

## Настройка фортепиано с поднятием строя

С необходимостью подъема строя все мы встречаемся при работе едва ли не с каждым вторым фортепиано наших клиентов (если не чаще), поэтому разобраться в связанных с этим вопросах и попытаться найти оптимальные приемы для подъема строя нам будет полезно.

Известны разные методы подъема строя, от самых примитивных (все струны поднимаем подряд слева направо или от середины к краям) до весьма экзотичных (например, так называемая «секционная настройка»: сначала поднимаем все «ля», потом все «си-бемоль» и т. д.). Имеющиеся в популярных «продвинутых» настроечных программах опции типа over-pull или pitch raise породили неоправданный оптимизм у некоторых наших коллег, посчитавших, что теперь можно и во все не ломать голову над этой проблемой: включил over-pull – и крути себе колки, глядя на дисплей: разработчик программы гарантирует качество. О том, насколько это не только неправда, но еще и опасно для инструмента, мы далее поговорим.

Обилие и разнообразие методов и приемов в данном случае говорит не столько о широте выбора, сколько об отсутствии четких представлений о том, что происходит с инструментом при подъеме строя. Однако иметь такое представление мастеру-настройщику, безусловно, необходимо. Стоит подумать и о том, как подъем строя фортепиано осуществить с минимальным риском для самого инструмента и, с другой стороны, с минимальным расходом сил и рабочего времени самого настройщика – последнее тоже немаловажно. Именно этими вопросами мы и займемся.

Реже возникающую перед нами проблему опускания строя, мы отдельно рассматривать не будем, но в первом приближении можно считать, что порядок действий здесь будет тем же, что и при подъеме, но с заменой всех восходящих движений и упреждений на нисходящие.

Хорошо известно, что суммарная сила натяжения струн в пианино и малых роялях достигает 16 тонн, а в больших концертных роялях зашкаливает и за 20 тонн. Как бы ни была прочна рама инструмента (а чугун хрупок!), как бы ни поддерживал ее футор (а есть и бесфуторные конструкции пианино, есть и откровенно слабые ГДР-овские «футоры», склеенные из досочек и сухариков), реальные нагрузки на опорные конструкции фортепиано от натяжения струн близки к пределу прочности этих конструкций. Нужно помнить и о том, что нередко при сборке рамы с футором припасовка деталей бывает не вполне аккуратной, древесина футора с течением времени подвергается усыханию и короблению, что также нарушает оптимальную связь футора с рамой, снижая тем самым общую прочность опор.

Между тем, стоит напомнить, что поднимая строй на полутон, мы к имевшейся ранее суммарной силе натяжения струн добавляем еще более 12%, а это составляет без малого две тонны для пианино и приближается к двум с половиной тоннам для большого рояля. Ясно, что такой «довесок» будет чувствителен даже для прочной чугунной рамы и других опорных конструкций инструмента, и вносить его нужно постепенно и равномерно по диапазону.

С учетом этих соображений, значительный (больше, чем на 25-30 центов) подъем строя любыми вариантами метода «подряд», будь то слева направо или из середины к краям, нужно признать самым негодным и даже опасным для инструмента. Независимо от выбранной схемы продвижения по диапазону, при таком порядке действий к середине работы одна сторона всего комплекта струн будет натянута на значительную величину сильнее другой. Это значит, что, грубо говоря, одна тонна и даже больше на каждый полутон подъема строя будет перекашивать опорные конструкции вашего инструмента. Ясно, что это для них — серьезный стресс, последствия которого будут еще долго сказываться на стабильности строя, даже если не произойдет ничего катастрофического (типа треснувшей рамы или «опрокинутого» штага).

Именно по этой причине я считаю использование опции over-pull (и ее аналогов) по меньшей мере неразумным. Начнем с того, что работа по этой опции требует больших затрат времени и сил, чем при грамотном подъеме строя черновым проходом на слух (о нем подробно расскажу позже). Рассчитывать на высокое или хотя бы приемлемое качество настройки по окончании прохода с подъемом, которое обещают разработчики этих опций, в действительности не приходится (я докажу это позже), и как минимум еще один проход «начисто» все равно будет необходим. Но главное заключается в том, что такая работа подвергает настраиваемый инструмент вышеупомянутой

опасности. Правда, авторы программ предусматривают некоторый safety limit (граница безопасности), по умолчанию обычно 25 центов начального завышения, отсчитываемых от конечной высоты строя. Но само наличие этого safety limit доказывает, что опасность существует, а технология over-pull всегда подразумевает подъем строя по всем струнам подряд, то есть использование самого опасного прядка действий из всех возможных.

