку обертона в унисон с ним.

Есть технически ещё более удобный способ. Не нажимая правой педалью, медленно нажать пятым пальцем левой руки клавишу настраиваемой басовой струны и в этом положении её удерживать. Не отпуская клавиши, первым пальцем всё той же левой руки периодически очень коротко нажимать и тут же отпускать клавишу струны на октаву выше. Вследствие этого в нижней струне возбудится октавный обертон. Корректируя её натяжение, следует добиться того, чтобы обертон сделался точным повторением и как бы продолжением верхнего звука. Когда этого удастся добиться, басовая октава окажется настроенной очень точно.

Способ резонансного возбуждения обертонов также удобен и чрезвычайно полезен для окончательного контроля точности настройки звуков басового регистра.

IX. Контроль настройки басовых октав резонированием

Самые низкие звуки (начиная от H и ниже) полезно проверить одинарными гармоническими октавами, исполняя их в нисходящей хроматической последовательности, при этом слуху настройщика откроется любопытнейший эффект. Если в звучании одинарных октав возникнет мощное «рычание», оно послужит свидетельством того, что октавы настроены очень точно. Обычно резонирование в теноровых и дискантовых созвучиях воспринимается на слух как неприятное, но в басовых октавах оно производит впечатление противоположное, приятное; басы звучат густо, объёмно, «сочно».

Закончив настройку однострунных хоров, следует проверить качество температуры всей настроенной части звукового диапазона, включая область темперирования, одинарными, двойными и тройными октавами. В звучании каких-то из них могут неожиданно оказаться биения, которые происходят от двух факторов: либо от несовпадения частот каких-либо из октавных или других кратных им гармоник вследствие негармоничности обертонов, либо от низкого качества изготовления басовых струн. Биения от несовпадения частот октавных или кратных им гармоник проявляются в том, что если настроить точно в унисон какую-либо пару гармоник, предположим, G_2^n и G_1^o , биения могут проявиться в другой паре с тем же соотношением, например G_6^n и G_3^o , а если эти биения устранить, они опять возникнут в G_2^n и G_1^o или других. Биения от низкого качества изготовления басовых струн — это собственные биения в звучании струны, которые могут быть слишком медленны и потому незаметны в одиночном звучании, но они способны вызывать несовпадение частот в гармониках с более высокой частотой. Октавы с биениями следует откорректировать, то есть биения устранить или, по возможности, свести к минимуму, находя разумный компромисс и всякий раз отдавая предпочтение унисонам между гармониками с меньшими номерами.

НАСТРОЙКА ТЕНОРОВОГО И ДИСКАНТОВОГО РЕГИСТРОВ

Перед настройкой тенорового и дискантового регистров полезно на всякий случай проверить область темперирования, не случилась ли в ней самопроизвольная расстройка. Дальнейшая настройка теноров и дискантов тоже требует специальных приёмов. Здесь предварительную настройку тоже ведут октавами, а окончательную выполняют с помощью приёмов, изображённых на *рис. 26*.

I. Настройка по биениям в малой терции и большой сексте

Небольшой участок, примыкающий справа к области темперирования, буквально 2–4 тона, можно настроить по равенству темпов биений в нижней малой терции и верхней большой сексте. Далее темпы биений в этих интервалах делаются настолько высокими, что при выполнении этого приёма их становится трудно контролировать.

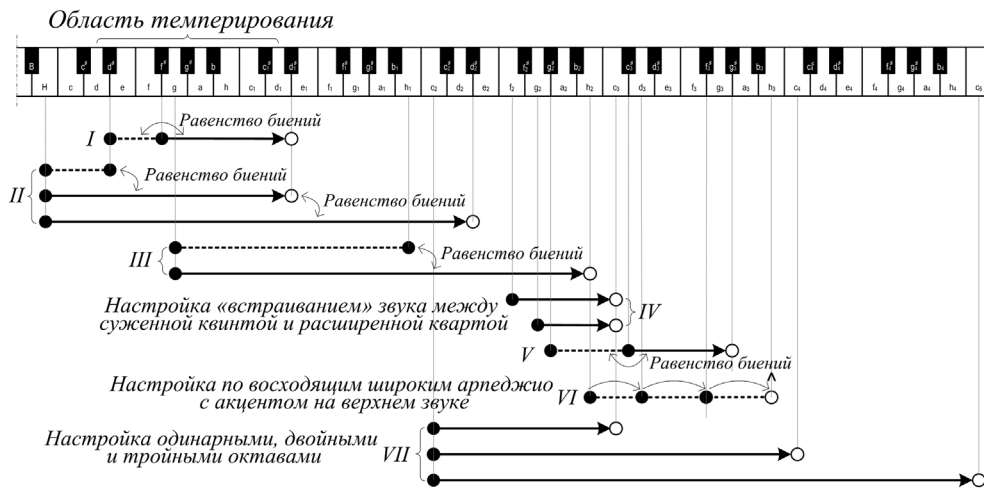


Рис. 26

Напоминаем: здесь и далее также не следует забывать о необходимости дополнительного контроля температуры на вновь настроенных участках по периодичности изменения темпов биений в последовательностях одноимённых интервалов.

II. Настройка по биениям в большой терции, большой дециме и большой дециме через октаву

Гораздо более продуктивным является приём настройки по равенству темпов биений в большой терции, большой дециме и большой дециме через октаву, которые имеют общий нижний звук. Однако следует знать, что это равенство сохраняется в пределах настройки участка не более октавы. А далее, по мере приближения к краю звукового диапазона, негармоничность обертонов возрастает и октавы становятся всё шире и шире. И если в басовом регистре мы сталкивались с явлением снижения темпов биений по сравнению с расчётными вследствие расширения октав, то по той же причине в дискантовом регистре происходит их повышение. Это значит, что при правильной настройке будет постепенно образовываться некоторое превы-

шение темпа биений в дециме по сравнению с терцией и в дециме через октаву по сравнению с децимой. Насколько радикально это превышение должно возрасть, зависит исключительно от класса настраиваемого инструмента; у концертного рояля это будет происходить медленно, а у малогабаритного пианино быстро.

Установить величины прироста темпов можно только путем тщательной проверки точности настройки другими приёмами (в частности, для этой цели очень хорошо подходят приёмы IV и V, которые описаны далее), и только затем можно уверенно пользоваться полученным соотношением темпов как эталонным.

III. Настройка по биениям в большой дециме и большой дециме через октаву

Начиная приблизительно со звука h_2 (*си* второй октавы) и далее настраивать по равенству темпов биений в большой терции и большой дециме становится труднее, поскольку темпы биений в терции g_1-h_1 и дециме g_1-h_2 уже достаточно высоки (+15,56 б/сек.) и, следовательно, не очень удобны для сравнения на слух. Здесь удобнее продолжить настройку по равенству биений в большой дециме (например, $g-h_1$) и большой дециме через октаву ($g-h_2$), потому что в этих интервалах темпы биений вдвое ниже.

