

Л. Л. Бандас, И. А. Кузнецов

ПРОИЗВОДСТВО И РЕМОНТ

ЩИПКОВЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ
ИНСТРУМЕНТОВ



ББК 37.27
Б 23
УДК 681.817.6.002.2 : 64

Бандас Л. Л., Кузнецов И. А.

Б 23 Производство и ремонт щипковых музыкальных инструментов. — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. — 288 с.

Описаны конструкции щипковых музыкальных инструментов: гитар, балалаек, домр, мандолин, арф. Представлена технология их производства. Дана характеристика материалов, применяемых при изготовлении инструментов.

Специальный раздел посвящен ремонту гитар, балалаек, домр и мандолин (автор И. А. Кузнецов).

Для инженерно-технических работников и мастеров предприятий по производству и ремонту щипковых музыкальных инструментов.

Б $\frac{3106000000 - 200}{044 (01) - 83}$ 200—83

ББК 37.27
6П9.4

Рецензент: инженер *Зиновьев В. В.*

*Лев Липович Бандас,
Иван Александрович Кузнецов*

Производство и ремонт щипковых музыкальных инструментов

Редактор О. М. Баранова

Художник Г. А. Жегин

Художественный редактор И. В. Тыртычный

Технический редактор В. В. Черенкова

Корректоры Н. П. Багма, Г. А. Казакова

ИБ № 792

Сдано в набор 15.12.82. Подписано в печать 26.05.83. Т-11051. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага типографская № 2. Литературная гарнитура. Печать высокая. Объем 18,0. Усл. п. л.
18,0. Усл. кр.-отг. 18,25. Уч.-изд. л. 21,2. Тираж 7500 экз. Заказ 1066. Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Легкая и пищевая промышленность»,
113035, Москва, М-35, 1-й Кадашевский пер., 12.

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, Хохловский пер., 7.

©Издательство «Легкая и пищевая
промышленность», 1983.

ВВЕДЕНИЕ

Среди струнных музыкальных инструментов группа щипковых является наиболее распространенной. Название «щипковые» характеризует способ извлечения звука (щипком струны).

К щипковым музыкальным инструментам относятся лира, арфа, гусли, гитара, домра, балалайка, мандолина, цитра и т. д.

Щипковые музыкальные инструменты появились на достаточно ранних ступенях развития человеческого общества. Наиболее древними из них были кифара (гитара) и лира. Лира имела широкое распространение в Древней Греции, Древнем Риме, Египте и Средиземноморских странах Ближнего Востока, кифара — у древних греков.

Конструктивно лира и кифара близки друг другу. Первоначально кифара имела 4 струны, в 1-й половине VII в. до н. э. число струн достигло 7, затем постепенно возросло до 18. Древнегреческая лира имела 7 струн. У каждой струны был свой тон. Инструмент устанавливали на колени, звук извлекали пальцами, щипком.

Из употребляемых в настоящее время щипковых музыкальных инструментов наиболее древними являются арфа и гусли.

Изобретение арфы относится к 2700 г. до н. э. Она была известна еще египтянам, которые исполняли на арфе религиозную и светскую музыку.

В XII—XIV вв. арфу широко использовали во Франции трубадуры, странствующие поэты-певцы. Обучение игре на арфе входило в аристократическое образование.

В XVII в. наряду с 24-струнной арфой появилась арфа с 43-жильными струнами, называемая ирландской, арфа Давида с резонансной декой и др. У крючковой арфы струны настраивались до нужной высоты крючками. Ручная перестройка была неудобной и малоприспособленной для исполнения сложных музыкальных произведений, вследствие чего она распространения не получила.

В начале XIX в. французский музыкальный мастер Себастьян Эрар изобрел педальный механизм двойного действия с семью педалями, каждая из которых позволяла перестраивать струны на полтона или на целый тон выше. Эта конструкция сохранилась до наших дней.

Арфа применяется как оркестровый, сольный, ансамблевый инструмент.

Не менее древним инструментом являются гусли, первые письменные сведения о которых относятся к XI в. Гусли раннего типа носят название звончатых (благодаря применению медных струн), яворчатых или яровчатых (гусли из клена-явора). Звучащая струна в старину называлась гусл или гусла, и инструмент с несколькими струнами стали называть во множественном числе — гусли. Корпус древних гуслей представлял собой плоский широкий ящик с несколькими жильными струнами.

Со временем форма гуслей менялась, увеличивалось количество струн. В XIV в. появились многострунные гусли — псалтирь, которые имели большой корпус крыловидной формы. Во время игры гусли лежали на коленях, и играли на них обеими руками: пальцами правой руки перебором струн извлекали звук, а левой рукой пользовались для приглушения струн, которые не должны звучать.

В XVIII в. вошли в обиход настольные гусли (столовидные) со стальными металлическими струнами, с хроматическим звукорядом, отличавшиеся более полным, чистым и ярким звуком.

В начале XX в. гусли получают дальнейшее развитие и распространение. Ближайшим учеником и сотрудником В. В. Андреева Н. И. Приваловым (1868—1928) совместно с гуслиаром виртуозом Гдовского уезда О. У. Смолен-

ским усовершенствованы и сконструированы различные по размеру и строю гусли-пикколо, -прима, -альт и -бас. По типу звончатых гуслей у соседних с Россией народов появляются: у карел — кантеле, эстонцев — каннель, латышей — кокке, литовцев — канклес. Затем создаются и до сих пор применяются в оркестрах народных инструментов щипковые и клавишные гусли со значительно большим диапазоном звучания.

Первые упоминания о гитаре относятся к XIV—XV вв. Предшественницей гитары считается лютня, завезенная маврами в Испанию из Северной Африки. Название «гитара» произошло от названия древнегреческого музыкального инструмента «кифара» (гитара).

В отличие от лютни, гитара имела плоский корпус с более длинным грифом, приклеенную подставку и резонаторное отверстие на деке. В конце XVI в. широкое распространение в Европе, а затем и в Америке получила испанская шестиструнная гитара.

В России гитара появилась позднее, чем в других странах, — в середине XVIII в. и, как и везде, быстро распространилась, стала популярным и любимым инструментом. Основные причины большой популярности гитары — ее универсальность и портативность.

Несколько более поздний инструмент — так называемая гавайская гитара, на которой играют плектром (медиатором), прижимая струны металлической пластинкой.

В XIX в. на Западе получила признание шестиструнная гитара. В России в этот период распространилась семиструнная гитара, что в значительной мере было заслугой Андрея Осиповича Сихры (1773—1850). Сихра был замечательным русским гитаристом и композитором, автором ряда произведений для гитары, издателем различных журналов для гитаристов. Значительная роль в пропаганде русской семиструнной гитары принадлежит чешскому гитаристу Игнацу Гельду.

В настоящее время гитара стала популярным инструментом в быту — для сопровождения пения, сольной игры. На ней играют миллионы музыкантов-любителей, профессионалы.

Домра — старинный русский народный щипковый музыкальный инструмент.

Первое упоминание о домре в русских литературных памятниках относится к XVI в. Домру использовали народные музыканты-скоморохи, создавшие семейство домр различных строев и размеров. Однако подробных описаний и изображений домр того периода не сохранилось. Во 2-й половине XVII в. домры, как и все музыкальные инструменты, подвергались гонению со стороны духовенства и совершенно вышли из употребления.

В конце XIX в. под руководством композитора В. В. Андреева трехструнная домра была восстановлена по устным преданиям и реконструирована.

Первая четырехструнная домра была создана в 1908 г. домристом и дирижером Г. П. Любимовым совместно с мастером С. Буровым. Строй этой домры — квинтовый, т. е. аналогичен строю скрипки или мандолины.

В настоящее время домры широко применяются в оркестрах русских народных инструментов: трехструнные — в домрово-балалаечных, четырехструнные — в домровых.

Балалайка — также русский народный музыкальный инструмент. Появление балалайки относится к концу XVII в., хотя первые упоминания о ней встречаются в литературе начала XVIII в.

Звук на балалайке извлекают специальным приемом — бряцанием, касаясь струн кончиками трех пальцев и вызывая бречание инструмента, откуда и произошло название «брунька», «балабайка», «балалайка».

Благодаря простоте конструкции балалайка быстро завоевала признание в народе, особенно в крестьянской среде. Распространение балалайки шло с севера на запад, затем с запада на юг.

Конструкция, форма и внешнее оформление балалайки претерпели изменения. Если в старинных балалайках соотношение между корпусом и грифом составляло 1 : 2, то у современных 1 : 1. Первые балалайки имели 5—6 ладов, корпус их изготовлялся из 5 клепок. В современных балалайках корпус состоит из 6—7 клепок, число ладов достигает 24. Все это улучшило звуковые и игро-

вые свойства инструмента и дало возможность исполнять сложные музыкальные произведения.

Балалайка имеет три струны, из которых две настроены в унисон e^1 — e^1 и одна на кварту выше — a^1 .

В 60-х годах XIX в. по инициативе известного композитора, виртуоза игры на балалайке В. В. Андреева балалайка была значительно усовершенствована музыкальным мастером С. И. Налимовым. Это позволило исполнять на балалайках сложные оркестровые и сольные произведения.

В конце XIX в. В. В. Андреевым создан первый оркестр русских народных инструментов, названный им великорусским, состоящий из домр и балалаек его конструкции.

Родина мандолины — итальянский город Флоренция. Мандолина появилась там в XVII в. Склеенная из тонких узких полосок — клепок древесины, грушевидной формой напоминает лютню. В XVIII в. мандолина становится в Италии популярной. Ее строй аналогичен строю скрипки, что давало возможность исполнять на мандолине произведения, написанные для скрипок. Этим отчасти можно объяснить быстрое распространение инструмента и за пределами Италии.

Существует несколько разновидностей мандолин, различающихся по числу струн, строю, форме корпуса, размерам.

Самый распространенный тип мандолины — неаполитанская: овальная, с четырьмя парными струнами, применяемая как сольный, оркестровый и ансамблевый инструмент.

В России мандолина появилась в конце XVIII в., а в XIX в. стала применяться более простая в изготовлении плоская, так называемая полуовальная мандолина. Овальная мандолина имеет приглушенный мягкий тембр, плоская — открытый и резкий звук, а полуовальная обладает ярким звуком, благодаря чему получила широкое распространение.

Мандолины изготовляют разных размеров — от пикколо до контрабаса. Вместе с гитарами мандолины составляют неаполитанский оркестр.

До 1926 г. изготовление щипковых музыкальных инструментов в нашей стране было кустарным. Так, кустарное производство было развито в бывшем Звенигородском уезде Московской губернии. Лишь в 1926 г. начинается организация отечественной музыкальной промышленности.

Первая фабрика народных щипковых музыкальных инструментов им. А. В. Луначарского была организована в 1926 г. в Ленинграде в зданиях бывшей фортепианной фабрики Шредера. Эта фабрика в настоящее время является крупнейшим предприятием Советского Союза, изготовляющим широкий ассортимент инструментов — балалайки, гитары, мандолины, домры и т. д. — для внутреннего потребления и для продажи на экспорт. С 1948 г. фабрика им. А. В. Луначарского организовала производство самого сложного щипкового музыкального инструмента — арфы.

Щипковые музыкальные инструменты начали выпускать на фабриках в г. Москве, Чернигове, Львове, в Подмоскovie (ст. Шихово Звенигородского района).

Рост музыкальной культуры народов СССР и повышение спроса на музыкальные инструменты обусловили дальнейшее увеличение их выпуска.

В девятой и десятой пятилетках было организовано производство гитар в ряде городов страны: Куйбышеве, Иванове, Пензе, Кунгуре (Пермь), Воронеже (Боброво), Орджоникидзе. Всего предприятиями Росмузпрома и Министерства местной промышленности РСФСР в 1981 г. планировался выпуск более 1,5 млн. шт. щипковых музыкальных инструментов.

Дальнейшее развитие получило производство щипковых музыкальных инструментов, в том числе и национальных, в ряде союзных республик страны: УССР (Черниговская, Львовская музыкальные фабрики), БССР (Борисовская фабрика пианино), Узбекская ССР (Ташкентская фабрика музыкальных инструментов), Грузинская ССР (Тбилисская фабрика музыкальных инструментов), Азербайджанская ССР, Киргизская ССР, Туркменская ССР, Эстонская ССР. Выпуск в 1982 г. на этих предприятиях составил свыше 500 тыс. шт. щипковых музыкальных инструментов.

Большую популярность приобрели электромузыкальные щипковые инструменты, особенно электрогитары. Выпускаются электрогитары с нерезонирующим корпусом, полуакустические, адептеризованные. Фабрика им. А. В. Луначарского выпускает комплекты электромузыкальных инструментов в составе двух усилительно-акустических устройств и трех полуакустических электрогитар — шести- и двенадцатиструнных и четырехструнной — бас.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает практически все типы щипковых музыкальных инструментов, пользующихся спросом у потребителя. Для изготовления высококачественных и уникальных концертных инструментов на большинстве предприятий организован выпуск инструментов по индивидуальным заказам, изготовлением которых занимаются высококвалифицированные мастера.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО АКУСТИКЕ И МУЗЫКАЛЬНОЙ ГРАМОТЕ

АКУСТИКА

Если упругое тело привести какой-либо силой в колебательное движение, оно вызовет колебание окружающей его среды.

Если натянутую струну ударом или щипком привести в колебательное движение, она вызовет колебания окружающего воздуха. Колеблющиеся частицы воздуха, равномерно распространяясь во всех направлениях, воздействуют на органы слуха. Явление, ощущаемое органом слуха при воздействии на него этих колебаний, называется звуком, а сами колебания — звуковыми. Колебания распространяются щипком.

Воспринимаемые нашим ухом звуки разделяются на шумы, т. е., звуки, не имеющие достаточно определенных отличительных признаков, трудно поддающиеся сравнению и изучению, и тоны — музыкальные звуки, имеющие определенные отличительные признаки и более доступные для изучения.

Музыкальные звуки в отличие от шумовых отобранны и организованы в определенную систему, выработанную в процессе многовекового развития музыкальной культуры и служащую для выражения музыкальных мыслей, музыкальных образов.

Область физики, занимающаяся изучением звуковых явлений, называется акустикой.

Музыкальная акустика изучает музыкальные звуки, т. е., звуки, обладающие определенной высотой, тембром и силой, изучает созвучия, музыкальную систему и строй.

Для понимания особенностей звуковых явлений необходимо ясно представить себе, что такое колебания. Колебательным движением (колебанием) называется движение, при котором материальная точка (тело) периодически отклоняется от своего среднего положения то в одну, то в другую сторону (колебания маятника часов, камертона, звучащей струны и т. д.). Чтобы тело, выведенное из положения равновесия, совершало колебания, необходима сила, возвращающая его в первоначальное положение. Такой силой может быть сила упругости (дека) или сила тяжести. Но этих сил недостаточно для совершения колебательного движения. Должна существовать еще и причина, не позволяющая колеблющемуся телу сразу же останавливаться в тот момент, когда оно проходит через устойчивые положения равновесия, — инерция колеблющегося тела.

В результате взаимодействия этих сил колеблющееся тело будет качаться, совершая периодически повторяющиеся движения — колебания.

К свойствам колебательного движения относятся звуковые колебания, обладающие физическими свойствами: амплитудой, частотой, продолжительностью и составом колебаний и другими параметрами.

Амплитуда колебаний — это максимальное отклонение колеблющейся точки от среднего положения (положения равновесия или покоя). Величина амплитуды измеряется в линейных метрических единицах и в основном зависит от величины воздействующей силы и упругости колеблющегося тела. Чем больше величина возбуждающей силы, например, щипка струны, тем больше амплитуда колебаний струны и соответственно сила звука, и наоборот.

Частота колебаний — число полных колебаний в единицу времени. Полным колебанием считается прохождение колеблющейся точкой четырех амплитуд. За единицу частоты в акустике принимают герц (в честь немецкого физика Г. Герца). 1 Гц соответствует одному полному колебанию в секунду. Частота колебаний звучащего тела зависит от его длины, толщины, степени натяжения и плотности материала, из которого оно изготовлено. Большие, тяжелые и неупругие предметы, длинные и слабо натянутые струны колеблются с малой частотой; маленькие, легкие и упругие предметы, короткие и натянутые струны — с большой.

Время, в течение которого колеблющаяся струна совершает одно полное колебание, называется периодом колебаний. Это понятие применимо для гармонических колебаний.