Итак, подъем всех струн подряд при повышении строя более чем на 25-30 центов или 6-7 Гц для ля<sup>1</sup> (что дает перекося нагрузку на раму свыше 250-300 кгс) мы будем считать непригодным ввиду его опасности для инструмента.

Но в то же время, следует признать, что работа настройщика в таком порядке наиболее производительна, поскольку требует минимума движений для перемещения ключа с колка на колок и всего тела настройщика с одного участка вибрельбанка на другой. Напротив, упомянутая выше «секционная настройка», обеспечивающая для инструмента больше «комфорта» (нагрузка на опоры изменяется более равномерно по всей их длине), очень некомфортна для настройщика. Работая этим методом, мы вынуждены постоянно передвигаться влево-вправо вдоль всего вибрельбанка, от басов к дискантам и обратно, а это довольно утомительно и, кроме того, занимает время и сбивает с ритма работы.

Очевидно, что оптимальный метод изменения общей высоты строя должен представлять собой некую «золотую середину» между этими двумя «полюсами», то есть обеспечивать, с одной стороны, достаточную равномерность изменения нагрузки на опоры по всей их длине, а с другой, — быть удобным для работающего мастера и достаточно производительным. Именно такой компромиссный порядок действий — не слишком утомительный и вполне безопасный для инструмента даже при значительном подъеме строя — я и хочу здесь предложить.

Но прежде, чем переходить к описанию этого метода, равно удобного и для настройщика, и для настраиваемого фортепиано, мы должны рассмотреть еще один вопрос, не менее важный для понимания того, что происходит с инструментом при смене высоты строя.

Весь комплекс «струны — рама и футор» представляет собой внутренне напряженную упругую систему, состоящую из множества упругих элементов: струны натянуты и, соответственно, растянуты, рама и футор противостоят этому натяжению, испытывая нагрузки сжатия, изгиба и в некоторых участках также и растяжения (при изгибе). В такой системе любое изменение отдельной силы (натяжения, сжатия или изгиба) неизбежно приводит к изменению ВСЕХ ОСТАЛЬНЫХ СИЛ, а значит и к изменению общей конфигурации системы: она ведь упругая, она подчиняется закону Гука. Для тонкого растяжимого стержня закон Гука имеет вид:

$$F = k \cdot \Delta l.$$

Здесь  $F$  — сила, растягивающая (или сжимающая) стержень,  $\Delta l$  — абсолютное удлинение (или укорочение при сжатии) стержня, а  $k$  — коэффициент упругости (мера жёсткости) стержня. Формула говорит о том, что величина изменения длины стержня пропорциональна приложенной к нему силе.

Конечно, во всей сложной конструкции фортепиано только струны подпадают под определение «тонкий растяжимый стержень», а поведение опорных конструкций, как трехмерных объектов сложной формы, описывается более сложными формулами. Но все эти опорные конструкции так или иначе упругие и под действием изменяющейся силы всегда изменяют свою геометрическую конфигурацию. Правда, величины этих изменений настолько малы, что мы их непосредственно, на глаз или наощупь, не воспринимаем и поэтому просто игнорируем. Мера этих изменений — микроны, но ввиду очень высокой жесткости стали струн, на каждый микрон своего удлинения или укорочения струна реагирует вполне слышимым изменением высоты издаваемого ею тона. Каким бы высоким ни было значение жесткости опор ( $k$  в правой части формулы Гука),  $\Delta l$  никогда не бывает равно нулю, а значит —

**ЛЮБОЕ, ДАЖЕ САМОЕ МАЛОЕ ИЗМЕНЕНИЕ НАСТРОЙКИ ЛЮБОЙ СТРУНЫ ФОРТЕПИАНО ВЫЗЫВАЕТ ОБЩЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ВСЕГО СТРОЯ.**

Из этого следует, что в процессе постепенного подъема строя каждая струна, перестраиваемая, скажем, на полтона выше, «осаживает» весь остальной строй на некоторую, пусть ничтожно малую величину, однако сумма из примерно 220 ничтожно малых величин оказывается уже вполне ощутимой. Даже поднимая строй всего на 1 Гц, допустим, с 439 до 440 Гц, мы должны это неизбежное к концу прохода осаживание строя точно так же учитывать, если речь идет о финальном проходе начисто.

И здесь уместно будет обратить внимание на еще один недостаток компьютерных тюнеров: ни одна программа и ни один аппарат этого осаживания в расчет не принимает<sup>1</sup>, и надеясь за 1 проход хорошо настроить инструмент с очень небольшим подъемом строя в 0,5-1 Гц по тюнеру, вы начинаете настройку в точные, допустим, 440 Гц, а когда ее заканчиваете, начальные звуки уже съехали примерно в 439,8 Гц, но ваш тюнер об этом не знает и продолжает упорно предлагать частоты тонов, соответствующие исходному строю в 440 Гц, а значит, окончание настройки с началом уже не состроится.