IV. Настройка «встраиванием» звука между квинтой и квинтой

Обычно перенос звуков области темперирования на остальной диапазон фортепиано «короткими» интервалами (терциями, квинтами, квинтами) менее точен, чем «длинными» (децимами, дуодецимами, терцдецимами, децимами через октаву и т. п.) Но с середины второй октавы биения в квинтах и квартках делаются достаточно быстрыми и настолько отчётливыми, что это позволяет использовать их для достаточно точной настройки путем «встраивания» звука между суженной квинтой и расширенной квинтой (этот прием уже встречался нам при настройке области темперирования на этапах V и VI). На *рис. 26* под порядковым номером IV приведён пример настройки звука c_3 по биениям в квинте f_2-c_3 и кварте g_2-c_3 . У этого звука есть единственное место в пространстве между суженной квинтой и расширенной квинтой. Это пространство настолько тесное, что, помещая в него звук, ошибиться очень и очень трудно. Здесь нужно следить только за тем, чтобы квинта оказалась суженной, а кварта расширенной, для чего, настроив общий звук, нужно сопоставить темпы биений во вновь образованных квинте и кварте с темпами биений в квинте и кварте на полутон ниже (биения должны быть почти равны). И если в выборе зон темперации была допущена ошибка, она сразу же сделается очевидной.

V. Настройка по равенству биений в квартах и квинтах в габаритах октав

На переходе от второй к третьей октаве темпы биений в квартах и квинтах уже достаточно высоки, чтобы уверенно контролировать их на слух и отныне вести настройку по равенству биений в нижних квартах и их обращениях, верхних квинтах.

VI. Настройка широкими арпеджио

По мере приближения к краю звукового диапазона укорачивается время звучания тонов, а также снижается уровень их определённости по высоте на слух. Это может привести к ошибкам при выстраивании интервальных созвучий. Поэтому даже предварительную настройку рекомендуется выполнять с помощью восходящих широких арпеджио с акцентами на верхних звуках (например, $h_2 \rightarrow d_3 \rightarrow f_3^\# \rightarrow h_3$ и т. п.)

VII. Настройка октавами

Звуки в самой высокой части звукового диапазона чрезвычайно бедны обертонами и очень кратки по длительности, а темпы биений в простых интервалах начинают «зашкаливать» за пределы порога восприятия; поэтому объективные методы настройки и контроля здесь постепенно сводятся к достижению «хорошего» звучания октав. Окончательную настройку самых высоких тонов следует проверять последовательным исполнением одинарных, двойных и тройных октав, имеющих общий нижний звук. При таком сопоставлении октавных звуков в виде восходящей цепочки слух достаточно легко обнаруживает звук, который из этой цепочки выбивается.

Если на фортепиано проверить в области дискантов нижнюю и верхнюю границы нулевых биений в октаве, понижая и повышая её верхний звук, то выяснится, что даже здесь имеется простор для достаточно большого количества вариантов настройки октавы, которая во многих случаях будет казаться на слух точной; во-первых, из-за слабой чувствительности октав к погрешностям, а во-вторых, длительность звучания дискантов уже недостаточна для проявления в октавах биений. Настройку здесь рекомендуется вести следующим образом. Настраивая октаву, следует верхнюю струну слегка перетянуть до появления в звучании биений, но ровно настолько, чтобы после осадки вибреля явные биения исчезли; а едва они исчезнут, тут же следует остановиться. Этого вполне достаточно, чтобы октава оказалась расширенной до необходимых пределов. В таких октавах, если бы звучание было длительным, непременно прослушивались бы очень медленные биения, но, как показывает опыт, дисканты от этого звучат только лучше (разумеется, если с расширением октав не «перемудрить»).

ПОДСТРОЙКА ВТОРЫХ И ТРЕТЬИХ СТРУН ХОРОВ

После настройки первых струн в хорах настройщику предстоит настроить по ним вторые и третьи струны, то есть выполнить их подстройку. В зависимости от различий в организации процесса настройки это происходит в разное время. Если настройщик пользуется двумя клинками, он вынужден подстраивать вторые и третьи струны сразу же после настройки первых. Если он пользуется 13–14 клинками, то остальные струны в области темперирования он подстраивает после настройки первых струн в хорах всей области, а при настройке остальных участков звукового диапазона действует так же, как при настройке с двумя клинками. Если он пользуется войлочной лентой в пределах регистра, то с регистром он поступает так же, как с областью темперирования при использовании 13–14 клинков. Если пользуется войлочной лентой в пределах всего звукового диапазона, то вторые и третьи струны он подстраивает после настройки первых струн по всему диапазону. Понятно, что от выбора варианта организации процесса зависят комфортность собственно процесса, количество физических действий (частота перестановки клинков и проч.), связанная с этим длительность процесса и, как ни странно, точность строя. Нельзя не согласиться с тем, что настройка интервала, в котором оба звука исходят от одиночных струн, и настройка интервала, в котором один звук исходит от одиночной струны, а другой — от двух или трёх вместе, дают различную точность; в последнем случае она, конечно же, будет ниже. К тому же здесь уместно вспомнить о том, что при глушении вторых и третьих струн войлочной лентой по всему звуковому диапазону существует возможность перед подстройкой остальных струн хоров тщательно проверить качество строя в целом на пока ещё одиночных струнах и при необходимости внести поправки.

В процессе подстройки настройщик может столкнуться с некоторыми особенностями и сложностями, о которых необходимо знать. Вторые и третьи струны следует подстраивать к первым в унисон, и в звучании хора должны полностью отсутствовать какие-либо биения. И здесь случаются неожиданности. Начнём с двухструнных хоров, которые в фортепиано расположены в пределах басового регистра. Иногда при попытках настроить две струны хора в унисон никак не удаётся избавиться от биений в их совместном звучании. Причина, как правило, заключается в том, что при изготовлении одной или обеих струн были допущены отклонения от стандартных требований, а именно: неодинаковая плотность навивки по всей длине рабочего участка струны, перепады в диаметрах ядра струны (стальной проволоки, на которую навита медная) или обвивочной медной проволоки, смещение обвитого участка струны к одной из жёстких опор и др. Всё это вызывает неравновесность колеблющихся частей рабочего участка струны, и она даже в одиночном звучании может иметь

биения, которые неопытный настройщик принимает за биения в хоре. Иногда кажется, что такая струна в одиночестве звучит без биений, потому что они слишком медленны; но при совместном звучании двух струн хора биения вдруг проявляются в парах гармоник с большими номерами. Избавиться от таких биений очень трудно, а иногда и вовсе невозможно. В таких случаях рекомендуется вторую струну настраивать не по первой, а в октаву по тому же тону, по которому настраивали первую струну. Если такой приём биения полностью и не устранил, то по крайней мере сведёт их к минимуму.