Между периодом и частотой колебаний существует обратная зависимость, выражаемая формулами

$$f = 1/T; T = 1/f.$$

Чем больше число колебаний в секунду, тем более высоким будет звук. Человеческое ухо воспринимает звуки с частотой колебаний в пределах 16—20 000 Гц. Колебания с частотами выше этих пределов ухом не воспринимаются и называются ультразвуковыми, ниже — инфразвуковыми.

Продолжительность колебаний — время, в течение которого совершаются колебания. Оно зависит от длительности воздействия и величины возбуждающей силы, периода колебаний, механических свойств колеблющегося тела и состояния окружающей среды.

В различных средах скорость распространения звука V (м/с) различна. Она прямо пропорциональна упругости среды и обратно пропорциональна ее плотности

$$V = \sqrt{E/\rho},$$

где E — упругость среды, МПа·с/см²; ρ — плотность, кг/м³.

Сравнительные данные скорости распространения звука в различных средах:

	Скорость, м/с	Температура, °С
Воздух	344	20
»	331,5	0
Вода	1430	17
Свинец	1200	18
Алюминий	5250	18
Латунь	3420	15—20
Чугун	3850	15—20
Медь	3580	15—20
Сталь	5050	15—20

Скорость распространения звука (м/с) в различных породах древесины и по разным направлениям:

	Вдоль волокон	В радиальном направлении	В танген- циальном направлении
Сосна	5030	1450	850
Пихта	4600	1525	860
Ясень	5065	1510	1370
Дуб	4175	1665	1400
Клен	4450	1670	1125
Береза	3625	1995	1535
Ольха	5060	1485	1135
Ель	5250	1470	880

Из этих данных видно, что быстрее всего звук распространяется вдоль волокон, медленнее — в радиальном и еще медленнее — в тангенциальном направлениях.

Состав колебаний — наличие или отсутствие в данном колебании простейших составляющих колебаний.

Колебания бывают простыми и сложными. Простое колебание — это гармоническое колебательное движение, представляющее собой синусоидальное колебание. Графически гармоническое колебание изображается синусоидой. Сложные колебания представляют собой сумму простых гармонических колебаний с различными периодами, амплитудами и частотами.

В природе преобладают сложные колебания. Каждый звук представляет собой сочетание многих тонов, включающих колебания источника звука и его частей (половины, трети, четверти и т. д.), колеблющихся каждая в отдельности со своими частотами.

Амплитуда, частота, продолжительность и состав колебаний в наших ощущениях отражаются на качестве звука. Все музыкальные звуки характеризуются определенными качествами, а именно: высотой, громкостью, длительностью и тембром.

Высота звука зависит от частоты звуковых колебаний: чем она больше, тем звук выше, и наоборот. В музыке находят применение лишь около 100 звуков с частотой от 16 до 4500 колебаний в секунду. Звуки с большей частотой бедны обертонами и потому маловыразительны.

Громкость звука зависит от величины амплитуды колебаний: чем она больше, тем звук громче. Громкостный диапазон

также ограничен: тихие звуки требуют напряжения слуха, а громкие — вызывают болевые ощущения.

Длительность звука зависит от продолжительности колебаний, зависящей, в свою очередь, от длительности воздействия возбуждающей силы.

Тембр (окраска) звука зависит от его состава, т. е. от наличия обертонов, сопутствующих основному тону. Более подробно вопрос о качестве звука будет рассмотрен в главе о работе струн.

МУЗЫКАЛЬНАЯ ГРАМОТА

Звук и музыка. Из огромного количества звуков, воспринимаемых человеческим ухом, в музыке, как было указано выше, применяется около 100. Совокупность употребляемых в музыке звуков определенной высоты образует музыкальную систему.

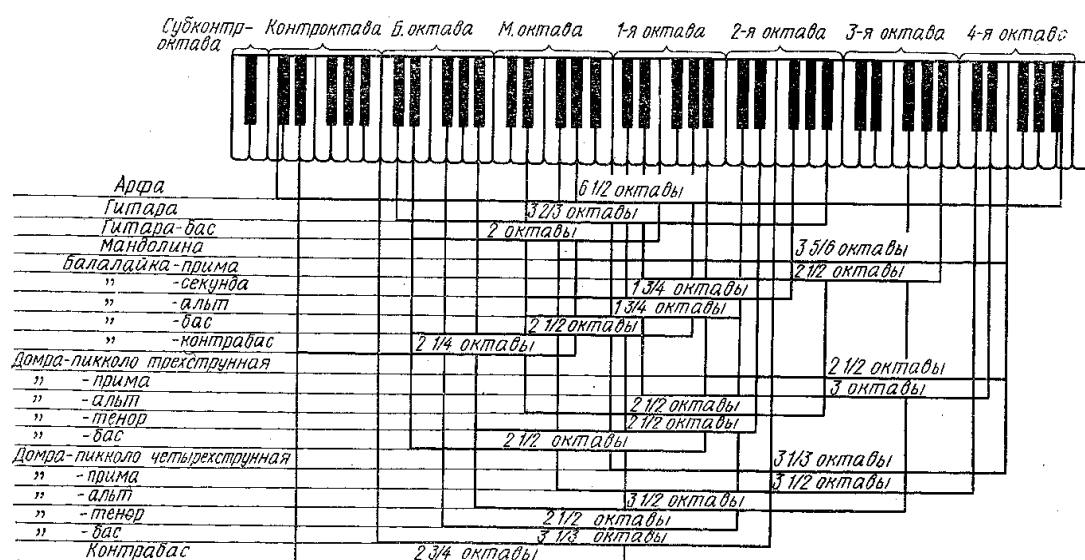


Рис. 1. Диапазон звучания щипковых музыкальных инструментов

Музыкальная система, принятая в европейской, а также в русской классической музыке, сложилась прежде всего в результате певческой практики. Поэтому в музыкальной литературе в основном применяются звуки с частотами от 80 (бас) до 1400 (сопрано) колебаний в секунду.

Последовательность всех звуков, употребляемых в музыке, или звуков какой-либо музыкальной системы, музыкального инструмента, расположенных в постепенно восходящем или нисходящем порядке, называется звуко́рядом.

Звуковой объем по высоте человеческого голоса, музыкального инструмента, звуко́ряда и т. д., носит название диа́пазона (рис. 1). Соотношение двух звуков по высоте, т. е. по числу их колебаний, называется интервалом.

Диапазон определяется расстоянием (интервалом) между самым низким и самым высоким звуками голоса, инструмента. Зву-

ковой диапазон применяемых в музыке звуков делится на группы, называемые октавами.

Каждая октава имеет 12 различных звуков, 7 из которых называются основными звуками — тонами. Им даны слоговые названия: *до, ре, ми, фа, соль, ля, си*. Остальные звуки являются производными от основных. Каждый тон изображается на нотном стане знаком, называемым нотой.

Интервалы между тонами *до* и *ре*, *ре* и *ми*, *фа* и *соль*, *соль* и *ля* составляют тон, а между *ми* и *фа*, *си* и *до* (следующей октавы) полутон. Полутон является наименьшим интервалом по высоте тонов.

Непрерывное и последовательное следование всех полутонов октавы называется хроматической гаммой.

Для обозначения тонов, кроме слоговых названий, пользуются буквами латинского алфавита:

Слоговые названия
Буквенные названия

до ре ми фа соль ля си
c d e f g a h

Каждая октава имеет свое название. Самой низкой октавой является субконтроктава, за ней в сторону повышения следуют: контроктава, большая и малая октавы и далее — первая, вторая, третья и четвертая октавы. Всего, таким образом, восемь октав, которыми пользуются в современной музыке.

Слоговые названия и буквенные обозначения звуков субконтроктавы, контроктавы и большой октавы начинаются с большой буквы, названия звуков остальных октав — с малой.

К буквам и слоговым названиям звуков присоединяют соответствующие цифры: 1, 2, 3, 4, 5. При этом у названий, определяющих звуки субконтроктавы и контроктавы, цифры ставятся за буквой или слогом внизу; у названий, определяющих звуки в первой, второй и т. д. октавах, цифры ставят за буквой или слогом сверху:

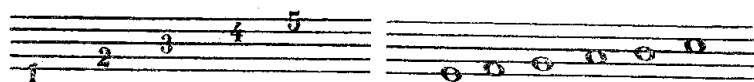
Субконтроктава	<i>Ля₂, А₂</i>
Контроктава	<i>Ля₁, А₁</i>
Большая октава	<i>Ля, А</i>
Малая »	<i>ля, а</i>
Первая »	<i>ля¹, а¹</i>
Вторая »	<i>ля², а²</i>
Третья »	<i>ля³, а³</i>
Четвертая »	<i>ля⁴, а⁴</i>

В нотной записи каждому тону каждой октавы соответствует свое строго определенное место.

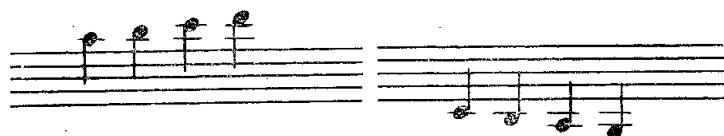
Часть музыкального диапазона, отличающегося характерной звуковой окраской, называется регистром. Низким регистром считают звуки субконтроктавы, контроктавы и большой октавы. Средним регистром — звуки малой, первой и второй октав. Третью, четвертую и пятую октавы считают верхним, высоким регистром.

Для обозначения звуков пользуются специальными значками — нотами, изображаемыми в виде черных или полых овалов или

кружков. Ноты располагают на нотном стане, или нотоносце, состоящем из пяти линеек. Счет линеек идет снизу вверх. В том же направлении увеличивается и частота колебаний — высота записываемых нотами звуков. Ноты пишутся на линейках и между ними.



Для записи очень высоких или очень низких звуков пользуются добавочными линейками, которые пишут короткими черточками отдельно для каждой ноты выше или ниже нотного стана.



Для обозначения более высоких или низких нот применяют так называемый знак переноса на октаву 8 — — — — —, выше записанного и 8 — — — — —, ниже записанного. Для повышения на октаву этот знак пишут над нотным станом, для понижения на октаву — под ним. Действие знака продолжается до места окончания пунктирной линии.



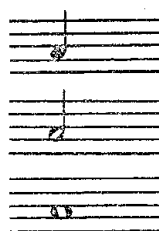
Написано

Должно
быть

Написано

Должно
быть

Звуки и изображающие их ноты бывают разной длительности. Для обозначения длительности звуков к нотам справа (вверх) или слева (вниз) прибавляют вертикальные черточки называемые штилями

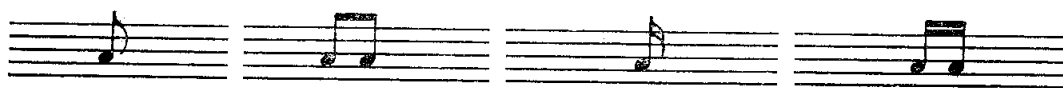


Четвертная нота

Половинная нота

Целая нота

Короткие ноты обозначаются так:



Одна восьмая

Две восьмых

*Одна
шестнадцатая*

*Две
шестнадцатых*

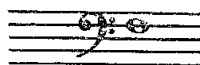
В самом начале нотного стана должен стоять специальный знак — ключ, устанавливающий высоту и название звука на одной из его линеек и, следовательно, определяющий место всех остальных нот на нотописце.

Наиболее употребительны два ключа: скрипичный, или ключ



соль (1-й октавы) и басовый, или ключ *фа* (ма-

лой октавы):

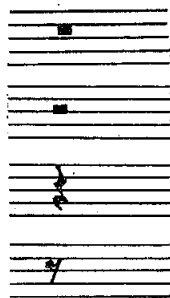


После ключа ставят размер такта $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, C, $\frac{3}{8}$ и т. д.

Такт начинается всегда с главной, наиболее подчеркнутой доли.

Тактовая черта — вертикальная линия, отделяющая один такт от другого.

Перерыв в звучании на определенный момент называется паузой. Паузы, как и обозначения длительности звуков, бывают целые, половинные, четвертные, восьмые и т. д.



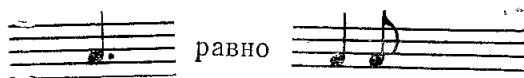
Соответствует целой ноте

Соответствует половинной ноте

Соответствует четвертной ноте

Соответствует одной восьмой

Точка, поставленная справа от ноты, увеличивает длительность ноты наполовину.



Пользуясь нотоносцем, ключами (скрипичным и басовым), добавочными линейками и знаком переноса на октаву, можно записать все употребляемые в музыке звуки.



Альтерация. Знаки альтерации. Выше мы говорили, что интервалы между нотами *до* и *ре*, *фа* и *соль*, *соль* и *ля*, *ля* и *си* составляют тон, а между *ми* и *фа*, *си* и *до* (следующей октавы) составляют полутон. В промежутках между тонами размещены производные, или альтерированные от основных ступеней звуки, полученные посредством повышения или понижения основного звука на полтона. Повышение или понижение основных звуков октавы называется *альтерацией*.

Знаки альтерации следующие:

- # — *диез*, повышает ноту на полтона;
- ♭ — *бемоль*, понижает ноту на полтона
- ♭ — *дубль-бемоль* (двойной бемоль), понижает ноту на тон;
- ## — *дубль-диез* (двойной диез), повышает ноту на тон;
- ♮ — *бекар*, отменяет знаки альтерации.

Знаки альтерации бывают *ключевые*, выставляемые с правой стороны ключа и действующие до конца музыкального произведения, и *случайные*, выставляемые перед нотой и действующие в пределах такта. На нотном стане знаки альтерации ставятся по тем же правилам, что и ноты, на линейках и между линейками, а звук получает двойное название, состоящее из названия основного тона и названия знака альтерации например, *до-диез*, *си-бемоль* и т. д. При буквенном обозначении звуков—при повышении на полтона к букве прибавляют окончание *is-диез*, при понижении на полтона — окончание *es-бемоль*. Например, *cis* (*до-диез*), *fis* (*фа-диез*), *des* (*ре-бемоль*), *ges* (*соль-бемоль*).

Интервалы. Выше мы определили, что соотношение двух звуков по высоте, т. е. по числу их колебаний, называется *интервалами* (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. ПЕРЕЧЕНЬ НАИБОЛЕЕ УПОТРЕБИТЕЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Название интервалов	Сокращенное обозначение	Количество полутонов	Пример от звука <i>до</i>
Чистая прима	ч. 1	0	<i>до — до</i>
Малая секунда	м. 2	1	<i>до — до-диез</i>
Большая секунда	б. 2	2	<i>до — ре</i>
Малая терция	м. 3	3	<i>до — ре-диез</i>
Большая терция	б. 3	4	<i>до — ми</i>
Чистая кварта	ч. 4	5	<i>до — фа</i>
Увеличенная кварта	ув. 4	6	<i>до — фа-диез</i>
Уменьшенная квинта	ум. 5	6	<i>до — соль-бемоль</i>
Чистая квинта	ч. 5	7	<i>до — соль</i>
Малая секста	м. 6	8	<i>до — ля-бемоль</i>
Большая секста	б. 6	9	<i>до — ля</i>
Малая септима	м. 7	10	<i>до — си-бемоль</i>
Большая септима	б. 7	11	<i>до — си</i>
Чистая октава	ч. 8	12	<i>до — до</i>

В музыке величина интервала определяется количеством полутонов, а в акустике — отношением чисел колебаний: например, в октаве частота колебаний нижнего звука в 2 раза меньше частоты колебаний верхнего (1:2), в квинте это отношение равно 2:3, в кварте 3:4.

Из приведенной выше таблицы становится понятным, что представляет собой строй инструмента. Строй мандолины — квинтовый; это значит, что интервал между свободно настроенными струнами равен семи полутонам, т. е. квинте ($e^2 — a^1$; $a^1 — d^1$; $d^1 — g$).