Этой неприятности не происходит при настройке на слух, поскольку каждый вновь настраиваемый звук строится в опоре на уже настроенные и в согласовании с ними. И хотя к концу работы на слух строй в целом также будет чуть ниже начального уровня, но он не потеряет, в целом, своей стройности, а неизбежные остаточные расхождения, вызванные разной жесткостью разных участков рамы инструмента, будут незаметны на слух.

Из сказанного в нескольких последних абзацах нетрудно сделать вывод, что по-настоящему высококачественная настройка, в случае, если общая высота строя изменяется, пусть даже всего на несколько центов, невозможна. Общее сжатие опорных конструкций, вызванное увеличением суммарного натяжения струн при подъеме строя, по-разному скажется на струнах разных участков диапазона инструмента. Так, для басовой струны длиной, скажем, в 1 метр ее укорочение на 1 микрон составит одну миллионную долю ее длины, а для крайнего дискантового  $do^5$  длиной 50 мм этот микрон составит уже в 20 раз большую, 50-тысячную долю длины струны. По-разному отреагируют даже на равное укорочение соседние обвитые и «голые» струны на границе басового и тенорового участков: высота звука относительно толстых и со слабым удельным натяжением «голых» струн изменится гораздо заметнее, чем высота соседних обвитых с тонким сильно напряженным керном.

В силу такой разницы в реакции на осаживание опор при подъеме строя, **высокое качество настройки может состояться только при самом минимальном изменении общей его высоты, в идеале – при нулевом.** А это значит, что при последнем (возможно, и единственном, если повезет) «черновом» проходе нам нужно как можно точнее попасть в искомую конечную высоту общего строя инструмента.

Опыт показывает, что для сравнительно точного попадания в конечную цель нам нужно завесить начальное  $ля^1$  на 25-30% от дистанции повышения строя. Назовем это упреждением. В герцах для  $ля^1$  упреждение будет составлять 6-7 Гц на полутон. Меньшие цифры относятся к солидным инструментам с жесткой рамой и мощным футором (например, отечественные пианино арт. 102 и ему подобные), большие – к «деликатным» облегченным конструкциям фортепиано (например, малогабаритные пианино производства ГДР, бесфуторные конструкции).

При меньших дистанциях подъема расчет упреждения делается так же: завышаем настройку начального тона на четверть (или чуть больше) той дистанции, на которую поднимаем строй. Например, чтобы перестроить фортепиано с 435 на 440 Гц, начинаем подъем с настройки  $ля^1$  примерно на 441,3 Гц ( $440 - 435 = 5$ ;  $5 : 4 = 1,25$ ;  $440 + 1,25 \approx 441,3$ ). Еще удобнее эти расчеты делать в центах, используя любой тюнер, способный показать расстройку звуков в центах. Измеряем исходную высоту строя, желательно по нескольким звукам и в разных участках диапазона, усредняем показания, вычисляем дистанцию до цели, прибавляем упреждающие проценты в соответствии с жесткостью опор и настраиваем  $ля^1$  на вычисленную частоту.

---

<sup>1</sup> Возможно, что опции типа over-pull предусматривают некую усредненную величину коррекции высоты строя по мере прохождения диапазона инструмента, но точных данных на этот счет у меня нет.

Теперь перейдем к описанию метода «щадящих» черновых настроек с общим подъемом строя, — метода, позволяющего избежать указанных выше опасностей и в то же время достаточно удобного в работе. Заключается он в следующем:

— начальный тон *ля*<sup>1</sup> настраивается, как уже сказано, выше искомой конечной высоты в расчете на последующую осадку строя в результате упомянутых деформаций;

— настройка всех звуков ведется только по одной (средней в области использования температурной ленты и левой в верхней части диапазона) струне хора, а басы с одиночными струнами настраиваются не подряд, а через один;

— подстройка остальных струн всех хоров в унисон к ранее настроенным, а также настройка пропущенных одиночных басовых струн производится также последовательно по всем одноименным струнам всего диапазона (сначала — все вторые струны трехструнных хоров, оставшиеся струны двухструнных и ранее ненастроенные басы, затем все оставшиеся последние струны трехструнных хоров);

— допускается и даже рекомендуется для ускорения работы невысокая тщательность выстраивания всех интервалов: достаточно, чтобы каждый интервал оказался в пределах своей широкой «прикидочной» зоны.