Аналогичное явление встречается и в трёхструнных хорах. Здесь единичная гладкая (без навивки) струна тоже может звучать с биениями. Одна из причин – овальность сечения струны, заставляющая струну колебаться одновременно в нескольких плоскостях. Вторая причина – в разности диаметров сечения на протяжении рабочего участка струны. Если отрезок проволоки со скрытым браком пришёлся на рабочий участок струны, её части становятся неравновесными, а колебания частей асинхронными и вызывающими в звучании биения, которые мы назовём «паразитными». При настройке такой струны в октаву или приму неопытный настройщик принимает биения в ней за биения в октаве или прима и безуспешно пытается избавиться от них посредством более точной настройки. В отличие от него опытный настройщик быстро догадывается об истинной причине биений, и тогда он эту струну заглушает, для настройки в октаву освобождает другую струну хора, а настройку в прима тоже проводит по другой струне. Когда струну с «паразитными» биениями настраивают в унисон с другой струной хора, совсем избавиться от биений удаётся не всегда, и тогда приходится с ними мириться, сведя их к минимуму. При настройке трёхструнных хоров, где какая-то из струн имеет «паразитные» биения, можно использовать приём, смягчающий («размывающий») эти биения. Суть этого приема – в легчайшей расстройке унисона между остальными двумя чисто звучащими струнами хора. И тогда в звучании хора возникают медленные метабиения, которые как бы растворяют «паразитные» биения в себе. Механизм смягчения «паразитных» биений дан на рис. 27.

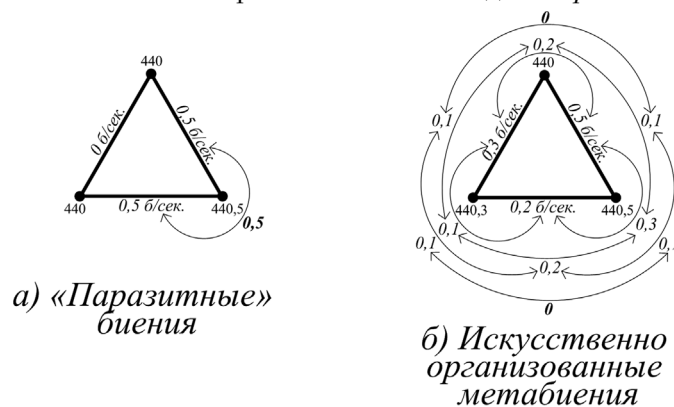


Рис. 27

В варианте *а*) одна струна имеет собственные биения, дающие в звучании хора 0,5 мб/сек. Если в этом случае одну из двух других струн хора настроить, предположим, на 440,3 Гц. (вариант *б*), то вокруг «звукового ядра» хора образуется «облако» из ритмических «оболочек» биений и метабиений, как бы размывающих, маскирующих «паразитные» биения, сводя их к нулю. Иногда подстройка третьей струны к двум первым даёт неустранимые биения, причина которых, на первый взгляд, совершенно непонятна. А состоит она чаще всего в том, что между первыми двумя струнами отсутствует акустически чистый унисон, хотя слух этого не улавливает вследствие краткости звучания и слишком медленных биений. В этом случае две первых струны следует настроить в унисон поточнее, а если с подстройкой третьей струны биения всё-таки не исчезли, тогда надо заглушить одну из первых двух струн, а третью настроить в унисон со свободной другой, после чего, как правило, биения из звучания хора должны исчезнуть.

И ещё две рекомендации по подстройкам в дискантовом регистре. Начиная со второй половины третьей октавы, и далее до конца диапазона подстройку струн в хорах полезно вести, нажимая не только клавишу, соответствующую хору, но и клавишу октавой ниже. Во-первых, при этом можно обнаружить и исправить ошибку, допущенную ещё при настройке октавы, а во-вторых, подстройка получается точнее, потому что прима и октава в отдельности дают менее точную настройку, а настройка одновременно по приме и октаве выявляет между ними противоречия и позволяет их снять.

В самых крайних хорах с настройкой унисонов спешить не следует. Медленно повышая подстраиваемый тон, необходимо чутко прислушиваться к звучанию. Некоторое время прима звучит вполне приемлемо, и кажется, будто она хороша окончательно, но в какой-то момент звучание вдруг делается очень чистым, ясным и певучим, — это и есть то качество, которое следует считать превосходным.

Унисоны по звучанию несколько скучны, а небольшой искусственный диссонанс в примах значительно оживляет их звучание. В учебной и методической литературе по настройке фортепиано можно встретить рекомендации по умышленной расстройке унисонов в трёхструнных хорах до появления в звучании 1 биения в диапазоне от 2 до 10 сек. Если в процессе слушания унисона его слегка нарушить, действительно возникает впечатление, будто звучание оживилось, приобрело лёгкость, полётность. Если же унисон опять восстановить, возникает ощущение, будто звук «засурдили», сдавили со всех сторон и заперли в тесное замкнутое пространство, лишив акустической периферии. Во всех случаях расстройку унисонов в хорах выполняют путём небольшой перетяжки какой-либо из струн (чаще всего средней). Но мы рекомендуем этого не делать, так как ни один настройщик в мире не в состоянии по объективным причи-

нам выполнить стабилизацию звуков во всех струнах хора с одинаковой точностью. Поэтому в самое ближайшее время, чаще всего уже в процессе обыгрывания инструмента после настройки, хоры непременно самопроизвольно расстроятся и автоматически дадут это желаемое 1 биение в несколько секунд. Если унисоны до этого уже были искусственно расстроены, то самопроизвольная расстройка только ускорит биения и они наверняка сделаются гораздо более частыми, чем рекомендовано. Но, к сожалению, иногда расстройку унисонов используют в других целях. При некачественной настройке биения в последовательностях интервалов неприятно беспокоят слух своей нерегулярностью. Если настройщик не умеет настраивать точно, ему достаточно всего лишь хорошенько расстроить хоры, и в результате возникает такая разноголосица биений и метабиений, что она «маскирует» многие погрешности и ошибки строя, топя их в ритмической неопределённости.

По окончании настройки настройщик обычно обыгрывает музыкальный инструмент аккордами в узком и широком расположении, параллельными арпеджио через 1, 2 и 3 октавы, а также, если владеет искусством игры на фортепиано, исполняет какую-либо музыку в различных тональностях, чтобы окончательно оценить качество звучания строя. Если он пользовался войлочной лентой для глушения вторых и третьих струн хоров по всему звуковому диапазону, то предварительное обыгрывание целесообразно провести ещё до снятия ленты и подстройки вторых и третьих струн. Это технологично, потому что если вдруг обнаружится упущенная неточность или самопроизвольная расстройка, её гораздо проще выявить и исправить на одиночных струнах, чем на окончательно настроенных хорах.

Некоторые опытные настройщики считают, что чрезмерная точность строя отбирает слишком много сил и времени и непродуктивна, потому что стабильность строя у фортепиано чрезвычайно низка и музыкальный инструмент очень быстро приходит в несколько расстроенное состояние, именуемое нормализационной расстройкой, и далее сохраняет долгое время именно её. На это можно возразить так.