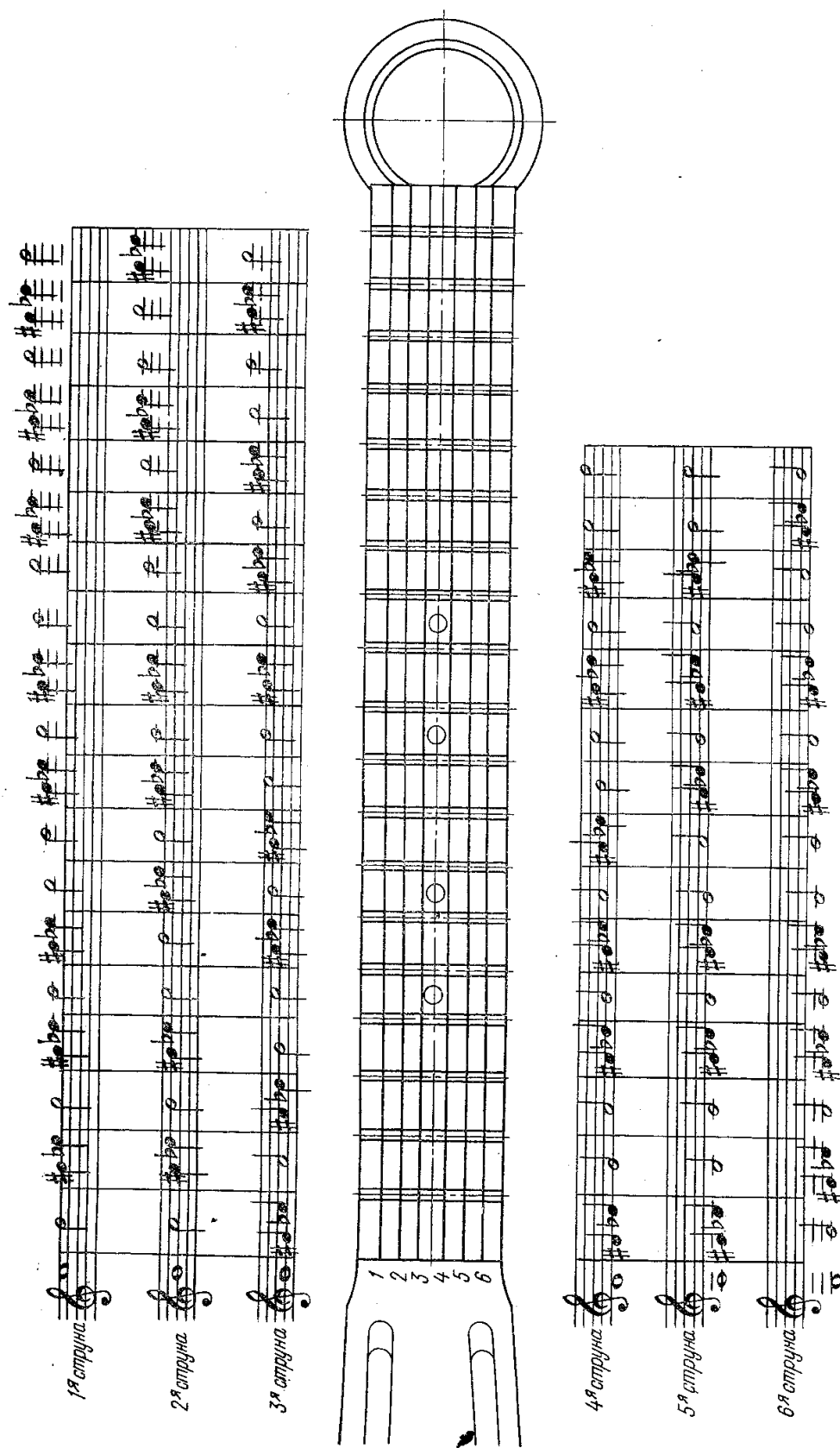
Строй балалаек — квартовый, т. е. интервал между первой и второй струнами, настроенными в унисон с третьей, равен пяти полутонам — кварте ($a^2 — e^1$). Строй домр трехструнных также квартовый, интервал между первой и второй, второй и третьей струнами равен пяти полутонам.

Пользуясь этой таблицей, легко определить интервалы между свободно настроенными струнами у шестиструнной гитары: между первой и второй струной — пять полутонов — чистая кварта; между второй и третьей — четыре полутона — большая терция и между третьей и четвертой, четвертой и пятой, пятой и шестой — пять полутонов — чистая кварта.

Расположение нот на струнах и ладах грифа шестиструнной гитары дано на рис. 2, а частота колебаний звуков — в табл. 2.

Интервал, звуки которого воспроизводятся последовательно, называется мелодическим. Интервал, звуки которого воспроизводятся одновременно, называется гармоническим (двузвучие). Сочетание из трех и более звуков составляет аккорд.

Гармонические интервалы, у которых частоты колебаний звуков представляют простейшие соотношения 4:3 (кварта), 5:4 (б. терция), 6:5 (м. терция), 1:2 (октава), 2:3 (квинта) и биения отсутствуют или малозаметны, звучат спокойно и называются консонансами. Гармонические интервалы со сложными отношениями частот колебаний имеют ясно слышимые биения, зву-



Название октав	до (c)	до # (Cis) ре b (Des)	ре (D)	ре # (Dis) ми b (Es)	ми (E)
----------------	--------	--------------------------	--------	-------------------------	--------

фа (F)	фа # (Fis) соль b (Ges)	соль (G)	соль # (Gis) ля b (As)	ля (A)	ля # (B) си b (B)	си (H)
--------	----------------------------	----------	---------------------------	--------	----------------------	--------

ТАБЛИЦА 2. ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ ЗВУКОВ, Гц

Название октав	Название звуков											
	до (C)	до # (Cis) ре _b (Des)	ре (D)	ре # (Dis) ми b (Es)	ми (E)	фа (F)	фа # (Fis) соль b (Ges)	соль (G)	соль # (Gis) ля b (As)	ля (A)	ля # (B) си b (B)	си (H)
Субконтр-октава	16,35	17,32	18,35	19,44	20,6	21,82	23,12	24,49	26,95	27,5	29,13	30,86
Контр-октава	32,7	34,64	36,7	38,89	41,2	43,65	46,24	48,99	51,91	55,0	58,27	61,73
Большая октава	65,4	69,28	73,4	77,78	82,4	87,3	92,48	97,98	103,82	110,0	116,54	123,46
Октава	130,8	138,56	146,8	155,56	164,8	174,6	184,96	195,96	207,64	220,0	233,08	246,92
Малая октава	261,6	277,12	293,6	311,12	329,6	349,2	369,92	391,92	415,28	440,0	466,16	493,84
1-я октава	523,2	554,24	587,2	622,24	659,2	698,4	739,84	783,84	830,56	880,0	932,32	987,68
2-я октава	1046,4	1108,48	1174,4	1244,48	1318,4	1396,8	1479,68	1567,68	1661,12	1760,0	1864,64	1975,36
3-я октава	2092,8	2216,96	2348,8	2488,96	2636,6	2793,6	2959,36	3135,36	3322,24	3520,0	3729,28	3950,72
4-я октава	4185,6	4433,92	4697,6	4977,92	5273,6	5587,2	5918,72	6270,72	6644,48	7040,0	7458,56	7901,44

чат несогласованно, раздражающе и называются диссонансами.

Консонансы подразделяются на совершенные и несовершенные. В совершенных консонансах звуки почти сливаются друг с другом, что создает некоторую пустоту звучания; таковы чистые интервалы: кварты, квинты, октавы. В несовершенных консонансах звуки не сливаются, а слышны достаточно отчетливо, благодаря чему звучат более насыщенно, сочно и обладают качеством мажорности (большие терции и сексты) или минорности (малые терции и сексты).

Диссонансами считаются большая и малая секунды (целый тон и полутон), большая и малая септимы, а также увеличенная кварта или уменьшенная квинта. Звуки диссонанса не сливаются друг с другом, а в связи с насыщенностью биениями оба звука слышны неясно и при недостаточном развитии слуха воспринимаются как одновременное звучание большого числа звуков.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЩИПКОВЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Щипковые музыкальные инструменты образуют подгруппу, входящую в группу струнных музыкальных инструментов, которую составляют также смычковые, ударные, ударно-клавишные и щипково-клавишные инструменты.

Самостоятельную группу составляют электромузыкальные инструменты, источником звука которых являются электрические колебания звуковой частоты.

К щипковым музыкальным инструментам относятся: арфы, гусли, гитары, балалайки, домры, мандолины, цитры и другие инструменты, в том числе национальные, звук из которых извлекается путем зашипывания струн пальцами или медиатором.

Щипковые музыкальные инструменты различаются:

по конструкции:

гитары с приклеенным и неприклеенным грифом, с приклеенной и неприклеенной (передвижной) подставкой, одно- и двухгрифные, гавайская;

балалайки шести-, семи-, девятиклепочные;

домры семи-, девятиклепочные;

мандолины овальные, полуовальные и плоские;

гусли звончатые, щипковые и клавишные;

по количеству струн:

гитары четырех-, шести-, семи-, одиннадцатиструнные с добавочными четырьмя басовыми струнами и двенадцатиструнные с парными струнами (рис. 3);

балалайки трех- и четырехструнные с парной первой струной и шестиструнные с парными струнами;

домры трех- и четырехструнные;

мандолины восьмиструнные с парными струнами;

по размерам и строю:

гитары — прима, терц, кварт, квинт и бас;
 балалайки — прима, секунда, альт, бас и контрабас;
 домры — пикколо, прима, альт, тенор, бас и контрабас;

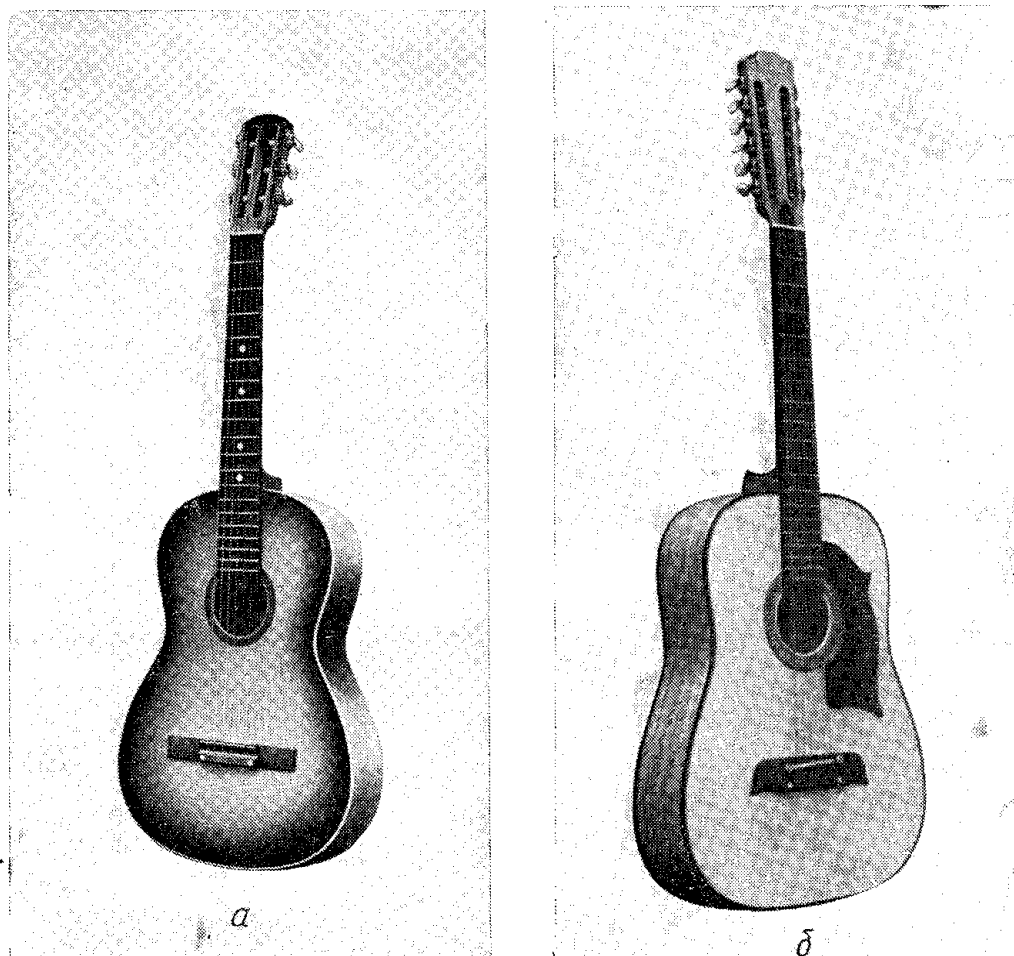


Рис. 3. Гитары:

а — шестиструнная; *б* — двенадцатиструнная (с парными струнами)

гусли звончатые — пикколо, прима, альт и бас;
 мандолины — прима, оркестровые: пикколо, мандола (альт),
 люта (виолончель) и контрабас.

ГИТАРА

Гитара состоит из двух основных узлов: корпуса и грифа, соединенных между собой либо наглухо, либо специальным гитарным винтом *5* (рис. 4). Корпус, вогнутый с боков, имеет форму восьмерки, у которой нижний овал больше верхнего. Корпус состоит из двух обечаек *14* (правой и левой), четырех контробечаек (двух верхних *9* и двух нижних *10*), верхнего *6* и нижнего *13* клецев, деки *7* и дна *11* с пружинами *8*, а также стрелки. Между обечайками и клецами вклеены прокладки. Обечайки, контробечайки и клецы, склеенные между собой, образуют рамку корпуса.

За последние годы на фабрике им. А. В. Луначарского корпуса музыкальных инструментов изготавливают из пластмасс. Корпус гитары — дно и обечайки — как одну деталь изготавливают из акрилонитрилбутадиенстирольного пластика. Пластмассовый корпус состоит из тех же деталей, что и обычный корпус, кроме дна, обечайек и прокладок.

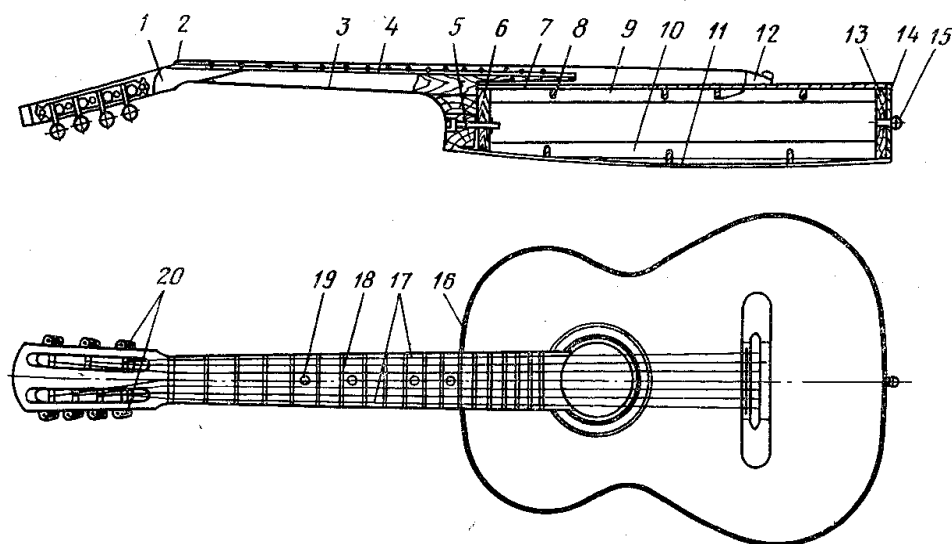


Рис. 4. Устройство гитары:

1 — головка; 2 — порожек; 3 — ручка; 4 — наклейка; 5 — винт; 6 и 13 — клещи (верхний и нижний); 7 — дека; 8 — пружины; 9 и 10 — контробечайки; 11 — дно; 12 — подставка; 14 — обечайки; 15 — кнопка; 16 — обкладка; 17 — струны; 18 — пластины ладовые; 19 — точки; 20 — механизмы колковые

Обечайки, образующие бока корпуса, изготавливают двухслойными из лущеного березового шпона; наружный слой шпона имеет продольное направление волокон, внутренний — поперечное. Толщина каждого слоя 1,15 мм. Такое взаимно перпендикулярное расположение слоев дает возможность легко изгибать обечайки по форме шаблона, в котором производят сборку рамки корпуса. Обечайки изготавливают и трехслойными: средний слой толщиной 1—1,5 мм из фанеры клееной, а наружные облицовочные слои (продольные) толщиной 0,6—0,8 мм из строганого шпона красного дерева, ореха, клена, палисандра. Обечайки как и дно изготавливают также из массивной древесины бука, клена, красного дерева и других ценных пород, толщиной 2—2,5 мм. Применение массивной древесины делает корпус более жестким и улучшает звучание инструмента. В основном такую древесину используют при изготовлении высококачественных гитар по индивидуальным заказам.