Опишем эту технологию подробнее, в конкретной последовательности действий. Для скрупулезного выполнения перечисленных особенностей черновой настройки понадобится температурная фольцевая лента и не менее двух резиновых клинков для басов (можно использовать фольцевую ленту и здесь). Лентой заглушаем крайние струны всех хоров в пределах центрального участка диапазона инструмента, от первого тенорового хора до начальных звуков второй октавы. Настроив октаву *ля—ля*<sup>1</sup> с нужным завышением относительно конечной высоты строя, проходим всю температуру и прилегающие к ней заглушенные полоской сукна участки выше и ниже этой октавы. Затем, не настраивая пока что унисонов, идем вверх октавами по левым струнам хоров до конца диапазона. Октавы эти также лучше настраивать с небольшим завышением: 1-2 биения в секунду во второй и чуть больше в более высоких октавах относительно уже настроенных звуков. Опорный звук в участке с температурной лентой извлекаем левой рукой ударом клавиши при нажатой правой педали, а настраиваемую струну возбуждаем, щипывая ее ногтем указательного пальца левой же руки (в правой — настроенный ключ).

Затем движемся от первого звука басового участка вниз, также настраивая только по одной струне всех хоров. Завышения настраиваемых звуков здесь не требуется. Дойдя до нижней октавы от первого баса, придется заглушить ненастроенные струны опорного звука в начале басового участка вторым клинком и при дальнейшем движении вниз придется переставлять уже по два клинка: для опорного и для настраиваемого звуков. Как уже сказано, можно и здесь воспользоваться фольцевой температурной лентой, но я привык обходиться двумя клинками.

Достигнув регистра одиночных струн, настраиваем их на этом этапе не подряд, а через одну, по целотонной гамме (например, *Ля, Соль, Фа, Ми-бемоль, Ре-бемоль, Си, Ля*).

Закончив нисходящее движение «по одной струне», переходим вновь к трехструнным хорам и настраиваем их по одной из еще не настроенных струн в унисон с ранее настроенными снизу вверх подряд. Удобно настраивать здесь левые струны в зоне, где использовалась фольцевая полоска, и средние струны выше этой зоны.

Качество унисонов некритично, но можно позаботиться, чтобы эти первые унисоны были, по крайней мере, в пределах малой — второй октав достаточно чистыми: это облегчит настройку третьих струн хоров на следующем этапе. Начиная от середины второй октавы и выше, более удобным вновь оказывается щипковое возбуждение струн (с нажатием правой педали на струнах с демпферами).

Затем вновь переходим к басам: здесь настраиваем подряд сверху вниз все оставшиеся ранее ненастроенными струны: в унисон в двухструнных хорах и в октаву — в однострунных.

Последний этап — настройка в унисон оставшихся правых струн подряд снизу вверх в трехструнных хорах. И здесь выше середины второй октавы струны проще возбуждать щипком. На этом черновая настройка будет закончена.

Несмотря на некоторую громоздкость описания порядка действий, такая черновая настройка при выработанном навыке занимает не более 15-20 минут и совершенно не утомительна для настройщика, поскольку здесь не требуется ни тщательного вслушивания в звучание интервалов, ни аккуратного их выстраивания. Далекие перемещения всего тела настройщика между разными участками вибрельбанка сведены к минимуму. В то же время, преимущества описанного способа подъема строя для сохранения инструмента очевидны. Настраивая «по одной струне», мы в три раза равномернее дозируем дополнительную нагрузку на раму и футор, распределяем ее малыми порциями по всему диапазону (то есть по всему протяжению опор) и имеем, как следствие, втрое меньшие перекосы опор на всех стадиях работы. С учетом всего сказанного можно быть уверенным в более стабильном последующем состоянии строя инструмента.

Закончив черновой проход, проверьте высоту звука  $ля^1$  и убедитесь в реальности деформаций рамы от возникшей добавочной нагрузки: в зависимости от величины общего подъема строя и меры гибкости опор вместо исходных 25-30 центов выше целевой высоты этот звук если и не попадет точно в цель, то уж непременно окажется близко к ней. Если этот «недолет» или «перелет» не превышает 1 биения в секунду для  $ля^1$  (около 4 центов), можно попытаться следующий проход сделать уже начисто. В противном случае не поленитесь провести еще одну черновую настройку, но уже с минимальным начальным упреждением в  $\frac{1}{4}$  от получившейся ошибки.

Опыт работы с сильно спустившими общий строй инструментами показывает, что после первой черновой настройки наиболее заниженными оказываются область второй-третьей октав и верхний участок басового регистра. Если после первой черновой настройки  $ля$  малой октавы оказалось близким к цели, но указанные зоны звучат явно низко, есть смысл вторую черновую настройку провести в сокращенном виде, подтянув струны только в зонах занижения. При этом можно работать уже не «по одной струне», а подряд, подстраивая вторую и третью струны хора сразу же вслед за настройкой первой по октаве. «Недолет» или «перелет» всего строя в целом в пределах до 20-25 центов (5-6 Гц для  $ля^1$ ) также можно исправить вторым черновым проходом «подряд».