Во-первых, настройка методом синхронизации значительно облегчает и ускоряет процесс, так как избавляет настройщика от мучительного вслушивания в биения в попытках поточнее установить их темпы, опираясь на весьма ненадёжное внутреннее чувство этих темпов, потому что обнаружение ошибок и значительных погрешностей на стадии контроля либо потребует времени и усилий на их исправление, либо породит чувство неудовлетворённости от плохо выполненной работы.

Во-вторых, незначительная нормализационная расстройка хорошего строя даёт гораздо более высокое качество звучания, чем строя плохого. А в-третьих, речь-то идёт о тщательной настройке всего лишь 13 тонов области темперирования, потому что настройка остальных участков звукового диапазона у всех методик практически одинакова.

ОТСЫЛКИ К БИБЛИОГРАФИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКАМ

На этом изложение основного содержания данного методического пособия завершено. Прежде чем переходить к приложениям, дадим последние рекомендации.

Если у читателя возникнет желание более глубокого ознакомления с основами музыкальной акустики, он найдёт их в книге В. Г. Порвенкова «Акустика и настройка музыкальных инструментов» (М.: Музыка, 1990).

Наиболее полно изложенные рекомендации на аналогичные темы читатель найдёт в недавно изданных по инициативе Ассоциации фортепианных мастеров России книгах Карла-Йохана Форсса «Ремонт пианино и роялей», «Регулировка механики пианино и роялей». (Москва, 2009 г., перевод с немецкого В. А. Клопова).

В данную книгу не вошли рекомендации по регулировкам механики, клавиатуры и pedalных механизмов фортепиано и по его ремонту. За такого рода рекомендациями предлагаем обратиться к книгам соавторов С. М. Аллона и И. Г. Фадеева «Ремонт роялей и пианино» и «Ремонт и настройка пианино и роялей», издательство «Лёгкая индустрия» (М.: Легкая индустрия, 1968; 2 изд. 1973).

В упомянутых книгах читатель также найдёт более полные перечни рекомендуемой литературы по темам музыкальная акустика, температура, строй, настройка, регулировка, ремонт, фортепианная терминология и т. п.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

СТАНДАРТНЫЕ ЧАСТОТЫ тонов равномерно-темперированного строя при $a_1 = 440$ Гц

Обозначение тонов	НАИМЕНОВАНИЕ ОКТАВ									
	Субконтр-октава	Контр-октава	Большая октава	Малая октава	Первая октава	Вторая октава	Третья октава	Четвёртая октава	Пятая октава	
<i>c</i>	–	32,70318	65,40637	130,81275	261,62551	523,25102	1046,50204	2093,00408	4186,00816	–
<i>c[#]</i>	–	34,64782	69,29564	138,59129	277,18258	554,36516	1108,73032	2217,46064	–	–
<i>d</i>	–	36,70809	73,41618	146,83236	293,66472	587,32944	1174,65888	2349,31776	–	–
<i>d[#]</i>	–	38,89086	77,78173	155,56347	311,12694	622,25388	1244,50776	2489,01552	–	–
<i>e</i>	–	41,20344	82,40688	164,81376	329,62752	659,25504	1318,51008	2637,02016	–	–
<i>f</i>	–	43,65352	87,30705	174,61410	349,22820	698,45640	1396,91280	2793,82560	–	–
<i>f[#]</i>	–	46,24930	92,49860	184,99720	369,99440	739,98880	1479,97760	2959,95520	–	–
<i>g</i>	–	48,99942	97,99855	195,99771	391,99542	783,99084	1567,98168	3135,96336	–	–
<i>g[#]</i>	–	51,91308	103,82617	207,65234	415,30469	830,60938	1661,21876	3322,43752	–	–
<i>a</i>	27,50000	55,00000	110,00000	220,00000	440,00000	880,00000	1760,00000	3520,00000	–	–
<i>b</i>	29,13523	58,27047	116,54094	233,08188	466,16376	932,32725	1864,65504	3729,31008	–	–
<i>h</i>	30,86770	61,73541	123,47082	246,94165	493,88330	987,76660	1975,53320	3951,06640	–	–

СТАНДАРТНЫЕ ЧАСТОТЫ БИЕНИЙ
в интервалах области темперирования $d-d_1$ ($a_1, 440 \text{ Гц}$)

Нижн. звук интер- вала	Наименование интервалов																	
	Квинта (-)			Кварта (+)			Большая терция (+)			Большая секста (+)			Малая терция (-)			Малая секста (-)		
	б/сек.	уд./мин.	Устан. пара-метры	б/сек.	уд./мин.	Устан. пара-метры	б/сек.	уд./мин.	Устан. пара-метры	б/сек.	уд./мин.	Устан. пара-метры	б/сек.	уд./мин.	Устан. пара-метры	б/сек.	уд./мин.	Устан. пара-метры
<i>d</i>	0,497	30	30 [♯]	0,664	40	40 [♯]	5,827	350	175 [♯]	6,663	400	100 ^{♯♯}	7,924	475	119 ^{♯♯}	9,249	555	139 ^{♯♯♯}
<i>d[#]</i>	0,527	32	32 [♯]	0,703	42	42 [♯]	6,173	370	185 [♯]	7,059	424	141 ^{♯♯}	8,329	504	126 ^{♯♯}	9,800	588	147 ^{♯♯}
<i>e</i>	0,558	34	34 [♯]	0,745	45	45 [♯]	6,541	392	196 [♯]	7,479	449	112 ^{♯♯}	8,894	534	178 ^{♯♯}	10,38	623	156 ^{♯♯}
<i>f</i>	0,591	36	36 [♯]	0,789	47	47 [♯]	6,930	416	104 ^{♯♯}	7,924	475	119 ^{♯♯}	9,423	565	188 ^{♯♯}	11,00	660	220 ^{♯♯}
<i>f[#]</i>	0,626	38	38 [♯]	0,863	50	50 [♯]	7,342	440	110 ^{♯♯}	-	-	-	9,983	599	150 ^{♯♯}	11,65	699	175 ^{♯♯}
<i>g</i>	0,664	40	40 [♯]	0,886	53	53 [♯]	7,778	467	117 ^{♯♯}	-	-	-	10,58	635	159 ^{♯♯}	-	-	-
<i>g[#]</i>	-	-	-	0,938	56	56 [♯]	8,240	494	165 ^{♯♯}	-	-	-	11,21	673	224 ^{♯♯}	-	-	-
<i>a</i>	-	-	-	0,994	60	60 [♯]	8,730	524	131 ^{♯♯}	-	-	-	11,87	712	178 ^{♯♯}	-	-	-
<i>b</i>	-	-	-	-	-	-	9,249	555	139 ^{♯♯}	-	-	-	12,58	755	189 ^{♯♯}	-	-	-
<i>h</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,33	800	200 ^{♯♯}	-	-	-

Примечания: Под наименованиями интервалов в первом столбце указаны частоты биений в секунду;
во втором столбце – соответствующее количество ударов метронома в минуту;
в третьем столбце – установочные параметры для метронома при настройке методом синхронизации.

