

## НОВЕЙШИЙ МЕТОД СИНХРОНИЗАЦИИ В НАСТРОЙКЕ ФОРТЕПИАНО

Музыка состоит из звуков, любые два из которых образуют между собой тот или иной музыкальный интервал. Теоретическая модель современного европейского равномерно-темперированного музыкального строя чрезвычайно незатейлива. В ней октава разделена на 12 равноразмерных интервалов-модулей, именуемых полутонами, и любой музыкальный интервал складывается из соответствующего количества этих полутонов; а поскольку все полутоны равноразмерны, то и все интервалы строя соразмерны друг другу, отчего строй носит название «равномерно-темперированный».

В теоретической модели всё ясно, логично и просто, чего, к сожалению, не скажешь о самом строе. Система равномерной темперации была изобретена, математически обоснована и введена в музыкальный обиход около 470 лет назад, и с тех пор музыкальные акустики бьются над проблемой переноса расчётных параметров модели строя на собственно строй, но всякое их достижение не становится окончательным. А причина в следующем.

К настоящему времени человечество изобрело всего лишь три способа настройки музыкальных инструментов вообще и фортепиано в частности. Это настройка звуков по прибору (тюнеру), настройка интервалов интонированием и настройка интервалов по биениям. Настройку по тюнеру не получается называть таковой без некоторой натяжки, потому что музыкальный строй это не столько звуки, сколько их связи и отношения, — межзвуковые в интервалах и межинтервальные в аккордах, — а тюнер, пусть даже самый хороший, «слышит» только звуки, но не способен «слышать» созвучия, как это умеет делать слух даже самого плохого настройщика. Настройка интонированием — это подстройка одного звука к другому на слух с опорой на личное представление настройщика о правильном звучании интервала, то есть на его музыкальный вкус. Недостатков у этого способа два. Во-первых, вкусы бывают разные, в том числе и чудовищные, о чём свидетельствует звучание пианино и роялей во многих отечественных музыкальных образовательных учреждениях. Во-вторых, даже обладатели безупречного вкуса и абсолютного музыкального слуха воспринимают достаточно большое количество разновысоких звуков в диапазоне от 25 до 45 центов (1 цент —  $\frac{1}{100}$  полутона) как один и тот же звук. По этой причине если один и тот же настройщик настроит интонированием один и тот же интервал дважды, то этот интервал в обоих случаях непременно будет иметь различную размерность. Следовательно, и здесь ни о какой точности речи быть не может.

Самую высокую точность могла бы давать настройка интервалов по биениям, но и здесь всё непросто.


Фортепианная струна, производя звук, колеблется как целиком, так и различными частями, количество которых всегда выражено целыми положительными числами. Колебания целиком дают основной тон, колебания частями — обертоны. Эти отдельные колебания называют гармониками. Каждая гармоника имеет свой номер, соответствующий количеству

колеблющихся частей, и соответствующую этому номеру частоту колебаний. В натуральных музыкальных интервалах частоты всех или некоторых гармоник различных звуков полностью совпадают, но натуральные интервалы несоразмерны друг другу и потому замкнутый хроматический строй с делением октавы на 12 равномерных полутонов дать не могут. Поэтому в интервалах равномерно-темперированного строя случаев полного совпадения частот гармоник всего два; в интервале прима у обоих звуков совпадают все пары гармоник с одинаковыми номерами, а в интервале октава все пары гармоник с соотношением номеров 2:1. В остальных интервалах пары некоторых гармоник к совпадению близки, но немного не совпадают вследствие небольшого сужения одних интервалов и расширения других с целью приведения их ко всеобщей соразмерности. Несовпадение частот гармоник порождает несовпадение частот звуковых волн, которые, налагаясь друг на друга, вызывают пульсации в звучании в виде периодических усилений и ослаблений громкости. Эти пульсации называют биениями. Их частота всегда равна разности частот образующих их звуковых волн. Биения служат единственным средством точной настройки интервалов. Например, чтобы точно настроить два звука в приму или октаву, нужно не только сделать их одинаковыми по высоте (прима) или разновысокими, но похожими друг на друга (октава), но и полностью устранить биения в их совместном звучании. А если нужно точно настроить интервал с биениями, то, поскольку всякой разнице в частотах гармоник соответствует частота биений, интервал нужно настроить так, чтобы в его звучании присутствовали биения именно с этой частотой. И, казалось бы, если частоты биений во всех интервалах строя совпадут с расчётными, строй приобретёт наивысшее качество. Но, к сожалению, это далеко не так и причин тому несколько.