Однако в ответственных случаях (например, подготовка инструмента к концерту или звукозаписи) или, если прочность и надежность опор вызывает сомнения (например, инструмент достаточно «пожилой», или в результате первой черновой настройки получился слишком низкий и слишком неровный строй), лучше и вторую черновую настройку провести по полной программе. Затраченное время окупится лучшим качеством и большей стабильностью окончательной настройки начисто.

Часто возникает и задается вопрос: насколько поднимать строй за 1 проход? В принципе, крепкий и от природы «здоровый» инструмент выдерживает при описанной выше технологии подъем и на два, и даже на три полутона за 1 проход. Но в реальных условиях работы с инструментом, хозяин которого пригласил вас впервые, и вы обнаружили, что строй опустился на два или три полутона, вряд ли у вас может возникнуть твердая уверенность, что инструмент здоров, и его опорные конструкции надежны. Поэтому лучше не рисковать и больше, чем на полутон за один проход, строй не поднимать. А по достижении высоты строя «минус полутон и менее» разумнее всего использовать метод последовательного приближения. Каждый раз стараемся попасть точно в цель, принимая упреждение по вышеприведенной формуле. Недолеты или перелеты почти неизбежны, но когда очередная неточность попадания в цель будет меньше 4 центов (1 Гц для  $ля^1$ ), следующий проход можно делать уже начисто.

Сказанное справедливо в отношении работы со сравнительно молодыми инструментами, однако со старыми и ценными фортепиано лучше использовать более щадящий режим и не поднимать строй больше, чем на 50-60 центов за один проход.

Несколько слов про упомянутое выше «опрокидывание» штега. Явление это хоть и маловероятное, но в высшей степени неприятное. Речь идет о том, что при подъеме строя натяжение рабочих отрезков струн возрастает, но вследствие повышенного трения струн на штеге это возрастание не проникает в задние (в пианино — нижние) отрезки струн. Разница в натяжении рабочих и задних (нижних) отрезков струн вызывает наклон штегов в сторону от рамных штифтов, наклон

этот может достигать заметных величин и приводит к отклеиванию штегов от деки, образованию коробления деки и трещин на ней в зоне штега.

«Протащить» добавочное натяжение струн за штег, в задний (нижний) нерабочий участок струн и гарантировать себя от «опрокидывания» можно и нужно после первого прохода с подъемом. Для этого достаточно продавить каждую струну с помощью приспособления, описанного в книге А.Яновского (рис. 1), с усилием 3-4 кгс (для обвитых струн можно сделать отдельную колодочку с мягкой прокладкой в более широком желобке). Сила натяжения струны при таком продавливании заметно возрастет, и к исходным 70-130 кгс добавится еще пара-тройка десятков килограммов – струна сдвинется на штеге, и дополнительное натяжение проникнет в задний (нижний) нерабочий ее отрезок. Соседние струны при этом удержат от нежелательного смещения сам штег.

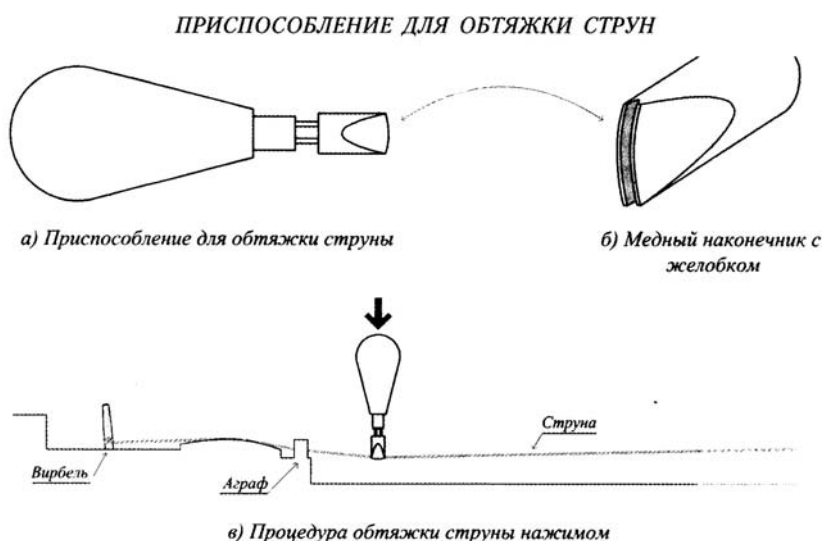


Рис. 1. Оправка А.Яновского для прожимания струн.