Клещи (верхний и нижний), связывающие обечайки корпуса, изготавливают из древесины ели. Овал клещев должен в точности соответствовать форме корпуса в верхней и нижней его частях. При сборке рамки корпуса между клещами и обечайками

вклеивают прокладки из лущеного березового или строганого шпона длиной, превышающей на 40—50 мм длину клецев. Делается это для устранения возможных следов граней клецев на наружной поверхности обечаек, особенно заметных на лакированном корпусе.

Толщина верхнего клеца 28, нижнего — 12 мм. В верхнем клече выбирается гнездо по форме пятки грифа глубиной 14—15 мм для соединения грифа с корпусом. В нижнем клече просверливается отверстие для кнопки.

Контробечайки изготавливают в основном из трехслойной клееной фанеры толщиной 3 мм (поперечный слой) и из березового лущеного шпона толщиной 1,15 мм (продольный слой). Контробечайки придают жесткость корпусу, способствуя сохранению его формы, а также увеличивают площадь для приклеивания деки и дна.

К обечайкам сначала приклеивают контробечайки с поперечным слоем, а затем — с продольным. Продольный слой укрепляет поперечный, что предотвращает сколы фанеры при фрезеровании или спиливании рамки корпуса по высоте. Ширина контробечаек 16—20 мм. Контробечайки изготавливают также из древесины ели толщиной 4 мм, предварительно выгнутой по форме корпуса. Для концертных гитар контробечайки можно изготавливать из древесины бука или клена сечением 8×10 мм.

Чтобы такую контробечайку изогнуть по форме корпуса, по всей ее длине через каждые 10—12 мм делают пропилы глубиной и шириной 1—1,5 мм.

Концы контробечаек должны упираться в верхний и нижний клецы с некоторым натягом, чтобы обеспечить жесткость корпуса.

В процессе производства в контробечайках выбирают гнезда для вклеивания концов пружин деки и дна.

Стрелка толщиной 2,5—3 мм из древесины твердолиственных пород (бука или клена) вклеивается в специально выбранное гнездо, закрывая место соединения обечаек в нижней части корпуса. Для плотного соединения с обечайками стрелка должна иметь форму конуса с размерами 18—20 мм вверху и 10—12 мм внизу. Длина стрелки должна на 15—20 мм превышать высоту корпуса у нижнего клеца. Вместе со стрелками вклеиваются и жилки мореные или натурального цвета из березового шпона. Стрелки мореные в темный цвет придают корпусу более красивый внешний вид.

В корпусах высококачественных концертных гитар, изготавливаемых по индивидуальным заказам, обечайки настолько точно подгоняются по длине, что отпадает необходимость в стрелке. В этом случае в местах стыка обечаек достаточно вклеить жилку из целлулоида, пластмассы или шпона.

Дека — узел корпуса, от которого в основном зависит качество звучания инструмента. Ее приклеивают к рамке корпуса сверху.

Воспринимая через подставку колебания струн, дека с приклеенными пружинами также приходит в колебание, усиливая звуки всех частот, придает звуку приятный на слух тембр, достаточную силу и продолжительность звучания.

Энергия, полученная декой от струны при щипке или ударе пальцами, частично расходуется на звукообразование, т. е. передается окружающему воздуху (это — полезная энергия), а частично составляет бесполезные, вредные потери, обусловленные следующими причинами:

внутренним трением при распространении звуковых волн в деке поперек волокон. Для уменьшения этих потерь пружины изготавливают из ели, в которой звуковые волны распространяются с наибольшей скоростью, а приклеивают пружины в направлении, перпендикулярном слоям деки;

механическим сопротивлением деки, т. е., первоначальным ее раскачиванием, которое будет тем меньше, чем меньше масса деки и выше ее упругость. Пружины приклеивают для образования зон упругости. С уменьшением сопротивления деки увеличивается сила звука инструмента. Увеличение толщины деки потребует большего расхода энергии на преодоление сопротивления деки при ее первоначальном раскачивании. Поэтому толщина деки гитары не должна превышать 2,5 мм;

трением в опорах — местах соединения деки с корпусом, которое будет тем меньше, чем лучше приклеена дека к рамке корпуса и чем жестче опоры. Следовательно, размеры гнезд в контр-обечайках должны соответствовать размерам концов пружин, вклеиваемых в эти гнезда. Кроме того, контр-обечайки должны быть приклеены с натягом, чтобы обеспечить жесткость корпуса.

Дека изготавливается из отдельных дощечек резонансной ели радиальной распиловки, тщательно подобранных по цвету, слою, плотно склеенных между собой и расположенных параллельно оси корпуса. Дощечки в резонансном щите для деки необходимо подбирать с учетом допустимых дефектов и однородности. Применяемое количество дощечек диктуется экономической целесообразностью и производственной необходимостью. Практически оно колеблется в пределах 5—7, хотя это несколько ухудшает звучание из-за различной акустической константы дощечек и наличия клеевых швов, вызывающих потерю полезной энергии.

Для инструментов высокого класса по индивидуальным заказам музыкантов-профессионалов деки изготавливают гомогенным способом: дощечку шириной 200 и толщиной 16 мм распиливают по толщине пополам, обе половинки разворачивают и склеивают по кромкам. Такая дека более однородна, а годовые слои располагаются симметрично относительно оси. В деке имеется резонаторное отверстие диаметром 80—90 мм для увеличения длительности и силы звучания инструмента.

Резонаторное отверстие украшают розеткой либо в виде набора жилок, либо инкрустацией — цветным шпоном, пластмассой и другими материалами. В эстрадных гитарах вместо резонаторного отверстия в деке иногда делают фигурные вырезы.

Пружины представляют собой бруски прямоугольного или трапециoidalного сечения, изготовленные из древесины ели, приклеиваемые к деке и дну гитары для увеличения механической прочности деки и создания зон упругости, улучшения условий для распространения колебаний струн по всей деке и, следовательно, усиления звучания инструмента.

Размеры пружин, их геометрия и расположение на деке в значительной мере оказывают влияние на звучание. Изменяя размеры и расположение пружин, можно в широких пределах изменять звуковой спектр, излучаемый инструментом.

Так, например, изменение высоты пружин является основным средством для управления основным тоном инструмента. С уменьшением высоты пружин понижаются частота и амплитуда колебаний основного тона. Субъективно это воспринимается как улучшение тембра, его глубины. С уменьшением толщины пружин частота и амплитуда колебаний основного тона также понижаются, но медленнее, чем при уменьшении высоты пружин.

Пружина деки, воспринимая через подставку давление струн, работает как балка, лежащая концами на двух опорах — в гнездах контрбечаек. Наибольшее напряжение пружина испытывает посередине, уменьшаясь у концов. Скосы в пружинах делаются для увеличения упругости деки и улучшения условий приклейки пружин в гнездах контрбечаек. С увеличением длины скосов частота и амплитуда колебаний основного тона понижаются. Поэтому скос у пружин часто начинается с середины, постепенно уменьшаясь к концам. Субъективно это воспринимается опять-таки как усиление звучания и улучшение тембра инструмента.

Геометрия расположения пружин на деке гитары может быть самой разнообразной. Для инструментов массового производства применяют пиленные пружины прямоугольного сечения высотой 12 и толщиной 4 мм из древесины ели. Для инструментов высокого класса, изготавливаемых по индивидуальным заказам, применяют колотые пружины из выдержанной древесины мелкослойной ели трапециoidalного сечения. Скосы у пружин начинаются либо с середины, либо на расстоянии 70—80 мм от краев. Преимущество колотых пружин состоит в том, что волокна радиальные, годовые слои не перерезаются поэтому их прочность и упругость выше, чем у пиленных пружин.

Наиболее распространенная схема расположения пружин на деках гитар массового производства приведена на рис. 5, а. Гитары с таким расположением пружин показали хорошее звучание. Заметим, что пружины 3 и 4 приклеивают по обе стороны от резонаторного отверстия, укрепляя таким образом его кромки; пружины 1 и 2 приклеивают на определенном расстоянии от подставки, причем пружина 2 должна быть расположена под углом 10—15°. Для дополнительного крепления подставки между пружинами 1 и 2 приклеивают пластину из древесины бука или клена длиной 200, шириной 30 и толщиной 5 мм. Основные размеры пружин гитар массового производства приведены ниже.

Основные размеры пружин для гитар массового производства, мм

Номер пружины	Длина	Высота	Толщина
1	370	12	4
2	350	12	4
3	250	12	4
4	270	12	4

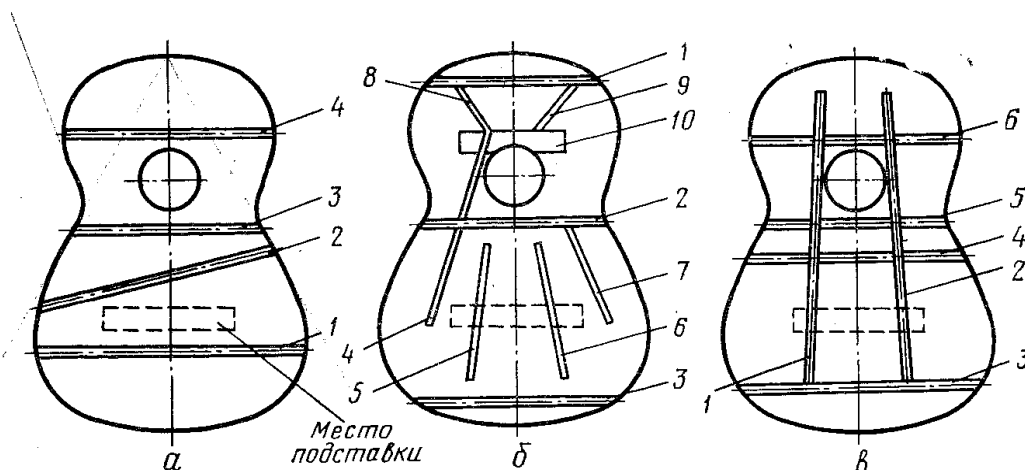
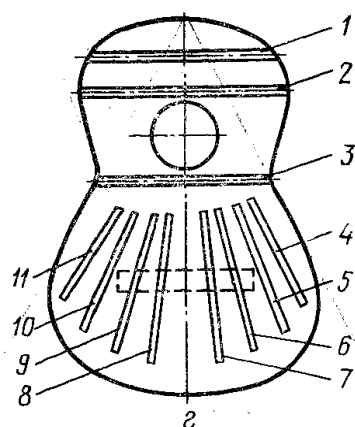


Рис. 5. Расположение пружин на деке гитар

Гитары с комбинированным расположением пружин на деке (рис. 5, б и в) получили у музыкантов-профессионалов высокую оценку по звучанию, особенно если гитары оборудованы нейлоновыми струнами. Это же расположение пружин можно рекомендовать и для гитар, изготовляемых по индивидуальным заказам.



Основные размеры, комбинированно расположенных пружин для концертных гитар, мм

Номер пружины (рис. 5, б)	Длина	Высота	Толщина	Номер пружины (рис. 5, в)	Длина	Высота	Толщина
1	225	10	4	1, 2	370	8	6
2	250	20	5	3	330	3—4	6
3	235	12	4	4	310	3—4	6
4	275	12	4	5	240	3—4	6
5, 6	205	10	4	6	270	3—4	6
7	155	12	4				
8, 9	95	8	3				
10	140	2	25				

Еще одна весьма оригинальная схема расположения пружин приведена на рис. 5, г.

Основные размеры пружин для гитар улучшенного качества, мм

Номер пружины (рис. 5, з)	Длина	Высота	Толщина
1	225	15	6/3
2	270	15	6/3
3	250	18	6/3
4—11	150—200	4	5

Варианты расположения пружин могут быть и другие. Музыкальные мастера всегда ищут наиболее оптимальные варианты, добиваясь наилучшего звучания инструментов

Основные размеры пружин для концертных гитар, мм

Номер пружины (рис. 6)	Длина	Высота	Толщина
1, 2, 3 и 4 (горизонтальные)	225—310	18	8/3
4—14; 5—15; 5—9 (веерные)	150—200	3	6
10	370	8	6
11, 12, 13	150, 80	3	6

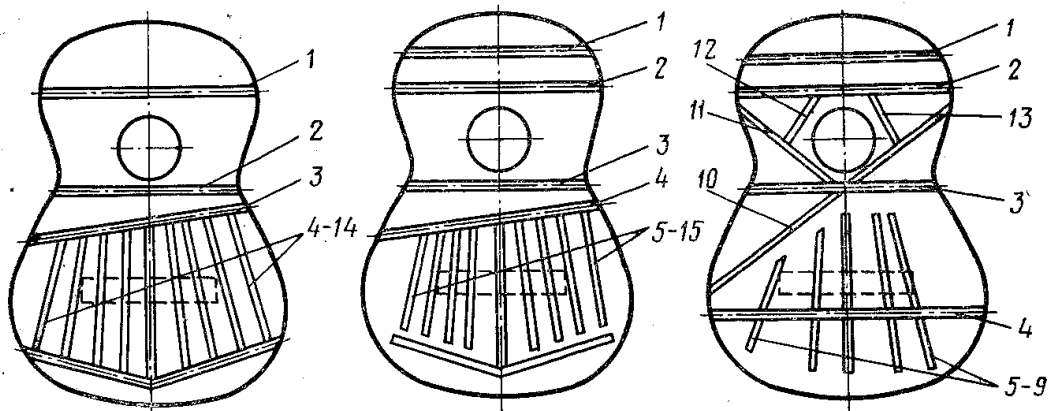


Рис. 6. Расположение пружин на деке концертных гитар

Дно изготавливают из различных материалов: из фанеры клееной толщиной 3 мм, марок ФСФ и ФК, сорта А/АВ; из фанеры клееной толщиной 1—1,5 мм, марки БС-1, облицованной строгатым шпоном красного дерева, ореха, клена, из массивной древесины клена, палисандра, ореха и других ценных пород. Облицовка дна может быть цельной или составной из двух частей, с центральной жилкой или без нее.

Дно приклеивают к нижней стороне рамки корпуса. К дну приклеивают обычно три пружины, расположенные перпендикулярно оси дна так, чтобы они не находились напротив резонаторного отверстия.

Подставка на корпусе гитары служит для крепления струн (если она приклеена к деке), ограничения длины рабочей части струны, передачи колебаний струн деке и размещения струн по ширине грифа.

В зависимости от способа крепления струн в подставке просверливают отверстия под углом $18-20^\circ$ диаметром 1,5 мм для гладких струн и 2,5 мм для обвитых, либо сверху насквозь через деку диаметром 4 мм для крепления струн кнопками. Расстояние между центрами отверстий для семиструнной гитары 10 мм, шестиструнной — 12 мм. Угол $18-20^\circ$ обеспечивает необходимое давление струн на пластину подставки, ограничивающей длину рабочей части струны.

Наиболее распространен первый способ крепления струн, при котором создаются наиболее благоприятные условия для передачи колебаний струн. Второй способ распространения не получил, так как дека при отрыве подставки чаще всего приходит в негодность, в связи с чем требуется ее замена или сложный ремонт.

Для ограничения длины рабочей части струны в подставку вклеивается пластина из латунной или нейзильберовой ладовой проволоки, из пластмассы или черного дерева.

Так как под действием суммарного натяжения струн подставка стремится оторваться от деки по линии крепления струн, качеству ее приклейки следует уделять постоянное внимание.

Если при натяжении струн позади подставки наблюдается выпучивание деки, а спереди, наоборот, проседание, значит дека утоньшена, а пружины оказывают недостаточное сопротивление натяжению струн. В этом случае деку и пружины необходимо изготовлять по чертежам, не уменьшая их толщину, а пружины располагать вблизи подставки, но не ближе чем на 20 мм от нее. Формы подставок могут быть разные. Струны можно прикреплять не к подставке, а к струнодержателю, прикрепленному к корпусу в нижней его части. Подставка в этом случае называется передвижной. Связь такой подставки с декой по сравнению с приклеенной нарушена и уже не составляет единой системы с декой, в связи с чем условия для передачи колебаний струн деке несколько ухудшаются, что сказывается на звучании инструмента. Чтобы в какой-то степени улучшить звучание, необходимо увеличить давление струн на деку; этого можно достичь, увеличив высоту подставки до 23—25 мм. При этом для повышения сопротивляемости давлению струн необходимо придать деке большую выпуклость (порядка 6—8 мм). Сечение пружин должно быть также увеличено.