В модели музыкального строя все частоты тонов выражены числами с дробными частями, а потому такими же числами выражены производные от них частоты биений; например,  $-0,497$  б/сек.,  $+5,83$  б/сек.,  $-11,87$  б/сек. и т. п. (знаки «-» и «+» указывают, сужен интервал или расширен). Наиболее распространённые современные методики настройки фортепиано не знают иных способов установления в интервалах нужных биений, кроме опоры самого настройщика на его личное внутреннее чувство темпа. Понятно, что строй, полученный таким способом, даже в лучших своих образцах бывает чрезмерно приблизительным и никогда не поднимается до максимально возможного уровня точности.

В методе синхронизации проблема чрезмерной приблизительности полностью снята за счёт применения в технологии настроечного процесса внешнего независимого генератора эталонных темпов биений, который выдаёт весь диапазон необходимых темпов. Роль генератора исполняет обычный электронный метроном, на дисплее которого можно установить от 30 до 230 или 250 ударов в минуту, а также знак четвертной (♩), дуоли (♪), триоли (♫) или квартоли (♬). В первом случае темп ударов метронома соответствует установленному числу, во втором он удваивается, в третьем утраивается, в четвёртом учетверяется. Таким образом диапазон темпов метронома составляет от 30 (установка 30♩) до 920 (230♫) или 1000 (250♬) ударов в минуту с

дискретностью  $\pm 1$  удар. В пересчёте на секунды это даёт от 0,5 до 15,33 или 16,67 ударов в секунду с дискретностью в тысячные доли и менее. Метроном отбивает темп лёгкими и прозрачными по звучанию щелчками электронного зуммера, громкость которых регулируется, поэтому щелчки и биения друг друга не заглушают и хорошо прослушиваются одновременно. Настройщику только и остаётся их синхронизировать на слух, корректируя настройку интервала.

Приведём пример. При стандартной частоте  $ля_1$  440 Гц расчётная частота биений в большой терции  $ля-до^\#_1$  составляет +8,73 б/сек. В пересчёте на минуты это:  $8,73 \times 60 = 523,8$  б/мин. Если на метрономе установить 131 , его темп составит:  $131 \times 4 = 524$  уд./мин. В пересчёте на секунды это:  $524 : 60 = 8,7333...$  (тройка в периоде) уд./сек. Следовательно, если звук  $a$  считать настроенным, и, корректируя звук  $до^\#_1$ , синхронизировать биения в терции  $ля-до^\#_1$  с темпом ударов метронома до полного их совпадения, то величина погрешности в настройке звука составит 0,00333... Гц, а величина погрешности в настройке терции  $ля-до^\#_1$  составит в биениях 0,00333... б/сек., а в процентах 0,038%.

Точность фантастическая. Но если довериться ей безоглядно, она сыграет с настройщиком злую шутку. А именно: если к уже настроенной вышеупомянутой терции присоединить такие же точные последовательные терции  $до^\#_1-фа_1$  и  $фа_1-ля_1$ , которые в сумме должны дать точную октаву  $ля-ля_1$ , то выяснится, что октава неточна и имеет биения. Неточность, возникшая вследствие чрезмерной точности, объясняется следующим образом.