Разумеется, в пианино нужно будет предварительно снять механику. Но обычный порядок работы с пианино предполагает сначала черновой подъем строя, затем чистка подклавишного пространства при снятой механике — именно в это время и можно провести необходимое прожатие струн, не делая дополнительных снятия и установки механики.

Почему-то считается, что басовый участок грузит раму сильнее дискантового. Это мнение объясняется тем, что натяжение струн в басах зашкаливает за 100 кгс, в то время как в дискантах составляет около 70 кгс. В действительности все оказывается наоборот: дискантовые струны нагружают раму в заметно большей степени, чем басы. Не будем забывать, что в середине и в дискантах каждый молоток бьет по трем струнам, тогда как в басах – по двум и по одной. Вот график из статьи эстонских конструкторов фортепиано о мензуре их кабинетного рояля:

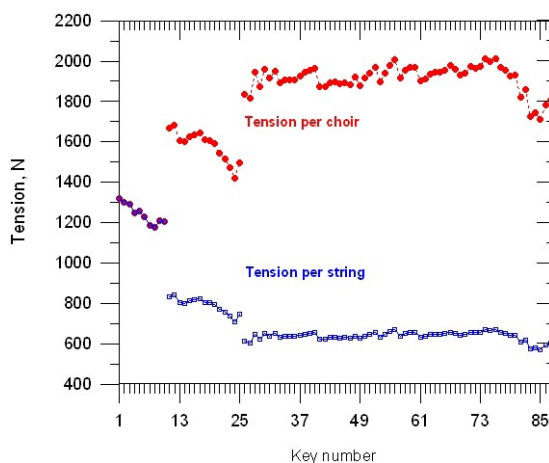


Рис. 2. Силы натяжения струн (синие точки) и хоров (красные точки) в кабинетном рояле *Parlour* Таллиннской фабрики фортепиано.

Синим на графике отмечены силы натяжения **струн**, мы видим, что в необитых трехструнных хорах центрального и дискантового участков эта сила составляет в среднем около 600 Н (т. е. меньше 62 кгс, что, на мой взгляд, маловато), в двухструнных хорах басового участка она возрастает до 700-800 Н и достигает максимума в однострунных басах: 1200-1300 Н. Такие перепады величины сил натяжения на переходах от трех- к двухструнным и от двух- к однострунным хорам вызваны необходимостью сохранить приблизительное равенство волнового сопротивления хоров на таких переходах ради единства громкости и тембра: образно говоря, двухструнный хор должен сопротивляться удару молотка точно так же, как и соседний трехструнный, что и достигается увеличением как погонной массы струн, так и силы их натяжения.

Красным на графике показаны величины натяжения **хоров** (в одиночных басах красные отметки совпадают с синими, давая фиолетовый цвет). И здесь хорошо видно, что суммарное натяжение хоров ступенчато нарастает от басов к центральному и дискантовому участку. Некоторый спад нагрузки в самом верху дискантов – это, скорее всего, индивидуальная особенность мензуры данной модели, но показанная здесь общая картина свойственна всем пианино и роялям всех фирм и габаритов.

Отсюда можно сделать вывод, что уж если мы решаем поднимать строй по всем струнам подряд (скажем, при проходе начерно при небольшой величине подъема), то для инструмента будет безопаснее начать подъем с басов и только затем поднимать дисканты: величина промежуточного перекоса нагрузки здесь окажется меньше.

И в завершение статьи — некоторые соображения по поводу полной замены струн на фортепиано. Сначала – о снятии старых струн. Даже опытный и осторожный К.-Й.Форсс в своей книге о ремонте фортепиано ничего не говорит о порядке ослабления натяжения старых струн перед их снятием с инструмента и предлагает просто снимать их по порядку слева направо. Между тем, действуя таким способом и дойдя до середины диапазона, мы полностью разгрузим левую сторону опорных конструкций инструмента, оставив правую под нагрузкой 8-10 тонн! Это уже не те скромные 2 тонны, о которых шла речь при подъеме строя на полутон. Такой перекос нагрузки может эти опоры с большой вероятностью повредить, если не вовсе сломать, и подобные катастрофические случаи известны.

Я убежден, что даже сравнительно молодой и от природы здоровый инструмент (не говоря уже о старых и ценных) в такой ситуации требует еще более плавного и постепенного по всему диапазону снижения нагрузки. И здесь мне представляется, что даже порядок действий «по одной струне», описанный выше для подъема строя (разумеется, с заменой подтягивания струн на их ослабление до нулевого натяжения) здесь будет слишком грубым.