По конструкции передвижные подставки могут быть постоянными по высоте, т. е. нерегулируемыми и регулируемыми. Регулируемые подставки состоят из верхней и нижней частей. С помощью двух винтов и гаек, называемых кремальерами 4 (рис. 7), верхняя часть подставки может подниматься, увеличивая высоту струн над ладовыми пластинами, либо под давлением струн опускаться.

Изготавливаются подставки из древесины бука, клена, ореха, груши и других пород.

Обкладка корпуса по деке и дну придает инструменту законченный внешний вид. Существуют различные виды обкладок:

в виде набора жилок из лущеного березового шпона мореного и натурального цвета с шириной окантовок 2—5 мм, шириной жилок 4—5 мм; в виде окантовки жилками из пластмасс; в виде фигурных украшений из целлулоида, перламутра, уложенными в мастику на клею. Для последнего вида окантовки в деке по контуру выбирают площадку шириной 8—10 и глубиной 1—1,5 мм. Но такая обкладка значительно ослабляет деку, усложняет производство, увеличивает стоимость инструмента, в силу чего в последнее время в производстве не применяется.

Кнопка предохраняет корпус от ударов, когда гитару ставят на пол, и служит для укрепления шнура, когда на гитаре играют стоя. Кнопку вставляют в нижнюю часть корпуса, для чего в стрелке и нижнем клеще просверливают отверстие. Изготавливают кнопку из пластмассы или древесины твердолиственных пород.



Рис. 7. Подставка, регулируемая по высоте:

1 — основание; 2 — верхняя часть; 3 — пластина под струны; 4 — кремальеры с винтом

Гриф гитары, как и других щипковых музыкальных инструментов (мандолин, балалаек, домр), предназначен для размещения на нем ладовых пластин и крепления колковой механики. К грифу, одному из важнейших узлов инструмента, предъявляются очень высокие требования, так как от его конструкции зависят не только игровые, но и акустические свойства инструмента.

Гриф должен, во-первых, обладать прочностью и надежностью в эксплуатации. Деформация грифа, возникающая главным образом из-за плохо высушенной и невыдержанной древесины, совершенно недопустима. Даже незначительная стрела прогиба, равная 0,3—0,4 мм, уже вызывает дребезжание струн в процессе игры, тогда инструмент подлежит ремонту.

Во-вторых, правильное размещение ладовых пластин на грифе является важнейшим условием правильного строя инструмента. Нарушение расстояний между ладовыми пластинами делает игру на инструменте невозможной.

В-третьих, правильно выбранные в соответствии с длиной мензуры инструмента размеры грифа по ширине и толщине, а также профиль овала будут служить фактором, определяющим игровые свойства инструмента, удобство игры, удовлетворяющие требованиям музыкантов.

Вот почему при изготовлении грифа необходимо соблюдать технологические режимы всего процесса, обратив особое внимание на сушку деталей грифа, соблюдение его размеров в соответствии с чертежами. Размер грифа зависит от размеров инструмента, а также от приема игры на нем. Так, при игре «в обхват» профиль овала выбирается таким, чтобы гриф было удобно обхватить рукой.

При игре «баррэ» ширина грифа должна быть несколько увеличена; профиль овала делается более плоским.

Соединяется гриф с корпусом у гитар обычно у 12-го лада. Соединение грифа с корпусом у 14-го лада удлиняет игровую часть грифа, но вместе с тем увеличивает возможность изгиба грифа под действием натяжения струн.

Гриф состоит из ручки, наклейки, пятки, головки, ладовых пластин, порожка и точек.

Ручка — основа, к которой приклеиваются все остальные детали грифа, она в основном воспринимает суммарное натяжение струн. Если ручка изготовлена из недостаточно прочного материала или с уменьшенными, особенно по толщине, размерами, то под действием этого натяжения она изогнется. Изготовленная из недостаточно высушенного или невыдержанного материала ручка будет подвержена короблению — одному из наихудших видов брака. Для уменьшения коробления (кроме устранения причин, связанных с влажностью древесины) ручку делают переклейной, из двух, трех, пяти брусков. Для увеличения прочности в середину ручки вклеивают прокладку из древесины с большим модулем упругости или вставляют внутрь металлический стержень, закрываемый наклейкой. Ручка изготавливается из древесины бука, клена, граба.

Наклейка укрепляет ладовые пластины и увеличивает надежность приклейки головки. Толщина наклейки 4—6 мм; изготавливается она из древесины бука, клена, черного дерева, мореной груши. Для запрессовки ладовых пластин в наклейке пропиливают пазы шириной 0,7—1 и глубиной 3,2 мм.

Головка для крепления колковых механизмов приклеивается к ручке под углом 11—16°, обеспечивающим необходимое давление струн на порожек для чистого и ясного звучания струн. Изготавливаются головки из древесины бука, клена двух типов: толщиной 18—20 мм с пазами шириной 12—14 мм и без пазов, плоские в виде лопаточки толщиной 15—16 мм. В первом случае планка колковых механизмов крепится сбоку барашками вниз, а во втором — планка крепится снизу головки барашками в стороны.

Порожек ограничивает длину рабочей части струны в свободном состоянии со стороны грифа, а также служит для размещения струн по ширине грифа и высоте над плоскостью ладовых пластин. Гнезда для крайних струн должны быть пропилены на расстоянии не менее 3 мм от краев. Высота порожка должна обеспечить необходимую высоту струн над ладовыми пластинами. Высокий порожек затруднит игру при прижатии струн, а низкий вызовет их дребезжание во время игры. Порожек изготавливается из пластмассы, а также из древесины бука, граба, клена, черного дерева.

Пятка — утолщенная часть грифа, с помощью которой гриф соединяют с корпусом гитары.

Пятку склеивают, как правило, из двух частей: нижней — прямоугольного сечения и верхней — трапециевидного. В пятке просверливают отверстие двух диаметров: 6,5 мм — для гитарного винта, соединяющего гриф с корпусом, и

12 мм — для гитарного ключа, с помощью которого регулируют высоту струн над ладовыми пластинами. Изготавливают пятку в основном из тех же материалов, что и ручку. Если же гриф крепится к корпусу наглухо на клею, пятку изготавливают с шипом в «ласточкин хвост», а в верхнем клеще корпуса выбирают гнездо под этот шип.

Точки на грифе предназначены для ориентации и нахождения нужных ладов во время исполнения музыкальных произведений. Вклеиваются точки в наклейку сверху или сбоку в гнезда. Изготавливают точки из целлулоида, перламутра. Иногда их заменяют полосками или фигурными украшениями из перламутра.

Ладовые пластины на грифе служат для точной фиксации интервалов — полутонов, разбивка которых основана на двенадцатиступенном равномерно-темперированном строе. Изменение длины рабочей части струн и соответственно высоты звуков происходит в результате прижатия струн к ладовым пластинам. Ладовые пластины представляют собой отрезки ладовой проволоки, запрессованные в наклейку грифа в предварительно пропиленные для этой цели пазы.

Основные размеры некоторых гитар, мм

	Концерт- ные	«Ритм»	12-струн- ная	Массового производства
Длина мензуры (расчетная)	650	650	650	610
» инструмента	992	1015	1070	938
Размеры корпуса				
длина	485	478	495	458
ширина в нижнем овале	366	372	395	343
» в верхнем »	278	283	304	276
» в талии	238	253	292	247/224
Высота у нижнего клеща	95	95	103	80
» у верхнего »	86	85	99	70
» максимальная	98	105	112	83
Ширина грифа				
у 1-го лада	50	50	53	50
у 9-го »	58	58	60	57
Толщина грифа				
у 1-го лада	23	23	25	21
у 9-го »	26	26	29	24

Гавайская гитара. От обычной гитары гавайская отличается конструкцией и способом игры — гитара кладется плашмя на колени исполнителя.

Гавайская гитара представляет собой вогнутый с боков корпус, обечайки которого образуют также бока грифа. Гриф является как бы продолжением корпуса, имеет коробчатую (пустотелую) форму. Лады на грифе делают имитированными, т. е. либо их наносят краской, либо заподлицо с наклейкой вклеивают узкие жилки из белой пластмассы. Струны удалены от грифа на расстоянии 5—6 мм, их во время игры к ладам не прижимают. Длина мензуры у гавайской гитары как и у обычных гитар.

Принадлежностями для игры на гитаре являются: металлическая пластина, медиатор или специальные наконечники, надеваемые на три пальца правой руки. После щипка струны музыкант пластинкой касается струны на нужном ладу и быстрыми возврат-

но-поступательными движениями извлекает вибрирующий мелодичный звук и плавный переход от одного тона к другому.

Струны для гавайской гитары должны быть шлифованными, чтобы они не издавали писка при проведении пластинкой по струнам.

Размеры металлической пластины примерно $80-100 \times 25-30 \times 5-6$ мм. Кромки пластины, соприкасающиеся со струнами, должны быть заовалены.

Вибрирующий звук можно получить и на обычной гитаре. Для этого порожек надо заменить более высоким, чтобы поднять струны над ладовыми пластинами.

Электрогитары. В классификации щипковых музыкальных инструментов электрогитары составляют самостоятельную группу. Источником звука, как и в любом струнном музыкальном инструменте, являются стальные струны, механические колебания которых воспринимаются адаптерами (звукоснимателями) для последующего усиления звучания усилителями низкой частоты (УНЧ).

По конструкции они подразделяются на электрогитары с акустическим корпусом, полуакустическим и неакустическим.

Акустические (адаптеризованные) электрогитары — это обычные гитары, снабженные одним или несколькими (не больше трех) звукоснимателями (рис. 8, а). Благодаря адаптеризации и последующему усилению звука УНЧ гитара по силе звучания может быть использована для игры в ансамблях не только как аккомпонирующий, но и как сольный инструмент. При желании адаптеризованную гитару можно использовать как обычную.

Полуакустические электрогитары отличаются от акустических формой корпуса и значительно уменьшенной (почти в 2 раза) его высотой. Их также следует отнести к типу адаптеризованных гитар.

Корпус полуакустической электрогитары — дека, дно и обечайки — может быть изготовлен либо из фанеры клееной березовой, либо из ударопрочного полистирола и акрилонитрилбутадиенстирольного пластика.

Используют полуакустические электрогитары с подключением звукоснимателей к УНЧ. Но их можно использовать и как обычные акустические гитары, хотя сила звучания в этом случае будет значительно ниже.

На фабрике им. А. В. Луначарского внедрен в производство ансамбль электромузыкальных инструментов в составе трех полуакустических электрогитар (шести, двенадцатиструнные и четырехструнная «Бас») с корпусами из пластмасс и двух усилительных-акустических устройств (рис. 8, б).

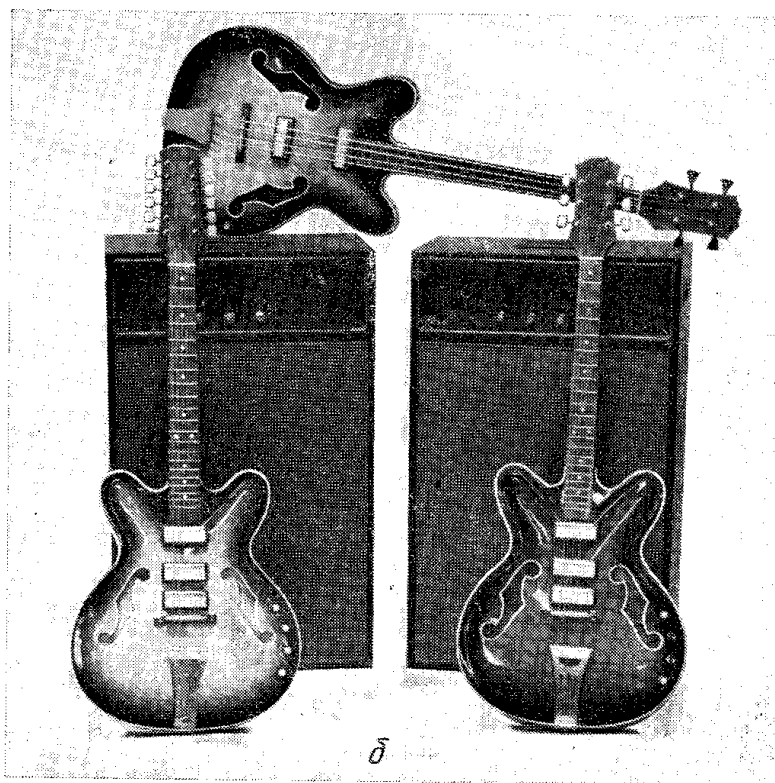
Неакустические электрогитары изготавливают с нерезонирующим корпусом, поэтому без адаптеров они не выпускаются. Этот вид электрогитар получил распространение в ансамблях.

Корпус такой гитары склеивают из отдельных брусков древесины бука, клена или березы толщиной от 25 до 40 мм, а после склеивания фанеруют с обеих сторон по пласти.



Рис. 8. Электрогитары:

a — акустическая (адаптеризованная), *б* — полуакустическая с усилительно-акустическими устройствами



Для уменьшения массы электрогитары среднюю часть корпуса шириной примерно 100 мм, несущую всю нагрузку от натяжения струн, изготавливают из твердолиственных пород древесины бука, клена, березы, а остальные бруски, которые никакой нагрузки не несут — из древесины ели, липы.

В верхней части корпуса для посадки грифа выбирают гнезда.

Грифь полуакустических и неакустических электрогитар чаще всего изготавливают цельными, т. е. с единой ручкой и головкой, и склееными из трех — пяти брусков древесины бука, клена. Внутри ручки грифа, под наклейкой, вмонтирован так называемый анкерный стержень, служащий для выпрямления грифа в случае его выгибания под действием натяжения струн. Гайка выходит за пределы наклейки у головки. При вращении гайки стальной стержень, ограниченный упорами, выгибает швеллер, который, в свою очередь, оказывает давление на наклейку, выпрямляя, таким образом, гриф.

Гриф с корпусом соединяют у 14-го лада на шурупах, которые ввинчивают с обратной стороны корпуса через металлическую пластинку.

Электрогитары шестиструнные «Ритм» или «Соло» можно оборудовать механическим вибратором для игры вибрато.

Электрогитары шести- и двенадцатиструнные выпускаются в большинстве случаев с длиной мензуры 650 мм, а четырехструнные электрогитары «Бас» — 760—800 мм.

Общим узлом в электрогитарах является звукоусилитель (адаптер) — основной звукообразующий элемент тембрового блока инструмента. Звукоусилитель преобразует звуковые колебания гитарных струн в электрические. Электрические колебания со звукоусилителя подаются в усилительно-акустическое устройство, где преобразовываются в звуковые колебания и воспроизводятся громкоговорителями.

Наиболее широкое распространение получили индукционные звукоусилители, обладающие рядом преимуществ по сравнению с пьезоэлектрическими, электродинамическими и др. Они просты в изготовлении, надежны в эксплуатации, обладают достаточной механической прочностью и долговечностью, имеют достаточно широкий диапазон воспроизводимых частот, минимально искажают тембр, при игре на такой гитаре воспроизводятся лишь колебания стальных струн без посторонних шумов.

Конструкция индукционного звукоусилителя чаще всего основана на использовании постоянного магнита, окруженного одной общей катушкой индуктивности, регулировочных винтов, позволяющих изменять положение звукоусилителя по отношению к плоскости струн.