ОСНОВНЫЕ СОВПАДАЮЩИЕ ГАРМОНИКИ В ПРОСТЫХ ИНТЕРВАЛАХ

Количество полутонов в интервале	Наименование Интервала	Номера совпадающих гармоник Γ^n и Γ^a
0	Прима	1 и 1
3	Малая терция	6 и 5
4	Большая терция	5 и 4
5	Кварта	4 и 3
7	Квинта	3 и 2
8	Малая секста	8 и 5
9	Большая секста	5 и 3
12	Октава	2 и 1

ИНТЕРВАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ

(i^n) для равномерно-темперированного строя

Прима	$i^0 = 1.$
Малая секунда	$i^1 = 1,059463094.$
Большая секунда	$i^2 = 1,122462048.$
Малая терция	$i^3 = 1,189207114.$
Большая терция	$i^4 = 1,259921048.$
Кварта	$i^5 = 1,334839852.$
Тритон	$i^6 = 1,414213559.$
Квинта	$i^7 = 1,498307073.$
Малая секста	$i^8 = 1,587401048.$
Большая секста	$i^9 = 1,681792825.$
Малая септима	$i^{10} = 1,781797743.$
Большая септима	$i^{11} = 1,887748618.$
Октава	$i^{12} = 2.$

КОЭФФИЦИЕНТЫ ИНТЕРВАЛЬНЫХ БИЕНИЙ

(p_n^u и p_n^a) для равномерно-темперированного строя

Наименование интервала	Коэффициенты интервальных биений			
	p_n^u		p_n^a	
Малая терция	p_3^u	-0,053964431	p_3^a	-0,045378495
Большая терция	p_4^u	+0,039684192	p_4^a	+0,031497364
Кварта	p_5^u	+0,004519556	p_5^a	+0,003385841
Квинта	p_7^u	-0,003385854	p_7^a	-0,002259786
Малая секста	p_8^u	-0,062994760	p_8^a	-0,039684212
Большая секста	p_9^u	+0,045378475	p_9^a	+0,026982202

НАСТРОЙКА ОБЛАСТИ ТЕМПЕРИРОВАНИЯ
методом синхронизации в нотной записи

(I) $+104$ 0 $+119$ -119 0 -30 60 60 60 *

(II) 0 $+119$ -119 0 -30 60 60 60 *

(III) $+139$ -139 $+60$ 80 $+139$ -110 $+175$ 80 *

(IV) $+139$ -139 $+60$ 80 $+175$ -200 $+100$ 71 *

(V) $+112$ -131 $+45$ 76 $+56$ -196 $+196$ 67 *

(VI) $+178$ -185 $+141$ 53 -126 -32 64 -188 -35 70 *

Условные обозначения к плану настройки в нотной записи:

1. Римские цифры — этапы процесса настройки.
2. Белыми нотами обозначены уже настроенные звуки, зачернёнными — звуки настраиваемые.
3. Нотно-цифровые обозначения у скобок — установочные параметры для электронного метронома, соответствующие темпам биений в интервалах и метабиений в трезвучиях: «♩» — темп ударов метронома соответствует цифровому обозначению количества ударов в минуту; «♩♩» — удвоение темпа; «♩♩♩» — утроение темпа; «♩♩♩♩» — учетверение темпа.
4. Знак «+» или «-» перед нотно-цифровым обозначением напоминает о правильной зоне темперации интервала (расширенный или суженный).
5. Темпы метабиений в трезвучиях везде обозначены *.

*ПЛАН НАСТРОЙКИ КВАРТО-КВИНТОВЫМ МЕТОДОМ
(Область темперирования a—a₁)*

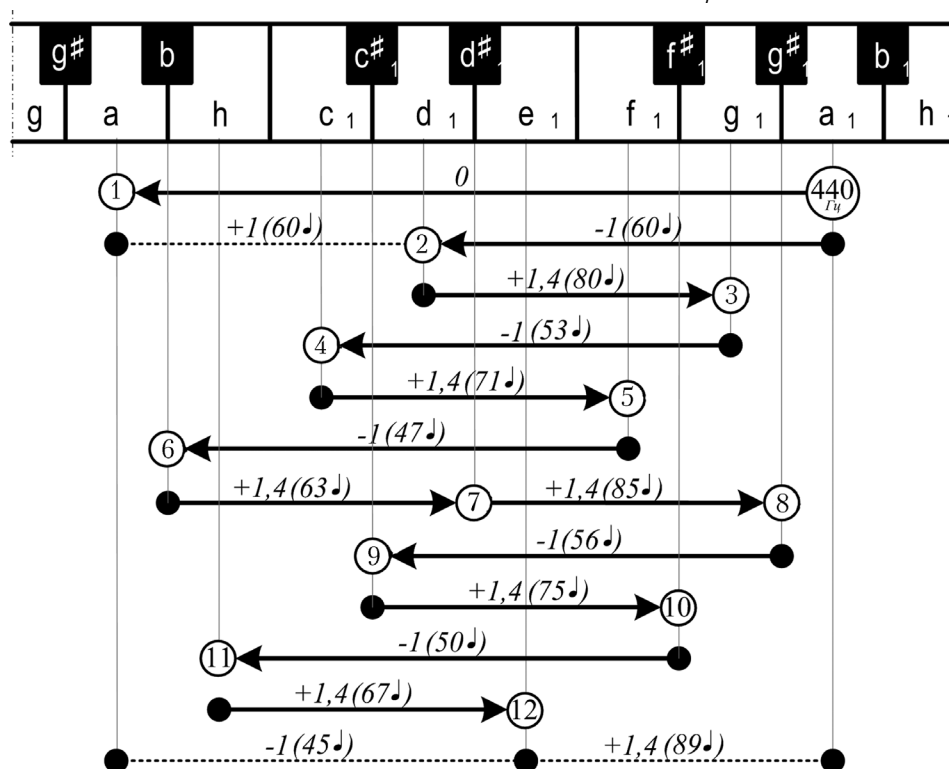


Рис. 29

Наиболее распространённый в профессиональных кругах настройщиков фортепиано кварто-квинтовый метод является методической и технологической альтернативой методу синхронизации. Однако приложение к данной

книге плана настройки кварто-квинтовым методом преследует четыре цели. Во-первых, для тех, кто метод синхронизации успешно освоил, это даёт возможность сравнить два метода и оценить преимущества и недостатки того и другого. Во-вторых, для тех, кому метод синхронизации почему-то не понравился или «не дался», этот план поможет освоить альтернативный метод. В-третьих, владение кварто-квинтовым методом поможет настройщику не оказаться в беспомощном положении, если при намерении настроить фортепиано методом синхронизации что-то случится с электронным метрономом, предположим, или настройщик забыл взять его с собой, или он потерялся, или вышел из строя, или иссяк источник его электропитания и т. п. И, наконец, в-четвёртых, этот метод можно применять в его, так сказать, первоизданном виде, хорошо знакомом большинству настройщиков фортепиано (к нему относятся цифровые обозначения над линиями интервалов до скобок), но можно и с применением рекомендуемого новейшего приёма синхронизации (к нему относятся обозначения в скобках; это — установочные параметры для электронного метронома).