Возьмем для примера струны эстонского кабинетного рояля на рис. 2. Если мы полностью снимем натяжение одной из струн всех шестидесятидвух трехструнных хоров, правая сторона опор инструмента лишится нагрузки без малого в 4 тонны. Очевидно, что такой перекос нагрузки для инструмента опасен. Значит, нужно найти более щадящий режим снятия струн. Риску предложить следующий порядок работы, являющийся развитием ранее описанного.

Первым проходом ослабляем по одной струне только нечетных трехструнных хоров. Здесь снимается одна шестая часть нагрузки данного участка, то есть 2 тонны вместо четырех. Второй этап – ослабляем двухструнные басы по одной струне хоров по целотонной гамме, то есть каждую четвертую струну. В однострунных хорах также ослабляем каждую четвертую струну. Здесь опоры лишаются одной четверти нагрузки. Далее ослабляем по одной струне ранее нетронутых трехструнных хоров, и наш тенорово-дискантовый участок диапазона лишится еще одной шестой части первоначальной нагрузки. Теперь снимаем еще одну четверть нагрузки с басов, ослабляя по одной струне ранее нетронутых двухструнных хоров и каждую четвертую струну однострунных, находящуюся посередине между ранее ослабленных. Дальше работаем аналогично, снимая по одной шестой части нагрузки с тенорово-дискантового и по одной четверти с басового участка.

Обычное расположение колков в вирбельбанке позволяет довольно легко ориентироваться при таком порядке работы: четные хоры имеют колки ближе к аграфам или каподастру, а нечетные — дальше (или наоборот).

При постановке новых струн первоначальное их натяжение приходится делать подряд, какой-либо иной порядок здесь был бы крайне неудобен. Однако сама величина этого первоначального натяжения невелика: обычно достаточно натянуть струну так, чтобы витки только удерживались на колке, а это достигается при «настройке» струны более, чем на октаву ниже номинала и значит, более, чем вчетверо слабее окончательного натяжения. Последующий подъем строя до стандартного  $\nu^1 = 440$  Гц я обычно веду в три приема вышеописанным порядком работы «по одной струне». Первый подъем делаю на большую терцию ниже стандарта с одновременной подтяжкой струнных колец на колках, второй подъем — на полтона ниже стандарта и третий — на стандартную высоту. Окончательную настройку с учетом последующей релаксации новых струн приходится делать на высоту примерно 445–447 Гц с соответствующим упреждением, и лучше ее отложить на неделю-другую, поскольку релаксация в первое время после наложения новых струн идет довольно быстро (см. Приложение).

**Приложение:** статья из Интернета, автор(ы) не указан(ы).

<http://www.heuristic.su/effects/catalog/est/byId/description/598/index.html>

*Упругое последствие* — явление *релаксации*, состоящее в изменении с течением времени деформированного состояния *твердого тела* при неизменном напряженном состоянии. Упругое последствие характеризуется однозначностью условий *равновесия* (полная восстанавливаемость) между *напряжением* и *деформацией*, равновесное значение которой достигается по истечении достаточного времени. Продолжительность изменения — время релаксации — зависит от способа и температуры деформации, а также от предыстории и свойства твердого тела.

*Абсолютное удлинение* тела (стержня) при растяжении без указания длины стержня не может служить мерой степени деформации материала. Опыт показывает, что при различной *длине* стержня и при прочих равных условиях одна и та же сила способна вызвать различное его удлинение: чем длиннее стержень, тем больше его удлинение. В связи с этим удобно ввести понятие, характеризующее деформацию независимо от длины стержня, на которой она обнаружена. Такой характеристикой является *относительная линейная деформация*  $\varepsilon$ , которая в рассматриваемом случае однородна (постоянна во всем объеме стержня) и находится по формуле

$$\varepsilon = \Delta l / l, \quad (1)$$

где  $\Delta l = l - l_0$  — абсолютное удлинение стержня,  $l_0$  и  $l$  — первоначальная его длина и длина после деформации.

Если нагружение образца (например, *сжатие* или *растяжение*) произвести до силы  $P$ , то правильнее учитывать не абсолютную силу, а значение напряжения, определяемое выражением

$$\sigma = P/F_0, \quad (2)$$

где  $F_0$  — первоначальная *площадь поперечного сечения* образца стержня (другого тела).