В теоретической модели музыкального строя частоты гармоник основных тонов рассчитаны для так называемых идеально гибких струн. От этих идеальных частот тонов производны идеальные частоты гармоник, которые в порядке возрастания их номеров идеально кратны друг другу в соотношении 1:2:3:4 и т. д. В колебаниях тело струны приобретает различные конфигурации волнообразной формы, которые возникают вследствие изгибов и перегибов струны. Струна, благодаря её натяжению, перегибам сопротивляется. Но это не всё. Струна изготовлена из стали, высокая упругость которой тоже заставляет струну сопротивляться перегибам, и это сопротивление тем выше, чем струна толще, короче и чем больше перегибов в конфигурации колебаний. А перегибов тем больше, чем больше номер гармоники. Эта естественная жёсткость струны приводит к тому, что частоты её гармоник отклоняются от идеальных в сторону повышения, и это отклонение пропорционально квадрату номеров гармоник, то есть чем номер гармоники больше, тем производимый этой гармоникой обертоном звучит несколько выше, чем звучать ему должно. В музыкальной акустике описанное явление называют негармоничностью обертонов. Величина негармоничности обертонов зависит от класса музыкального инструмента. У концертного рояля она мала, потому что струны у него длинные и тонкие, а у малогабаритного пианино она значительно больше, потому что струны у него толще и короче. А поскольку от частот гармоник производны частоты биений, то и здесь неизбежны отклонения от расчётных величин. Именно поэтому сумма трёх последовательных больших терций с идеальными темпами биений не даёт точную октаву. Вследствие этого настройщик попадает в замкнутый круг: если выполнить реальный строй, в котором частоты тонов полностью

совпадут с расчётными, не совпадут с расчётными темпы биений; если добиться совпадения темпов биений, не совпадут с расчётными частоты тонов; а попытки добиться совпадения и того, и другого заведомо обречены на провал.

Подлинная система критериев точности и качества музыкального строя опирается на следующие базовые основания. У музыкального строя частоты тонов и темпы биений стремятся к идеальным, но не совпадают с ними никогда, поэтому качество строя зависит только от совокупности двух факторов: точности октав и регулярности изменения темпов биений в последовательностях одноимённых интервалов при их исполнении в хроматическом (через полутон) порядке. Настроить октавы более или менее точно по силам любому настройщику. Но добиться подлинной регулярности в темпах биений, то есть подлинно равномерного распределения температурной нагрузки по интервалам, — это задача высочайшей сложности, и успешность её решения зависит не столько от личной одарённости настройщика, сколько от совершенства применяемого метода и технологий настройки.



При «ленточной» форме процесса настройки, традиционной для большинства современных методик, когда интервалы строят один от другого, ни настройка по биениям с опорой на внутреннее чувство темпа, ни настройка методом синхронизации наилучший результат дать не могут; в первом случае вследствие слишком большой приблизительности, а во втором вследствие слишком высокой точности при наличии фактора негармоничности обертонов. Разумеется, метод синхронизации даёт гораздо более качественный результат, чем настройка с опорой на чувство темпа, но и он на всю полноту «не работает». Здесь даже не спасают сверхточные октавы, потому что с ними благополучно уживаются как небольшие неравномерности, так и грубейшие ошибки в настройке интервалов «внутри» октав.

Исходя из вышеизложенного, метод синхронизации противопоставляет «ленточной» форме процесса «блочную», в которой роль блоков играют трезвучия. Если в любых двух интервалах трезвучия добиться полного совпадения реальных темпов биений с идеальными, то в «замыкающем» трезвучии третьем интервале по уже известной причине непременно образуется несовпадение. Однако это не препятствует высокоточной настройке, если соблюдать следующее правило. Настраивая интервалы трезвучия методом синхронизации в них темпов биений с соответствующими расчётными темпами ударов метронома, настройщик должен стремиться не к абсолютному, а к максимальному их совпадению, причём непременно во всех трёх интервалах трезвучия. При этом обнаружится любопытная вещь. Если вышеупомянутое правило соблюдено, то в сопоставляемых темпах слух не уловит никакой разницы, потому что эта разница даже у малогабаритных пианино с их высокой негармоничностью обертонов находится за пределами слухового восприятия. Но ведь эта разница не ощущалась и в «ленточной» настройке. Почему же она не даёт нужной точности? Попробуем выяснить это на примере настройки малогабаритного пианино модели С-13, где негармоничность обертонов чрезвычайно велика и разница между идеальными (расчётными) и реальными темпами биений наиболее значительна.