Особенности технологии всякого метода существенны только для настройки области темперирования, а настройку басового и дискантового регистров можно выполнять либо традиционными октавными ходами, либо применяя приёмы, предложенные в книге.

Основной принцип кварто-квинтового метода в его традиционном виде заключается в том, чтобы в рамках октавы, опираясь на слух и внутреннее чувство темпа, распределить температурную нагрузку между 12 квинтами по возможности поровну. А поскольку в пределы октавы все 12 квинт «не вмещаются», их часть внутри октавных границ успешно представляют их обращения — кварты.

Учебные и методические пособия по настройке фортепиано кварто-квинтовым методом дают в основном такие рекомендации: нет никакой необходимости (да на слух и невозможно! — заметим мы) пытаться достичь в настраиваемых интервалах расчётных биений; они, дескать, необходимы лишь для теоретического обоснования равномерной темперации; а на практике нужно всего лишь в квинтах средней части звукового диапазона фортепиано (область $a-a_1$ как раз относится к этой части) выдерживать в среднем по 1 б/сек., а в квартах — по 1,4 б/сек.; и если в результате замыкающий интервал окажется слишком отличным по темпу биений от соседнего одноимённого интервала, расположенного через полутон (для квинты $a-e_1$ это будет квинта $b-f_1$, а для кварты e_1-a_1 — кварта $d_1^{\#}-g_1^{\#}$), то следует обратными ходами, половиной ходов на понижение, а половиной на повышение, распределить по возможности поровну, то есть разогнать, проявившуюся в замыкающем интервале погрешность по ранее настроенным квинтам и квартам. «Распределить по возможности поровну» означает, что в этом случае 6 квинт (от $a-e_1$ до d_1-a_1) должны приобрести в звучании -0,75; -0,79; -0,83; -0,89; -0,93 и -0,99 б/сек., а 8 кварт (от $a-d_1$ до e_1-a_1) +0,99; +1,05; +1,12; +1,18; +1,25; +1,33; +1,41 и +1,49 б/сек. При исполнении упомянутых интервалов в хроматической последовательности темпы биений в них должны на слух изменяться плавно, без контрастных перепа-

дов, что послужит свидетельством равномерности температуры. А затем следует оценить благозвучие мажорных и минорных трезвучий и других аккордов.

Недостатки метода заключаются в следующем: во-первых, рекомендуемые для настройки усредненные темпы биений плохо соответствуют расчётным; во-вторых, даже эти темпы приходится устанавливать с опорой на исключительно субъективные основания, то есть на слух и на внутреннее чувство темпа; в-третьих, квинты и кварты — интервалы, наименее чувствительные к погрешностям, и точность их при настройке невелика; в-четвёртых, коррекция строя обратными ходами, с опорой, опять же, на слух и внутреннее чувство темпа, не столько «выравнивает» температуру, сколько маскирует её неравномерность.

Предложенное нами применение в кварто-квинтовом методе приёма синхронизации, конечно же, не обеспечит точности, достигаемой в настройке собственно методом синхронизации (мешают настройка квинтами и квартами и «ленточная» форма процесса), но даст первичное распределение темпов, причём достаточно близкое к расчётным, и избавит настройщика от мучительного вслушивания в звучание в попытках правильно сопоставить биения и взаимно скорректировать их так, чтобы они выстроились в регулярную последовательность.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ФОРТЕПИАНО

Считаем чрезвычайно важным и необходимым уберечь читателя от опрометчивого следования некоторым «профессиональным» рекомендациям.

Древесину, используемую в производстве фортепиано, перед переработкой тщательно высушивают. Вот как пишет об этом Н. А. Дьяконов в книге «Рояли и пианино. Конструирование и производство» (М.: Лесная промышленность, 1966. С. 207—208):

«Назначение сушки — снижение влажности деревянных деталей до такого уровня, когда они не будут более усыхать и изменять свою форму в готовом изделии.

Почти все деревянные детали пианино и рояля сушат до влажности 6-8% [...] Резонансовые заготовки и буковые заготовки для вибрельбанка следует сушить до 5% влажности, заготовки для гаммербанка (бруса для крепления основных узлов и деталей механики. — *Прим авт.*) и грабовые заготовки на детали механики должны иметь конечную влажность не выше 6% [...] После выгрузки из сушильных камер древесина должна быть выдержана в закрытом помещении при температуре 20–25° и влажности воздуха 40–50% от 7 до 20 дней для уравнивания внутренних напряжений».

Добавим к этому самое главное: тщательное высушивание необходимо ещё и для «умерщвления» древесины, то есть полного прекращения в ней

естественных биологических процессов, после чего древесина, если её искусственным образом не увлажнять, уже больше никогда не сравняется по влажности даже с окружающей средой, и её так называемая равновесная влажность не будет подниматься выше 8,5 %, что является главным условием правильного функционирования и долговечности музыкального инструмента.

Но случается сталкиваться вот с каким явлением, причем не только в быту, но и в музыкальных школах — где, по логике вещей, должны работать профессиональные настройщики, знающие о фортепиано достаточно, чтобы, по крайней мере, не нанести ему вред. Некоторые из них рекомендуют владельцам устанавливать внутри корпусов пианино открытые ёмкости с водой, чтобы, как они говорят, «инструмент не рассыхался».

Этого делать ни в коем случае нельзя. Если в корпусе пианино установить открытую ёмкость с водой, то внутри музыкального инструмента, где воздух практически неподвижен, непременно образуется зона повышенной влажности, что приводит к перепаду влажности внутри и вне инструмента. Вследствие этого деревянные детали, даже защищённые лакокрасочными покрытиями, начинают испытывать коробление в одну сторону. Когда же вода испарится полностью, а хозяин инструмента этот момент проглядит, равно как если влажность вне инструмента по какой-либо причине станет выше, чем внутри, коробление пойдёт в сторону обратную. К тому же, бывают случаи перемещения музыкального инструмента с одного места на другое, когда о воде забыли или не знали, что она находится внутри, и она, расплескавшись, заливает цоколь и педальное устройство инструмента. Ко всему этому следует добавить, что при понижениях температуры пар обладает свойством превращаться в водяной конденсат и оседать на поверхностях деталей и конструкции в целом. Отсюда гнилостные процессы в клеевых соединениях, лишаящие их прочности и ведущие к расклейкам, ржавчина на вибрелях и струнах (последние изъедают каверны, вызывающие обрывы при настройке), плесень на кожаных деталях, нарушение межволоконного сцепления в войлочных деталях и т. д. Нет смысла доказывать, что все эти явления ничего, кроме вреда, не приносят.