Различают *прямое упругое последствие* и *обратное*. Если к телу приложить *постоянное напряжение* (рис. 1), то в момент  $t_0$  мгновенно (участок АВ) возникает упругая деформация  $\varepsilon_y$ , которая в дальнейшем будет увеличиваться (участок ВС) по времени  $t$ , **асимптотически** (выделено мной — В.К.) приближаясь к равновесному значению  $\varepsilon_p$ . Прирост дополнительной упругой деформации

$$\delta\varepsilon = \varepsilon_p - \varepsilon_y, \quad (3)$$

называют *прямым упругим последствием*, в отличие от *обратного*, где после устранения напряжения мгновенно снимается упругая деформация  $\varepsilon_y$  (участок CD), а дополнительная упругая деформация  $\delta\varepsilon$  **асимптотически** (выделено мной — В.К.) медленно исчезает во времени (участок DE). Дополнительная упругая деформация составляет малую часть полной равновесной упругой деформации. При зна-



копеременном нагружении упругое последствие проявляется в упругом гистерезисе. Для резины, например, длительность изменения деформаций, соответствующая нарастанию по ВС и спаду по DE, может быть несколько суток. Это явление носит название упругого последствия.

В отличие от *ползучести материалов* прямое упругое последствие полностью обратимо, что нашло отражение в термине «обратимая ползучесть», встречающемся в литературе для обозначения прямого упругого последствия.

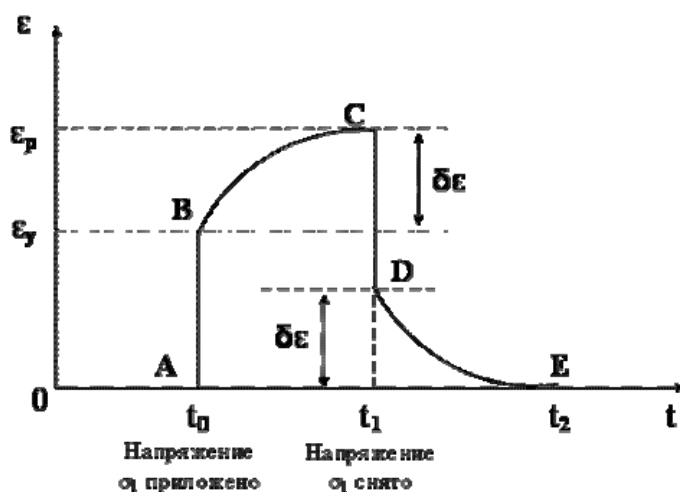


Рис. 1. Изменение деформации во времени при упругом последствии

### Комментарий

В этой статье дано, насколько я понимаю, сегодняшнее научное представление о закономерностях релаксации упругих тел, находящихся под длительным постоянным растяжением или сжатием. Поведение настроенных фортепианных струн практически полностью подчиняются этим закономерностям: только что установленная в инструмент и настроенная струна (время  $t_0$  на рис. 1) начинает достаточно быстро релаксировать. Правда, длина струны в фортепиано в действительности не увеличивается, а ее растяжение проявляется в понижении высоты издаваемого тона.

Процесс релаксации **никогда не заканчивается**, но с течением времени он замедляется, и длина струны при неизменной силе ее натяжения асимптотически приближается к некоторому условно конечному значению. В наших условиях, при неизменной длине струны по мере ее релаксации уменьшается скорость понижения тона, высота которого асимптотически стремится к некоторой условно конечной высоте.

О времени окончания релаксации можно говорить только условно: моментом ее окончания можно считать время, когда дальнейшее растяжение струны и/или понижение издаваемого ею тона перестает быть заметным. В приведенной выше статье указаны сроки условного окончания этого процесса для резины (несколько суток). Для струнной стали условные сроки релаксации, как показывает опыт, составляют от нескольких недель до нескольких месяцев, в зависимости от свойств самой стали и величины напряжения в ней (сила натяжения струны, отнесенная к ее поперечному сечению). Не стоит забывать и о релаксации упругих опорных конструкций фортепиано. Свежеизготовленный инструмент обычно стабилизируется в течение полутора-двух лет, после чего дальнейшая релаксация его струн и опорных конструкций, повторю еще раз, **никогда не заканчивающаяся**, перестает быть заметной.

Когда мы поднимаем общую высоту строя давно не настраивавшегося инструмента, к имевшейся ранее силе натяжения струн и нагрузке на раму и футор прибавляются дополнительные 12% силы на каждый полутон величины подъема строя. Эта дополнительная сила на те же 12% увеличивает имеющуюся на данный момент жизни инструмента скорость релаксации струн и рамы с футором. Поэтому есть смысл к рассчитанному по вышеприведенной формуле упреждению на осадку опор добавить еще несколько процентов в расчете на вызванное подъемом строя ускорение релаксации струн и опор. Это дополнительное упреждение должно быть тем меньше, чем старше настраиваемое фортепиано.

— В.К.