Индукционный звукоусилитель может быть установлен как на панели электрогитары, так и на деке адаптеризованной гитары. Устанавливают звукоусилитель так, чтобы стальные струны попали в поле действия силовых линий магнита. Звукоусилитель можно установить и таким образом, что ось струны будет проходить на 1—2 мм правее или левее оси винта. В этом случае струна попадает в более насыщенный поток магнитных силовых линий. При колебании струны величина магнитного потока изменяется и в катушке наводится электродвижущая сила (ЭДС) с частотой, равной частоте изменения

магнитного потока. Полученные в катушках электрические сигналы подаются на адаптерный вход УНЧ радиоприемника при наличии согласованного входа или специального. Величина наводимой ЭДС для струн разных диаметров, с разной частотой звучания неодинакова и соответственно различно и их воспроизведение громкоговорителем. Для выравнивания ЭДС применяют регулируемые индукционные звукосниматели, которые в отличие от нерегулируемых име-

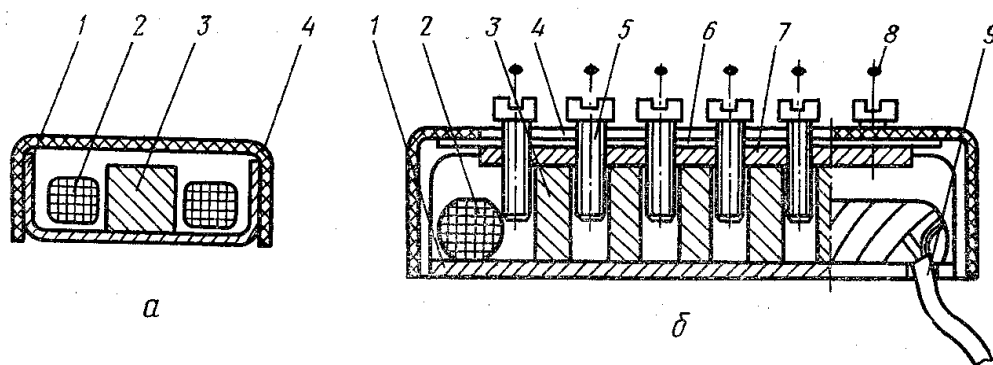


Рис. 9. Индукционный звукосниматель:

a — нерегулируемый; *б* — регулируемый; 1 — основание; 2 — катушка; 3 — магнит; 4 — крышка; 5 — винт регулировочный; 6 — накладка; 7 — планка; 8 — струна; 9 — трубка изоляционная.

ют под каждой струной винт. Приближая винт к струнам, увеличивают значение ЭДС, возбуждаемой колебанием расположенной над винтом струны, и наоборот.

Громкость и тембр регулируют ручками, выведенными на лицевую сторону гитары.

Конструкции нерегулируемого и регулируемого индукционных звукоснимателей приведены на рис. 9.

Размеры и материал постоянного магнита 3 определяют величину магнитного потока. Магнит изготовлен из феррита бария, обладающего достаточно высокими магнитными свойствами.

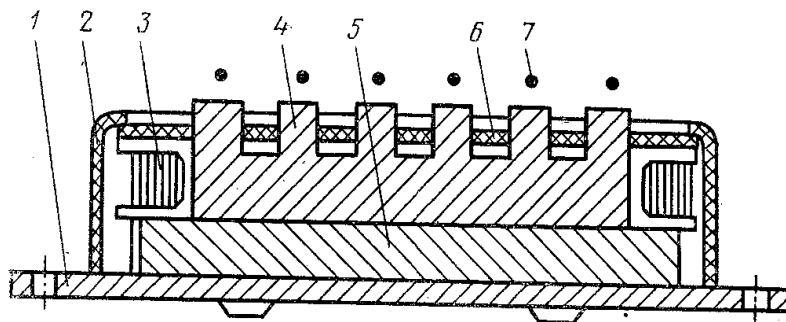


Рис. 10. Индукционный звукосниматель:

1 — основание; 2 — корпус; 3 — катушка; 4 — гребенка (магнитопровод); 5 — магнит постоянный; 6 — накладка; 7 — струны гитары

Катушка 2 индукционная изготовлена из провода ПЭЛ диаметром 0,08 мм, имеет число витков 4500 ± 50 для адаптеризованных и электрогитар «Ритм», «Содо» (электрическое сопротивление $10 \pm 15\%$ кОм) и 7000 ± 100 витков — для электрогитар «Бас» (электрическое сопротивление $10 \pm 15\%$ кОм).

Основание 1 звукоснимателя изготавливают из низкоуглеродистой электротехнической тонколистовой стали (ГОСТ 3836—73). Крышка 4 может быть изготовлена либо из листовой латуни марки Л-63 (ГОСТ 931—70), либо из ударопрочного полистирола (ОСТ 6-05-406—75). На крышке регулируемого звукоснимателя установлено шесть регулировочных винтов МЗ×6. Для подключе-

ния звукоснимателей к усилительно-акустическому устройству используется экранированный привод ШОВЗ ТУК СММ 505-189—55 и низкочастотные разъемы Ш-3 или Ш-5.

Расстояние от неподвижной струны до крышки звукоснимателя должно быть не менее 3 мм, чтобы колеблющиеся струны не ударялись о крышку звукоснимателя.

Лабораторией ЭМИ НИКТИМПа разработана конструкция индукционного звукоснимателя с более высокими электрическими характеристиками (рис. 10), удобного в эксплуатации, технологичного в производстве.

Благодаря высокому уровню наводимой в катушке ЭДС гитары с такими звукоснимателями можно подключать к любому из выпускаемых отечественной промышленностью усилителей с чувствительностью входа в пределах 30—50 мВ.

БАЛАЛАЙКА

Балалайка — русский народный щипковый музыкальный инструмент. Балалайка-прима 1 (рис. 11) предназначена для сольного и оркестрового исполнения музыкальных произведений, а ба-

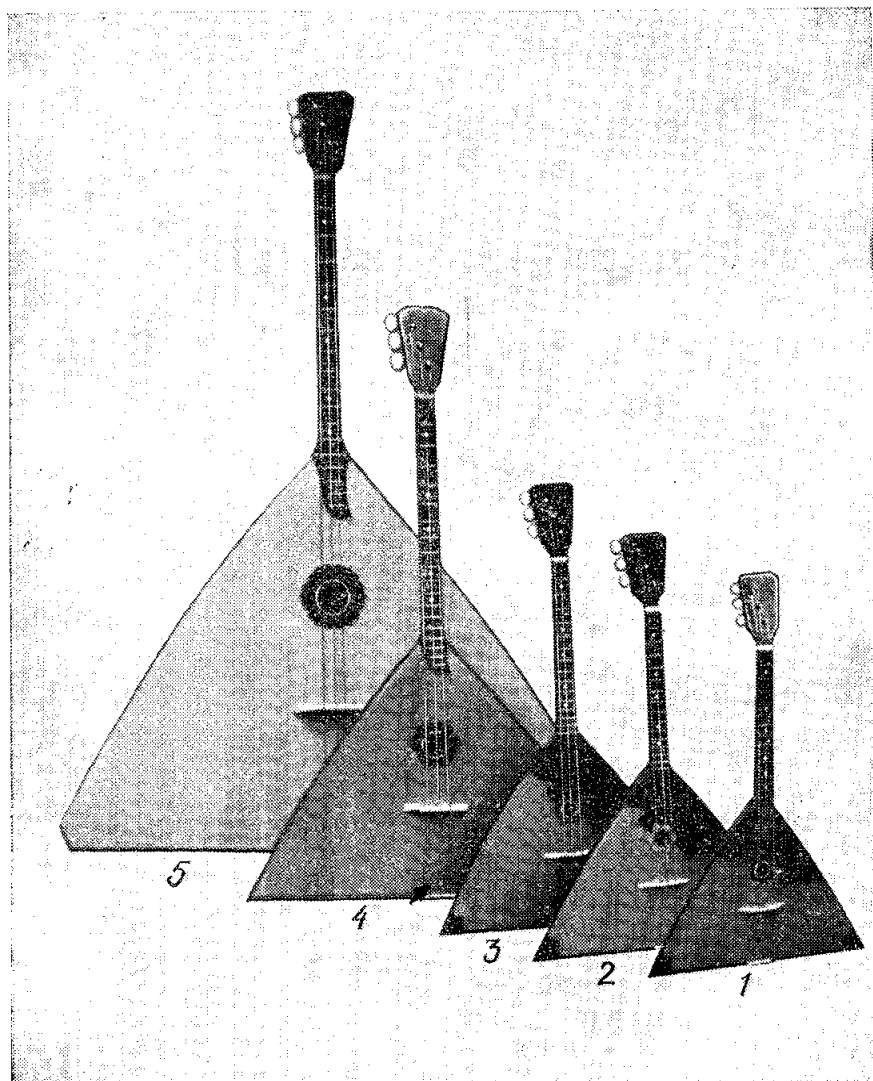


Рис. 11. Балалайки оркестровые:

1 — прима; 2 — секунда; 3 — альт; 4 — бас; 5 — контрабас

лалайки-секунда 2, -альт 3, -бас 4 и -контрабас 5 — для игры в оркестрах народных инструментов, почему и носят название оркестровых инструментов.

Балалайка состоит из корпуса треугольной формы со слегка выпуклым ребристым дном, составленным из отдельных клепок и грифа.

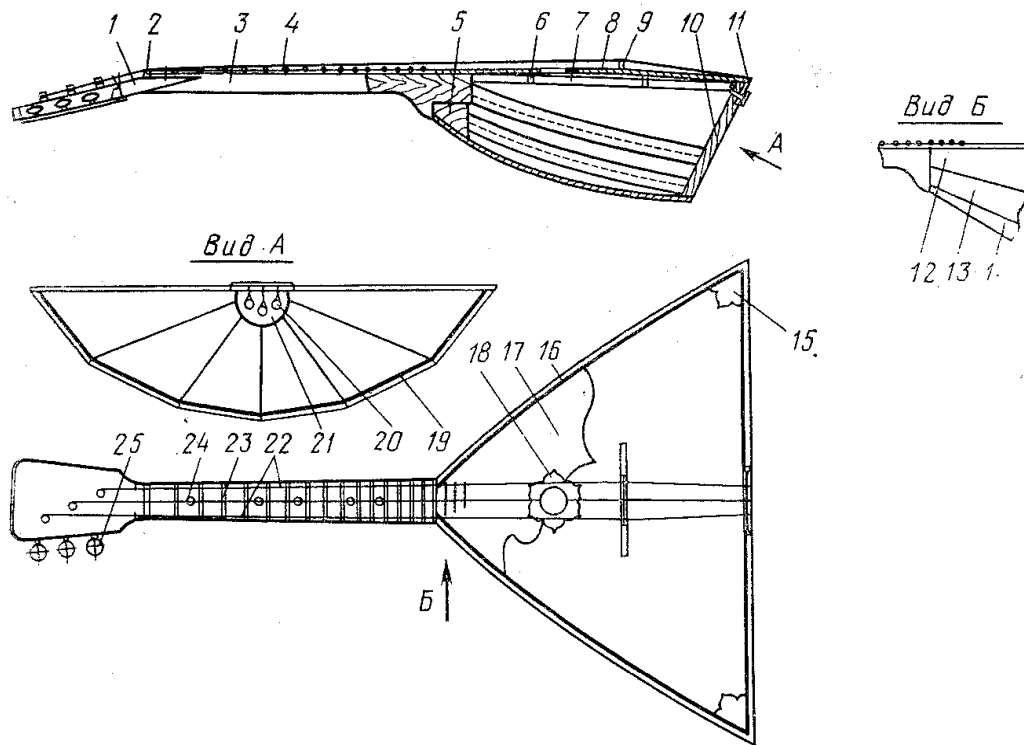


Рис. 12. Устройство балалайки шестиклепочной:

1 — головка; 2 — порожек верхний; 3 — ручка; 4 — наклейка; 5 — клец; 6 — пружины; 7 — контробечайки; 8 — дека; 9 — подставка; 10 — задинка; 11 — порожек нижний; 12—14 — клепки № 1, 2 и 3; 15 — уголки; 16 — обкладка по деке; 17 — панцирь; 18 — розетка; 19 — обкладка по задинке; 20 — кнопки; 21 — кружок; 22 — струны; 23 — пластины ладовые; 24 — точки; 25 — механизмы колковые

Число клепок дна составляет от шести до девяти, поэтому балалайки называют шести-, семиклепочные и т. д.

Корпус балалайки состоит из клепок, задинки, клеча, деки с пружинами, контробечаек, обкладки и кнопок.

Клепки 12, 13, 14 (рис. 12) образуют дно корпуса. Их склеивают между собой по кромке и приклеивают широкой стороной к граням задинки 10, а узкой стороной — к граням клеча 5 или вклеиваются в прорези ручки 3 при сборке корпуса «в ручку».

Центральная клепка у семи-, девятиклепочных балалаек называется клинком.

Изготавливают клепки из древесины березы, бука, клена, палисандра и других пород.

Задинка вместе с клепками образует открытый (без деки) корпус. Задинка представляет собой щит толщиной 10 мм, к гра-

ням которого приклеивают клепки, а к прямой плоскости — деку 8. Угол между задинкой и декой составляет 60—65°. Изготавливают задинку из дощечек древесины ели, склеенных между собой и облицованных с двух сторон березовым или строганым шпоном, а в балалайках высокого качества, изготавливаемых по индивидуальным заказам — секторными клинками из тех же пород древесины, что и клепки корпуса.

В задинку могут быть вклеены жилки из натурального или из мореного березового шпона, для чего предварительно пропиливают пазы в виде расходящихся лучей.

Задинки балалаек-бас и -контрабас для уменьшения массы изготавливают из трехслойной клееной фанеры толщиной 4 мм, к которой изнутри приклеивают штапики по всему контуру из древесины ели, толщиной 12 мм для балалайки-бас и 16 мм для балалайки-контрабас; к штапикам приклеивают клепки и деку. Кроме того, к задинке изнутри приклеивают также поперечину из древесины ели толщиной 12 мм в месте установки кнопок для крепления струн. В верхнюю часть задинки корпусов балалаек-прима, -секунда и -альт по осевой линии вклеивают кружок 21 толщиной 2,5 мм из древесины бука, клена для увеличения прочности задинки в месте установки кнопок для крепления струн.

Клец балалаек-прима, -секунда и -альт изготавливают из древесины бука, а балалаек-бас и -контрабас — из древесины ели, склеенной для увеличения прочности с фанерой клееной толщиной 3—4 мм. Клец предназначен для крепления на клею клепок и деки. Число граней клеца должно соответствовать числу граней на задинке, к которым приклеиваются клепки соответственно узкой и широкой стороной. Для соединения с грифом в клече выбирают гнездо «в ласточкин хвост».

Дека, как и в других щипковых музыкальных инструментах, склеивается из отдельных дощечек резонансной ели и является наиболее ответственной деталью корпуса балалайки. От качества материала и от качества изготовления деки в основном зависит и качество звучания инструмента. Для балалаек-прим толщина деки колеблется в пределах 1,8—2 мм. Как увидим дальше, натяжение струн у балалайки-примы сравнительно небольшое и увеличение толщины деки оказывает отрицательное влияние на звучание инструмента. Уменьшение толщины деки снижает ее прочность. Для увеличения прочности и равномерного распределения звуковых колебаний на деку наклеивают пружины, количество и размеры которых зависят от размеров инструмента: у балалаек-прима, -секунда и -альт — две-три (рис. 13), а у балалаек-бас и -контрабас — не менее четырех.

Дека имеет врезную или декорированную розетку вокруг резонаторного отверстия и панцирь из березового или строганого шпона, предохраняющий деку от повреждений во время игры.

Панцирь может быть также навесным с креплением его лишь по контуру деки на одном уровне с наклейкой.

Навесной панцирь изготавливают из древесины различных пород — клена, груши, палисандра, из фанеры клееной, древесноволокнистой плиты высокой твердости (ГОСТ 4598—74), полистирола блочного марки Т (ГОСТ 20282—74).

По контуру дека окантована штапиками из древесины бука. В нижнюю часть деки вклеен порожек из древесины бука, клена (он носит название нижнего), служащий опорой для струн.

Контробечайки придают корпусу жесткость и увеличивают площадь приклейки деки. Характерная особенность контробечаяк для балалаек заключается в том, что по всей своей длине они имеют переменное сечение, т. е. разный угол наклона плоскости, приклеиваемой к клепкам.

Пятка — деталь семи-клепочной балалайки, клепки которой при сборке соединяются непосредственно с ручкой; пятка закрывает место соединения клинка с ручкой. Изящно отделанная пятка одновременно является украшением инструмента. Изготавливается пятка из древесины бука, березы, ольхи, клена.