Есть и ещё один веский логический аргумент против воды в пианино: бесспорный мировой авторитет немецких мастеров-фортепианостроителей, которые никогда не упускают возможность максимально упростить для пользователя процесс эксплуатации. Сочти они полезным держать в пианино воду, они бы наверняка снабдили его специальным устройством и инструкцией: «Вливайте воду в отверстие № 1, пока она не потечёт из отверстия № 2, и пополняйте таким образом её объём регулярно». Однако немецким мастерам почему-то такое в голову не пришло. А один из ведущих настройщиков Германии, сотрудник всемирно известного фортепианостроительного предприятия, проводивший в России семинар по обслуживанию фортепиано, в ответ на вопрос, следует ли ставить в пианино воду, недоуменно поинтересовался: «Зачем?!» — и всё никак не мог взять в толк аргументы некоторых российских «специалистов».

Успокоим владельцев пианино, а заодно и роялей, внутри которых держать воду абсолютно негде. Инструмент «не рассохнется», если в помещении, где стоит фортепиано, поддерживать температуру в пределах $+20$ – $+25^{\circ}\text{C}$ и, главное, относительную влажность в пределах 40–50%, а также держать музыкальный инструмент подальше от сквозняков, отопительных приборов и источников повышенной влажности — например, живых цветов в горшках (особенно вредно ставить их непосредственно на музыкальные инструменты). Кроме того, фортепиано категорически противопоказано пребывание в помещениях с подогревом полов, потому что даже в случае искусственного увлажнения воздуха паровая масса в таком помещении распределяется неравномерно, концентрируясь в верхних слоях и оставляя в нижнем слое влажность не выше 20%.

Для тех же, кто ленится или не имеет возможности постоянно поддерживать нормальные условия содержания фортепиано во всём помещении, в магазинах музыкальных аксессуаров в последнее время появились в продаже специальные устройства-увлажнители, размещаемые не в корпусах музыкальных инструментов, а под ними. Они образуют локальную зону с нормативной влажностью вокруг музыкального инструмента и, управляемые датчиками, способны поддерживать её в автоматическом режиме.

ПЕРИОДИЧНОСТЬ НАСТРОЕК

Цель настройки фортепиано — создание или восстановление нарушенного музыкального строя. Основных причин его нарушения две: эксплуатационные нагрузки и долгосрочное пребывание музыкального инструмента в изменяемых температурно-влажностных условиях его содержания. При интенсивной эксплуатации регламентировать частоту настроек бессмысленно: настраивать музыкальный инструмент следует всякий раз, когда он расстроится. Иное дело — зависимость периодичности настроек от условий содержания инструмента. Как уже говорилось ранее, наиболее благоприятными принято считать $+20$ – $+25^{\circ}\text{C}$ и относительную влажность 40–50%. Бережно относящиеся к своему фортепиано владельцы приобретают и размещают рядом с инструментом специальный прибор для контроля температуры и влажности и, руководствуясь его показаниями, различными способами поддерживают необходимые условия. Но даже это не избавляет от необходимости проводить периодические регламентные настройки, что способствует не только восстановлению приятного звучания фортепиано, но и продлению срока его службы.

Некоторые фортепианостроительные фирмы прилагают к приобретаемому музыкальному инструменту информационный буклет с рекомендациями по условиям его содержания и периодичности настроек. Общего мнения в последнем вопросе нет, но наиболее убедительными представляются рекомендации В. Г. Порвенкова (см. цит. изд. С. 80), ссылающегося на разработки американского исследователя Р. В. Янга:

«Основная рекомендация: фортепиано необходимо настраивать при перемене времён года, то есть примерно в апреле и ноябре, по стандарту. Такая двухразовая настройка будет давать отклонение в высоте от стандарта больше 8 центов, поэтому Р. В. Янг рекомендует проводить настройку четыре раза в год. Настройка в декабре держится до апреля, когда влажность повышается. В апреле делают настройку с понижением строя, так как наступившая влажность повышает строй. Эта настройка будет держаться до мая–июня. В этот период настройку можно повторить, и следующую сделать в середине сентября. Таким образом, схема настроек, по Р. В. Янгу, такова: первая настройка — ноябрь–декабрь, вторая — апрель, третья — июнь–июль, четвёртая — сентябрь. Эту схему следует считать ориентировочной, требующей уточнения применительно к специфике температурно-влажностных условий в месте нахождения фортепиано».

И к интенсивности эксплуатации музыкального инструмента, — добавим мы.

РЕКОМЕНДАЦИИ НА СЛУЧАЙ ОБРЫВА СТРУНЫ

В России огромная армия настройщиков фортепиано живёт и трудится в районах, отдалённых от мест, более или менее обеспеченных необходимыми средствами для осуществления этой специфической деятельности. Они лишены возможности приобрести в необходимых случаях нужные струнные материалы или заказать изготовление фортепианных струн. Дальнейшие рекомендации адресованы им.

В случае обрыва струны её, конечно же, следует заменить. Когда под рукой не оказывается нужного струнного материала, а обстоятельства требуют, чтобы музыкальный инструмент продолжал некоторое время находиться в рабочем состоянии, опытные настройщики поступают по-разному. На участке трёхструнных хоров каждые две струны чаще всего изготовлены из единого куска струнной проволоки, перегнутого пополам через штифт на нижней пластине металлической рамы. В этом случае из большего куска оборванной двойной струны можно изготовить одну струну, сформировав на её конце петлю и надев на штифт, то есть оставить в хоре две струны вместо трёх, хотя это и снизит громкость звучания хора. То же самое можно сделать и в случае обрыва струны в двухструнном хоре, то есть удалить оборванную, оставив звучать одну струну и отрегулировав клиновидный демпфер так, чтобы он при отпуске клавиши надёжно глушил звук, прикасаясь к струне боком. Всё это, конечно, плохо и оставлять музыкальный инструмент в таком положении надолго нельзя, потому что кроме ухудшения звучания это ведёт к неравномерному и ускоренному износу головок фортепианных молотков на неполных хорах.

Имеется и другой выход: оборванные концы струны можно связать особым узлом. Вязать этот узел очень несложно; он не требует расходования

большого количества струнного материала на завязывание концов, которые после вязки пришлось бы обрезать; его не нужно затягивать за концы вручную, что на упругой струнной проволоке практически невозможно. Предлагаемый узел (рис. 30) при натяжении струны затянется сам.