У стандартного строя ( $a_1$  440 Гц) интервалы *фа*-минорного секстаккорда

ля-до<sup>#</sup><sub>1</sub>-фа<sup>#</sup><sub>1</sub> имеют следующие расчётные темпы биений: большая терция ля-до<sup>#</sup><sub>1</sub> +8,48 б/сек.; кварта до<sup>#</sup><sub>1</sub>-фа<sup>#</sup><sub>1</sub> +1,28 б/сек.; большая секста ля-фа<sup>#</sup><sub>1</sub> +9,76 б/сек. Если это трезвучие настроить методом синхронизации, то фактические темпы биений составят: в большой терции ля-до<sup>#</sup><sub>1</sub> +7,92 б/сек.; в кварте до<sup>#</sup><sub>1</sub>-фа<sup>#</sup><sub>1</sub> +1,2 б/сек.; в большой сексте ля-фа<sup>#</sup><sub>1</sub> +9,12 б/сек. Во всех трёх интервалах отклонение составляет 6,5%, что при настройке даже методом синхронизации вряд ли будет уловимо на слух. Однако при «ленточной» настройке нет никаких гарантий, что эти неуловимые на слух погрешности распределятся между интервалами так же равномерно, а при настройке трезвучиями эти гарантии есть. И главное: погрешностям «вырваться» за пределы трезвучия не дано, в то время как при «ленточной» настройке они беспрепятственно переключаются из интервала в интервал, объединяются, накапливаются и рано или поздно непременно проявляются, вызывая незамкнутость музыкального строя и требуя дополнительной коррекционной настройки.

Метод синхронизации не усложняет, а облегчает работу настройщика, что очевидно из сопоставления его недостатков и достоинств. К недостаткам следует отнести необходимость иметь в распоряжении электронный метроном, держать под рукой на бумаге или хранить в памяти перечень эталонных темпов биений в подлежащих настройке интервалах (остальные интервалы образуются автоматически), а также перед настройкой каждого интервала настраивать метроном на соответствующий интервалу темп.

Теперь рассмотрим достоинства. Наличие метронома избавляет настройщика от напряжённого вслушивания в звучание каждого настраиваемого интервала и мучительного решения вопроса, правильно ли угадан темп биений или нужно поработать ещё. Всё это заменяет простейшая процедура синхронизации, не требующая ни высокой квалификации, ни изощрённого музыкального слуха или отточенного внутреннего чувства темпа. Наименования интервалов с их эталонными биениями легко и быстро запоминаются как установочные параметры для метронома, например, терция фа-ля (с установкой 104 ) как «сто-четыре-на-четыре», большая терция ми-соль<sup>#</sup> (196 ) как «сто-девять-на-шесть-на-два» и т. п. Настройка методом синхронизации ведётся только большими терциями и секстами, объективно дающими самую высокую точность, и «втягивает» в строй всего лишь 13 звуков одной-единственной октавы, потому что приёмы дальнейшего разнесения этих звуков по всему звуковому диапазону фортепиано у всех методик практически одинаковы. Опыт свидетельствует, что настройка методом синхронизации не требует ни большего технологического времени, ни дополнительных затрат психофизической энергии настройщика. И, наконец, самое главное: красота звучания строя, созданного методом синхронизации, не входит ни в какое сравнение с той, которую приобретает строй, созданный любым другим методом.

А. Яновский