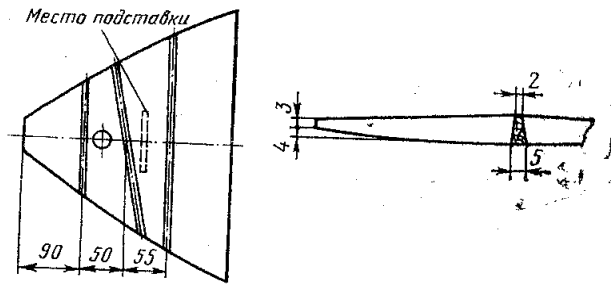


Рис. 13. Схема расположения пружин на деке балалайки-прима

Гриф балалайки состоит из ручки, головки, наклейки, порожка, ладовых пластин.

Ручка имеет сверху гнездо, в которое вклеивают головку, и внизу — шип «ласточкин хвост» для соединения грифа с корпусом или прорези, куда вклеивают узкой стороной клепки при склейке корпуса балалайки «в ручку». В последнем случае место соединения клепки-клинка с ручкой заклеивают пяткой. Для создания необходимого давления струн на деку ручка соединяется с корпусом под углом 2—3°. Изготавливают ручку из хорошо высушенной и выдержанной древесины бука, клена, граба.

Толщина наклейки в зависимости от конструкции балалайки должна составлять 2—4 мм. Наклейку толщиной 2 мм наклеивают только на ручку заподлицо с декой, если количество ладов на грифе не превышает 16. Наклейку толщиной 3—4 мм наклеивают на ручку и деку, увеличивая количество ладов и расширяя диапазон звучания инструмента. На балалайках-прима количество ладов увеличивают до 24.

Если в балалайке наклейка наклеена на ручку и на деку, то инструмент необходимо оборудовать навесным панцирем, который устанавливают и приклеивают на одном уровне с наклейкой. Наклейку изготавливают из хорошо высушенной и выдержанной древесины бука, клена, груши, черного дерева.

Головка изготавливается двух типов: для открытых и закрытых колковых механизмов. Головку, имеющую на узком конце конус 11—12°, вклеивают в специально выбранное гнездо ручки с тем же конусом. В головке имеется площадка, на которую наклеивают порожек из пластмассы или из древесины бука, граба, клена.

Для крепления колковых механизмов закрытого типа в головках выбирают гнезда и для колонок просверливают отверстия с односторонним располо-

жением для трех- или четырехструнных балалаек и двусторонним — для шести-струнных.

В корпусах балалаек-бас и -контрабас имеется выдвижной стержень (штырь), служащий опорой инструменту во время игры.

Гриф с корпусом в балалайках-прима соединяется у 16-го лада, в балалайках-секунда, -альт и -бас — у 15-го лада, у балалаек-контрабас — у 13-го лада.

Основные размеры оркестровых балалаек, мм

	Прима	Секунда	Альт	Бас	Контрабас
Длина мензуры	435—450	475—490	490—535	750—780	1100—1180
Длина инструмента	675—685	745—765	800—820	1120—1160	1600—1700
Длина корпуса	275—290	310—325	325—355	500—535	790—820
Ширина корпуса (по основанию)	420—435	485—500	510—525	700—735	1060—1250
Высота корпуса (по задинке)	120—130	130—145	145—155	200—220	335—360
Ширина грифа					
у порожка	28—30	30—32	30—32	33—36	36—40
у 12-го лада	34—36	36—38	36—38	40—43	48—50
Толщина грифа					
у 1-го лада	16—17	19—20	19—20	28—31	36—40
у 12-го лада	19—20	22—24	22—24	34—36	50—52
Толщина деки	2,0	2,5	2,5	3,0	4,5
Количество ладов	16—24	15	15	18	16—17

ДОМРА

Домра — русский народный щипковый музыкальный инструмент, предназначенный для сольного, концертного и оркестрового исполнения музыкальных произведений.

Домра трехструнная имеет полукруглый корпус с ребристым, составленным из отдельных клепок дном и гриф. Строй — квартый. Домры трехструнные подразделяются на -пикколо 1 (рис. 14), -прима 2, -альт 3, -тенор 4 и -бас 5. Домра четырехструнная (рис. 15) имеет более глубокий корпус почти круглой формы. Строй — квинтовый. Звук у четырехструнной домры по сравнению с трехструнной более слабый. Диапазон четырехструнной домры шире диапазона трехструнной, особенно в нижнем регистре. Учитывая, что строй четырехструнной домры является общим с мандолиной и скрипкой, ей отдают предпочтение при игре в небольших коллективах — квартетах, секстетах, где не так важна сила звука, как важно использовать обширный нотный репертуар, написанный для этих музыкальных инструментов.

Домра состоит из корпуса и грифа.

Корпус состоит из клепок 17—20 (рис. 16) деки 6 с врезной розеткой 15 и панцирем 14 и приклеенными пружинами 8, двух контрбечаек 7, верхнего 5 и нижнего 10 клецев, порожков 2 и 11 и обкладки 16.

Клецы служат для крепления к ним клепок: верхние концы клепок крепятся к верхнему клецу, нижние концы — к нижнему клецу. Изготавливают клецы из древесины ели; верхний клец с

целью увеличения его прочности фанеруют с одной стороны трехслойной клееной фанерой толщиной 3—4 мм.

В верхнем клеще 5, как и в клещах балалаек, выбирают гнездо в «ласточкин хвост» по размерам шипа ручки 3. Толщина верх-

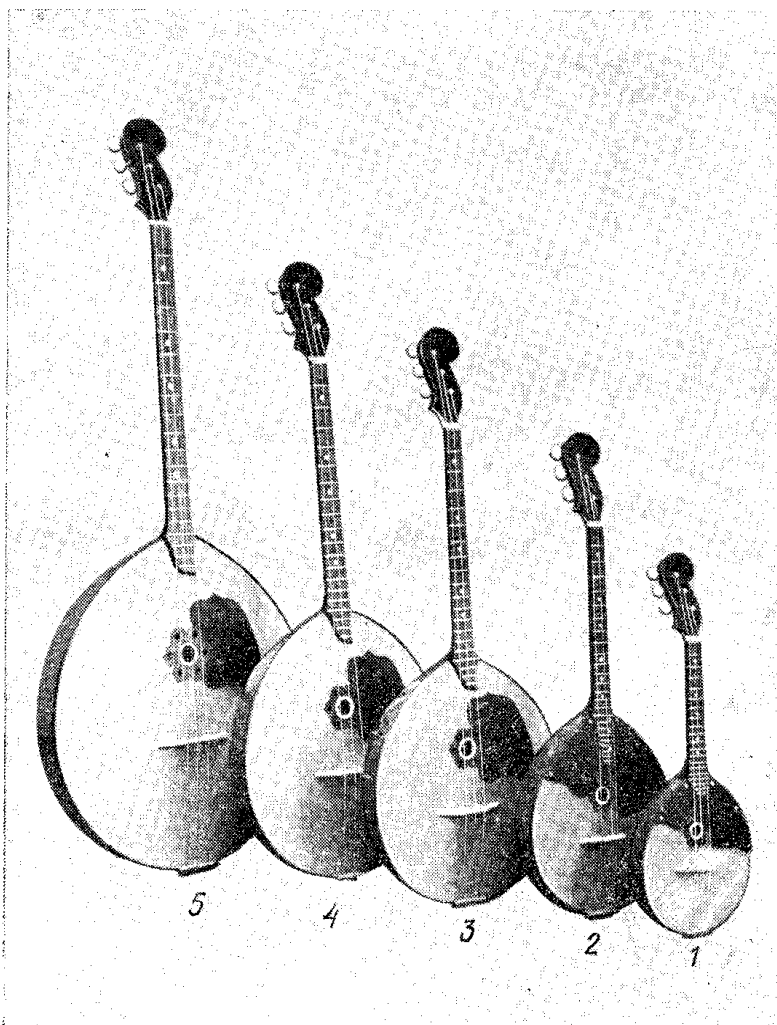


Рис. 14. Домры трехструнные:

1 — pikkоло; 2 — прима; 3 — альт; 4 — тенор; 5 — бас

него и нижнего клещев равна соответственно: для домр-пикколо 25 и 12 мм, -прима — 25 и 13 мм, -альт — 30 и 16 мм, -тенор и -бас — 35 и 18 мм.

В нижнюю часть корпуса, где сходятся концы клепок, вклеивают кружок 13 из древесины бука; в кружке просверливают три или четыре отверстия диаметром 5,2 мм для домр-пикколо, -прима и -альт и 6,8 мм — для домр-тенор и -бас под кнопки для крепления струн.

Клепки изготовляют из древесины бука, клена, а для высококачественных инструментов по индивидуальному заказу — из струйчатого клена, клена «птичий глаз», палисандра. К клепкам могут быть приклеены узкие полоски шпона (жилки) толщиной 0,8 и шириной 2—2,5 мм, отличающиеся по цвету от клепок.

Толщина клепок у домр-пикколо 1,7 мм, -прима 1,8 мм, -альт и -тенор 2 мм, -бас 2,5 мм.

Контробечайки, как и в других щипковых музыкальных инструментах, служат для увеличения площади приклейки деки и придания жесткости корпусу. Изготовляют контробечайки из древесины ели выпиливанием по разметке, либо выгибанием.

Деку изготовляют из древесины качественной резонансной ели.

В деке просверливают резонаторное отверстие, украшенное панцирем и розеткой; в последней просверливают также дополнительные отверстия меньшего диаметра (табл. 3).

Толщина деки для каждого инструмента не должна превышать размеров, указанных в табл. 4.

Трехструнные домры-пикколо, -прима и -альт, четырехструнные — пикколо, -прима, -альт и -тенор более высокого качества и по индивидуальным заказам могут быть оборудованы навесными панцирями, изготовленными из древесины груши, мореной в различные темные цвета, фанеры клееной, древесноволокнистого материала и из других материалов.

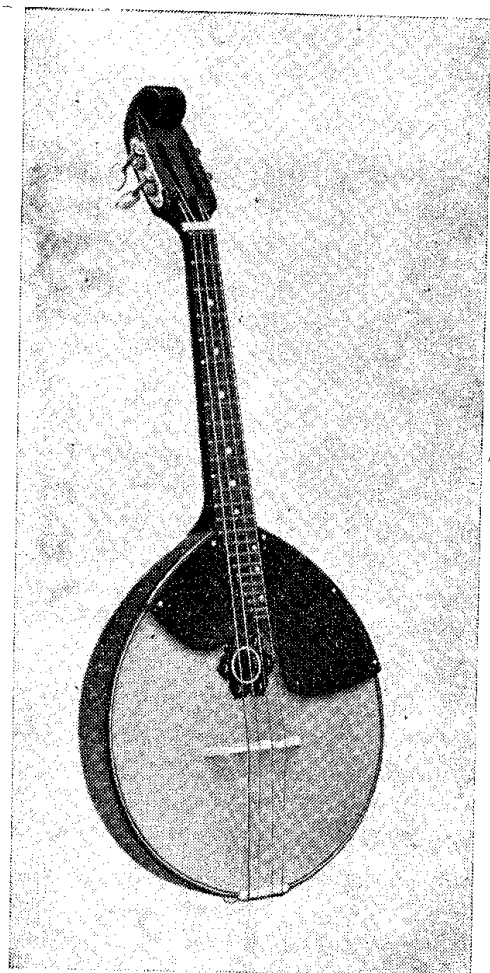


Рис. 15. Домра четырехструнная

Количество пружин на деках колеблется от 2 до 4 у домр-пикколо, -прима, -альт и -тенор, а у -бас и -контрабас — от 4 до 5 (рис. 17).

Выпуклость деки образуется за счет приклеивания профильных пружин и составляет у домр-пикколо и -прима 3,5 мм, у домр-альт и -тенор 5 мм, -бас 7 мм и -контрабас — 10 мм.

Гриф домры состоит из тех же деталей, что и гриф балалайки. Гриф трехструнных домр отличается от грифа четырехструнных размерами и формой головки. Головка у четырехструнных домр напоминает скрипичную, на боковых плоскостях которой укрепляют двухколковые механизмы. Головка у трехструнных домр — фигурная, с обратной стороны крепятся открытые или за-

ТАБЛИЦА 3. ДИАМЕТРЫ РЕЗОНАТОРНОГО И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ
(В РОЗЕТКЕ) ОТВЕРСТИЙ В ДЕКАХ, мм

Музыкальный инструмент	Трехструнные		Четырехструнные	
	Резонаторное	Дополнительное	Резонаторное	Дополнительное
Домра-пикколо	16	5	14	4
» -прима	18	5	15	5
» -альт	20	6	16	6
» -тенор	22	8	18	6
» -бас	24	10	20	6
» -контрабас	—	—	40	8

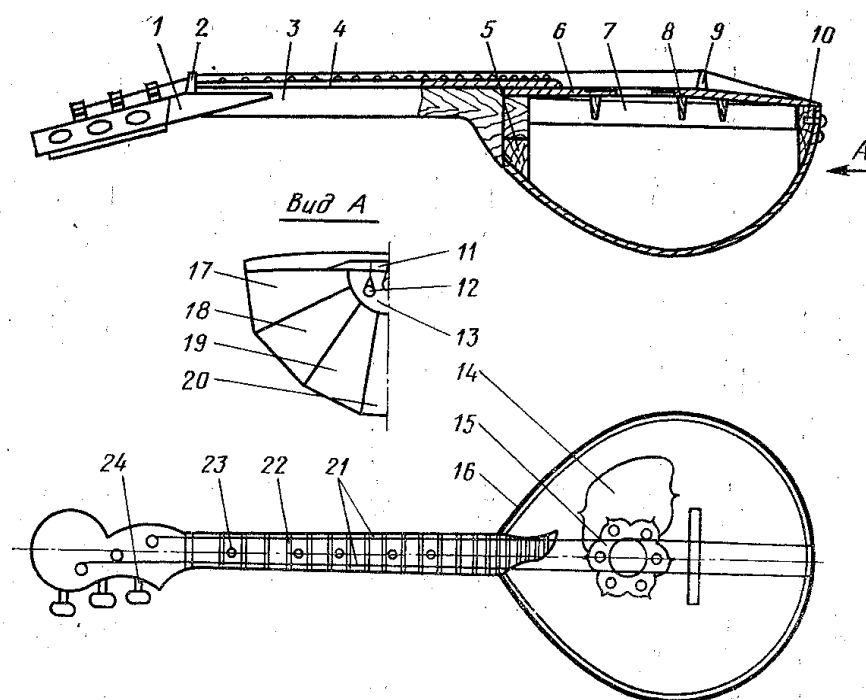


Рис. 16. Устройство домры трехструнной:

1 — головка; 2 и 11 — порожки (верхний и нижний); 3 — ручка; 4 — наклейка; 5 и 10 — клещи (верхний и нижний); 6 — дека; 7 — контрбечайка; 8 — пружины; 9 — подставка; 12 — кнопка; 13 — кружок; 14 — планцирь; 15 — розетка; 16 — обкладка; 17—20 — клепки № 1, 2, 3 и клинок; 21 — струны; 22 — пластины ладовые; 23 — точки; 24 — колковые механизмы

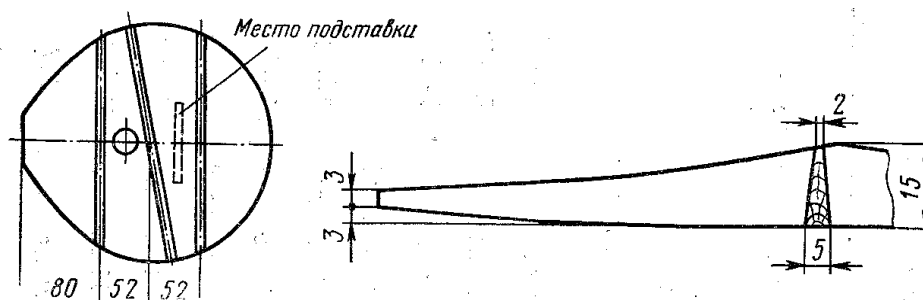


Рис. 17. Схема расположения пружин на деке домры-прима

ТАБЛИЦА 4. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ДОМР, мм

Показатели	Трехструнные					Четырехструнные					
	пикколо	прима	альт	тенор	бас	пикколо	прима	альт	тенор	бас	контрабас
Длина мензуры расчетная	260—285	380—400	490—505	565—585	685—715	270—275	350—360	420—430	470—480	630—640	990—1000
Длина инстру- мента	460—480	625—635	755—785	875—880	1020—1065	470—475	600—610	700—710	755—765	970—985	1490—1540
Размеры корпу- са											
длина	185—190	250—260	325—330	365—380	450—460	195—200	260—270	310—340	330—370	450—460	760—780
ширина	175—185	230—240	300—310	340—350	410—435	185—190	250—260	300—310	320—330	425—435	735—745
высота	85—90	110—120	130—140	150—160	170—205	95—100	130—140	145—150	160—170	200—220	330—350
Толщина грифа											
у 1-го лада	17—20	21—23	22—25	24—26	26—30	19—21	21—23	23—25	25—27	27—30	40—42
у 12-го »	21—23	25—27	27—30	30—32	32—34	21—23	28—30	29—31	30—33	33—37	47—49
Ширина грифа											
у 1-го лада	19—23	23—25	25—27	27—28	28—32	23—25	25—27	27—29	29—31	31—33	38—41
у 12-го »	25—29	29—32	32—33	33—36	36—40	29—32	32—35	35—38	38—40	40—42	50—53
Толщина деки	1,7	1,8	2,0	2,5	2,75	1,7	1,8	2,5	2,5	3,0	4,0
Количество ла- дов	19	19—24	19	19	19	21	24	21	19	19	17

крытые колковые механизмы. Для последних в головках выбирают гнезда под планку и червяки размерами, соответствующими колковым механизмам. Головка вклеивается в ручку под углом 13—15°.