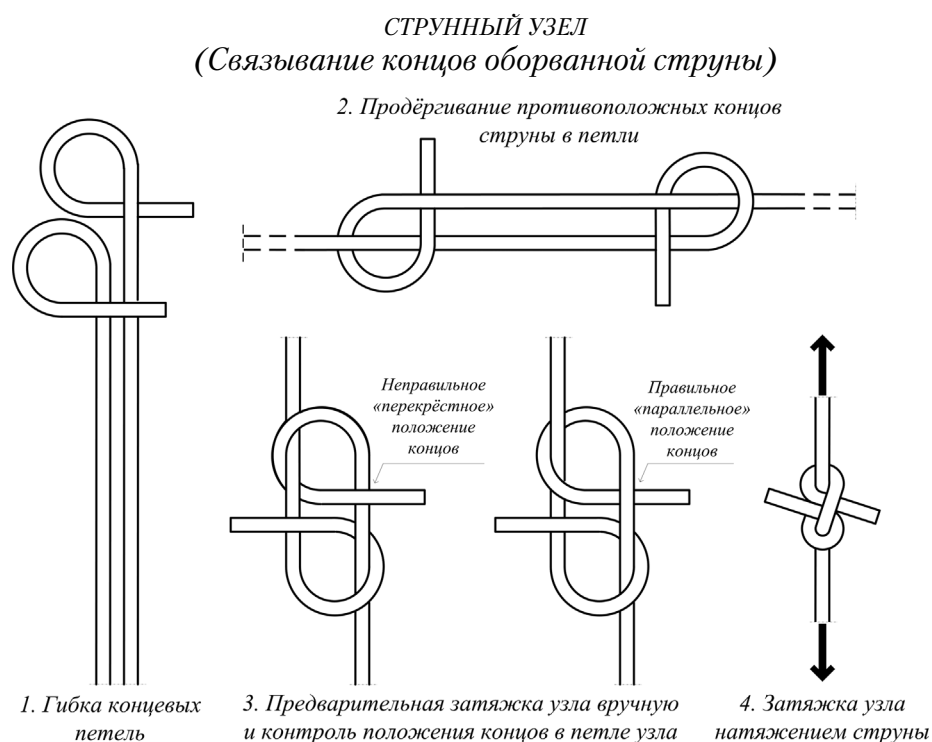


Рис. 30

Этот узел очень надёжен, потому что затягивается тем туже, чем натяжение выше. Он невелик по массе, поэтому почти не нарушает равновесия частей струны и не создаёт в её одиночном звучании заметных биений. Для вязки узла необходимы пассатижи-круглогубцы с коническими губками, желательны, загнутыми под углом. Создавая узел, очень важно правильно выполнить его вязку (см. на рис. 30 позицию 3). При неправильной вязке, ведущей к перекрёстному положению концов в затяжной петле узла, концы либо из неё выскользнут, либо «перерубят» друг друга и вызовут новый обрыв.

Если очевидно, что длины струны хватает, связывают оборванные концы; если же струна после связывания станет слишком короткой, её можно надставить куском другой струнной проволоки (снятой с отработавшего своё инструмента), равной или достаточно близкой по диаметру. Во всех случаях узел не должен препятствовать настройке, то есть не должен упираться в клангштабик или аграф.



ОГЛАВЛЕНИЕ

Природа музыкального звука	3
Музыкальный интервал в европейской музыке	6
Акустические феномены	7
Различение биений по темпам и уровням	10
Категоризация интервалов по удобству их точной настройки	13
Проблема соразмерности натуральных интервалов	15
Гармония и алгебра	19
Особенности конструкции «интервал-обращение»	21
Применение техник моделирования на практике	23
Феномен негармоничности обертонов	24
Критерии качества музыкального строя	27
Типологизация методик настройки	29
Генератор эталонных темпов биений	30
Подготовка фортепиано к настройке	32
Правила работы настроочным ключом	35
Завершение настройки струн обтяжкой	38
Выработка навыка управления биениями	40
Управление метабиениями	42
Функции «треугольника» в настройке	43
План настройки области темперирования методом синхронизации	49
Заключительный контроль качества строя в области темперирования	59
Настройка басового регистра	63
Настройка тенорового и дискантового регистров	68
Подстройка вторых и третьих струн хоров	72
Отсылки к библиографическим источникам	76
Приложения	77
Рекомендации по содержанию фортепиано	83
Периодичность настроек	85
Рекомендации на случай обрыва струны	86

Книжное издание

Яновский А. В.

**НАСТРОЙКА ФОРТЕПИАНО
МЕТОДОМ СИНХРОНИЗАЦИИ**

Технология, доступная каждому

*

Методическое пособие

Редактор Н. Шантырь. Художник М. Цветкова.
Компьютерная верстка К. Алексеенко

Лицензия № 009.196 ЛК № 000315

Н/К

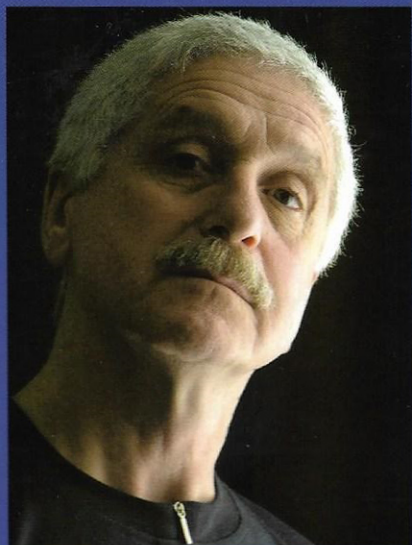
Форм. бум. 70x100^{1/16}. Печ. л. 5,5. Уч.-изд. л. 6,05.

Изд. № 11465. Тираж 500 экз. Цена договорная.

ООО Издательство «Композитор»
127006. Москва, Садовая-Триумфальная, д. 14/12
Тел. 650-54-15

E-mail: kompozitor@idk.su

Отпечатано в типографии ООО ИПТ «Гарт»



Александр Владимирович ЯНОВСКИЙ — слесарь, токарь (в далеком прошлом), актёр драмтеатра, командир танка, художник-оформитель и график, инженер службы промышленной эстетики, киносценарист и кинорежиссёр (окончил ВГИК), писатель, специалист по методологии деятельности. В советское время лектор Общества «Знание» и член правления Союза Менеджеров СССР; в новое время автор и соавтор ряда законодательных актов Российской Федерации, организатор и первый председатель Совета управляющих Финансово-промышленной группы в области самолётостроения, создатель самых популярных и массовых российских лотерей. Практикующий мастер-настройщик, исследователь и изобретатель в этой области, член Ассоциации фортепианных мастеров России и Союза Европейских Ассоциаций фортепианных мастеров «Европиано».

Две книги А.В. Яновского — *«Настройка фортепиано в контексте истории и теории музыкального строя»* и *«Настройка фортепиано методом синхронизации»* — написаны с целью популяризации важнейшего изобретения — метода синхронизации в настройке фортепиано. Подводя черту под многовековыми поисками способов и средств достижения максимальной точности и благозвучия музыкального строя, данный метод делает сложнейшую, даже загадочную работу настройщика фортепиано понятной и доступной практически любому человеку. В силу этого метод А.В. Яновского уже приобрёл значительное количество последователей в России и за рубежом.