Гриф с корпусом у домр соединяют у определенных ладов: во всех трехструнных домрах у 16-го лада; в четырехструнных домрах-пикколо — у 15-го; -приме и -альте — у 14-го; в -теноре, -басе и -контрабасе — у 13-го. В табл. 4 приведены основные размеры трех- и четырехструнных домр.

МАНДОЛИНА

Мандолина овальная (рис. 18, а). Корпус грушевидной формы состоит из узких клепок, количество которых может составить от 15 до 33, двух широких крайних клепок, называемых бочками, щитка, двух бортиков, двух контрбечаек 8 (рис. 18, б), клеца 9, деки 5 с пружинами 6 и обкладки 11. Корпус может быть изготовлен и без щитка и бортиков, тогда в нижнюю часть корпуса вклеивают стрелку.

Клепки различают центровые 15 и косые 16, отличающиеся между собой формой и размерами. Например, в двадцатитрехклевочной мандолине центровых клепок — 7, а косых — 16. Толщина клепок 1,5—1,75 мм. К клепкам приклеивают узкие полоски шпона, так называемые корпусные жилки 17 толщиной 0,8 мм и шириной 2,5 мм, отличающиеся по цвету от клепок.

Концы клепок и бочков приклеивают вверху к клецу ручки и внизу — к клецу корпуса.

Клепки изготавливают из древесины бука, клена натурального цвета или окрашенные в цвет ценных пород древесины. Для более прочного соединения клепок на внутреннюю поверхность собранного корпуса поперек клепок наклеивают 5—6 узких полосок текстильной ленты — коленкора (ГОСТ 3922—55).

Щиток 18 закрывает сходящиеся у клеца клепки и бочка; одновременно щиток служит и украшением корпуса, поэтому изготавливают его фигурным. Концы щитка с обеих сторон корпуса состыкованы с бортиками, изготавливаемыми из тех же пород древесины, что и щиток.

Контрбечайки 8 изготавливают из древесины ели толщиной 4—5 мм выгнутыми по форме конуса и упирающимися своими концами вверху в ручку, внизу в клец, в которых для этой цели выбраны гнезда.

Дека 5 овальной мандолины по своей конструкции отличается от дек других щипковых музыкальных инструментов: ее изготавливают с изломом, изгибая под углом 7—10° на расстоянии 3—4 мм от места установки подставки 7. Для этого с внутренней стороны деки делают пропил шириной и глубиной 1—1,2 мм. Излом деки делают для увеличения давления струн на деку. Под этим же углом делают скос на корпусе при опиловке его по высоте. В деке выбирают резонаторное отверстие овальной формы, которое затем украшают врезными розеткой и панцирем. Отверс-

тие может иметь перемычку, служащую опорой для хвостика наклейки.

Клец 9 из древесины ели толщиной 12 мм установлен в нижней части корпуса с направлением волокон перпендикулярно деке.

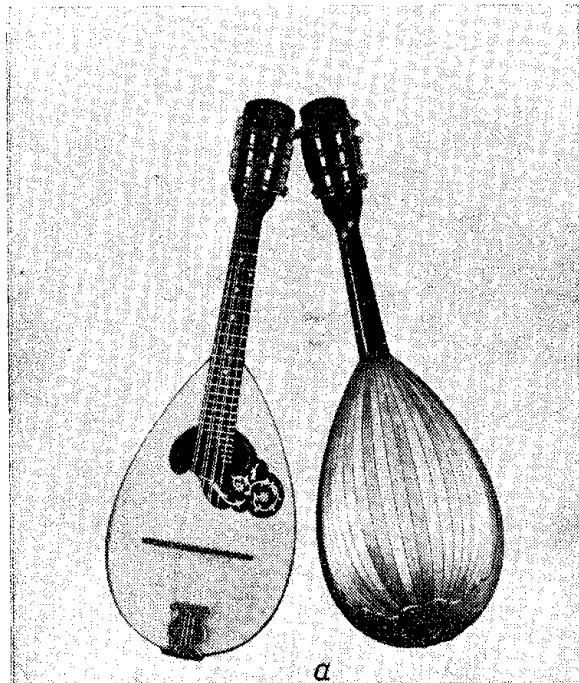
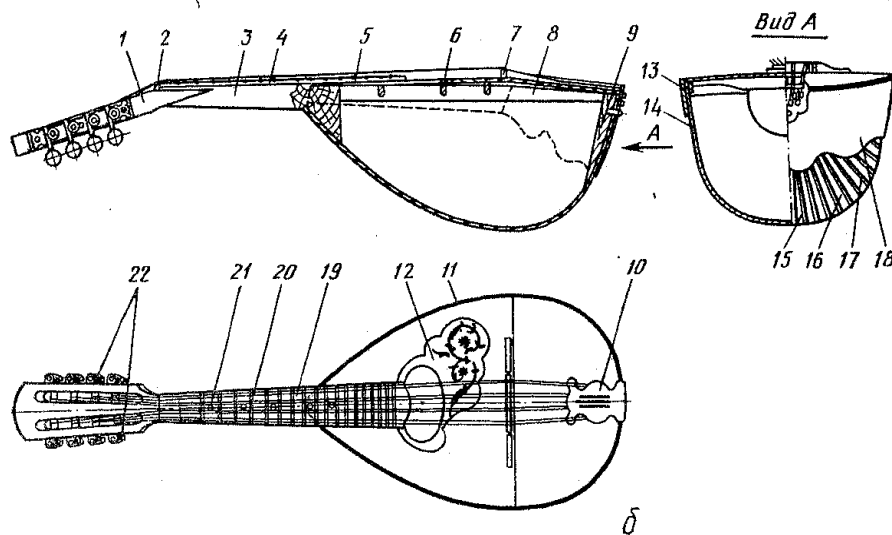


Рис. 18. Мандолина овальная:

a — общий вид; *б* — устройство: 1 — головка; 2 — порожек; 3 — ручка; 4 — наклейка; 5 — дека; 6 — пружины; 7 — подставка; 8 — контрбечайки; 9 — клец; 10 — струнодержатель; 11 — обкладка; 12 — панцирь; 13 — бортик; 14 — бочок; 15 — клепки центровые; 16 — клепки косые; 17 — жилки между клепками; 18 — щиток; 19 — струны; 20 — пластины ладовые; 21 — точки; 22 — механизмы колковые



Гриф состоит из ручки, наклейки, головки, порожка, ладовых пластин и точек.

Ручка 3 — из древесины бука, клена; к одному концу ручки приклеивают бруски также из древесины бука. Бруски после обработки образуют клец для приклейки клепок и бочков. На другом конце в ручке выбирают, как и в балалайке, гнездо для вклеивания головки.

Наклейка из древесины бука, клена, груши, черного дерева приклеена во всех мандолинах не только к ручке, но и к деке до резонаторного отверстия или перекрывая его. В последнем случае для опоры хвостика наклейки, как сказано выше, резонаторное отверстие разделено перемычкой.

Головка 1 — из древесины бука, клена независимо от конструкции мандолин, может быть гитарного типа, т. е. с пазами или плоской без пазов. У головки, как и у балалаечных и домровых головок, нижняя часть обработана на конус под углом 11—16°; ее вклеивают в ручку. Оси головки, ручки и корпуса должны совпадать.

Полуовальная мандолина (рис. 19, а). Корпус со слегка выпуклым дном имеет эллипсовидную форму. Детали корпуса и материалы, из которых они изготовлены, аналогичны деталям и материалам корпуса гитары, за исключением верхнего клеща 5 (рис. 19, б), который для прочности соединения грифа с корпусом изготовляют не из ели, а из бука. Дно 7 может быть изготовлено не только из клееной фанеры, но и из отдельных равной ширины клепок из древесины бука или клена (5—7 шт.), чередующихся между собой по цвету и склеенных.

Для соединения грифа и корпуса в ручке 3 делают шип в «ласточкин хвост», а в верхнем клеще корпуса выбирают гнездо, форма и размеры которого аналогичны форме и размерам шипа.

Гриф состоит из тех же деталей и изготовляется из тех же материалов, что и гриф овальной мандолины.

Плоская мандолина. Корпус, имеющий форму близкую к округлости, состоит из тех же деталей, что и корпус полуовальной мандолины.

Грифь плоской и полуовальной мандолин также состоят из идентичных деталей.

Гриф с корпусом у мандолин соединяется наглухо у 10-го лада.

Струнодержатель у всех мандолин имеет восемь крючков для крепления струн, он крепится в нижней части корпуса со стороны щитка:

Оркестровые мандолины-пикколо, -мандола, -люта и -контрабас входят в состав неаполитанского оркестра. Контрабас имеет плоский корпус, а остальные инструменты — грушевидный.

Благодаря различным формам корпуса мандолины различаются по тембровой окраске их звучания: овальные мандолины имеют приятный и мягкий звук, полуовальные и плоские — более открытый и яркий звук. Основные размеры мандолин приведены в табл. 5.

ГУСЛИ

Гусли — древнейший русский народный щипковый музыкальный инструмент, предназначенный для игры в оркестрах гусяров и оркестрах народных музыкальных инструментов. По конструкции и способу извлечения звука различают гусли звончатые, щипковые и клавишные.

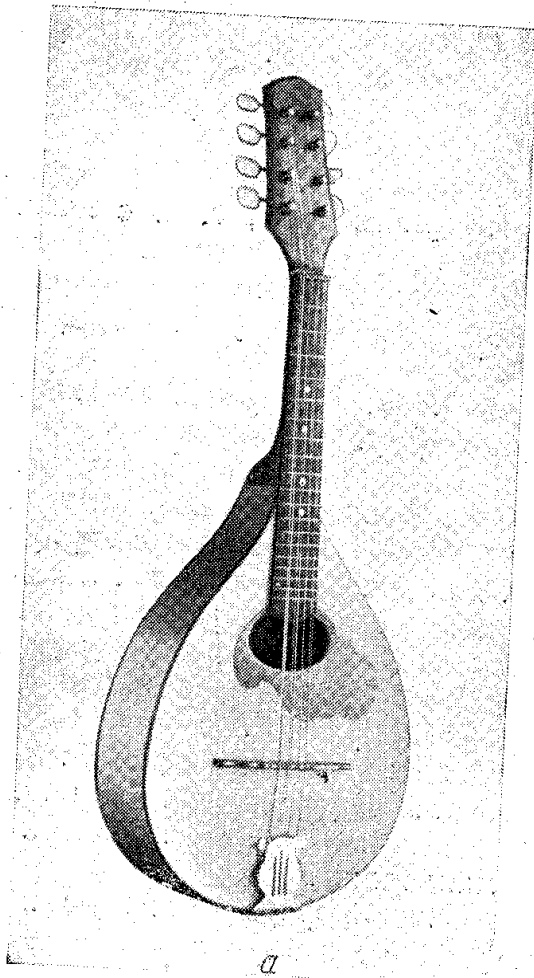


Рис. 19. Мандолина полуовальная:

а — общий вид; б — устройство: 1 — головка; 2 — порожек; 3 — ручка; 4 — наклейка; 5 и 11 — клецы (верхний и нижний); 6 — дека; 7 — дно; 8 — пружины; 9 — подставка; 10 — контрбечайки верхняя и нижняя; 12 — стрелка; 13 — струнодержатель; 14 — обкладка; 15 — панцирь; 16 — струны; 17 — ладовые пластины; 18 — точки; 19 — механизмы колковые

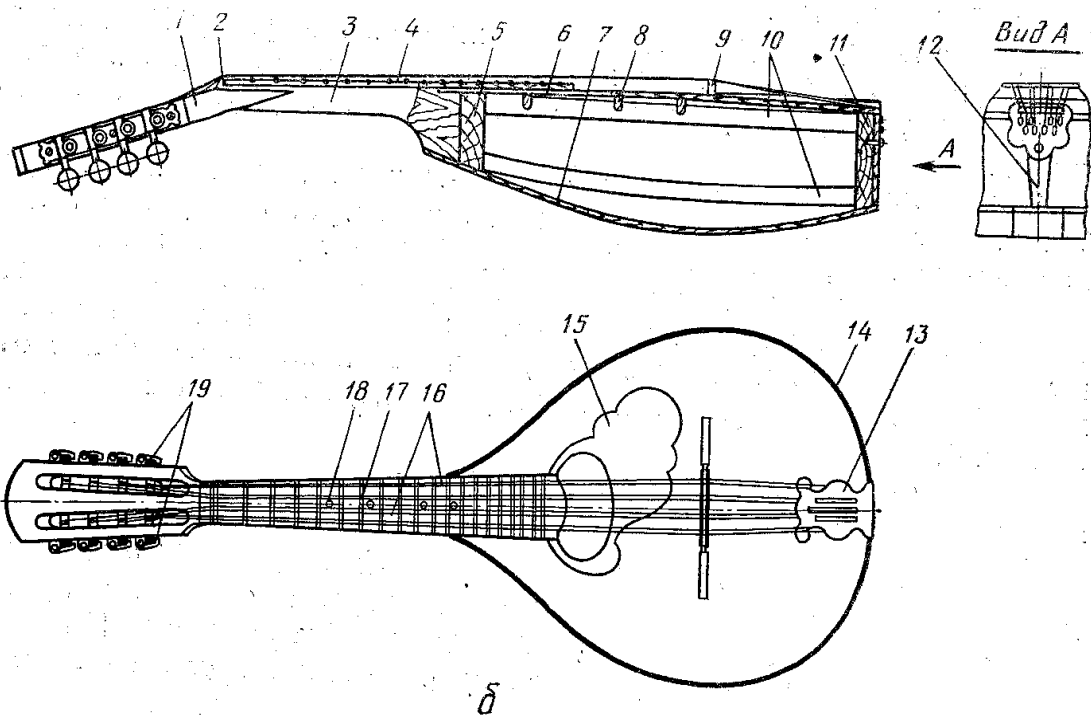


ТАБЛИЦА 5. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ МАНДОЛИН, мм

Показатель	Мандолины-прима			Оркестровые мандолины		
	овальная	полуовальная	плоская	мандола	люта	контрабас
Длина мензуры	335—350	335—350	335—350	425—435	555—575	900—1000
» инструмента	620—630	620—630	620—630	740—760	950—970	1500
» корпуса	315—320	315—320	315—320	350—360	460—480	910—920
Ширина корпуса	200—210	245—250	270	250	300	760
Высота корпуса наибольшая	145	95	70	185	215	130
Ширина грифа						
у порожка	28	28	28	30	42	37
у 10-го лада	37	34*	34*	44	55	57
Толщина грифа						
у 1-го лада	20	20	20	25	28	35
у 9-го лада	27	22*	22*	35	38	42
Толщина деки	2,5	2,5	2,5	2,7	3,5	4,0

* Размеры даны у 6-го лада.

Гусли звончатые. Корпус инструмента плоский, трапецеидальной формы. Основные детали гуслей: рамка, дека 4 (рис. 20), дно 5 с пружинами 6, подставка 7, струнодержатель 1, порожек 2 и набор струн 9.

Рамка корпуса состоит из передней 12, задней 11 и двух боковых стенок — левой 3 и правой 10, связанных между собой на прямых шипах. Левая стенка перпендикулярна передней, осталь-

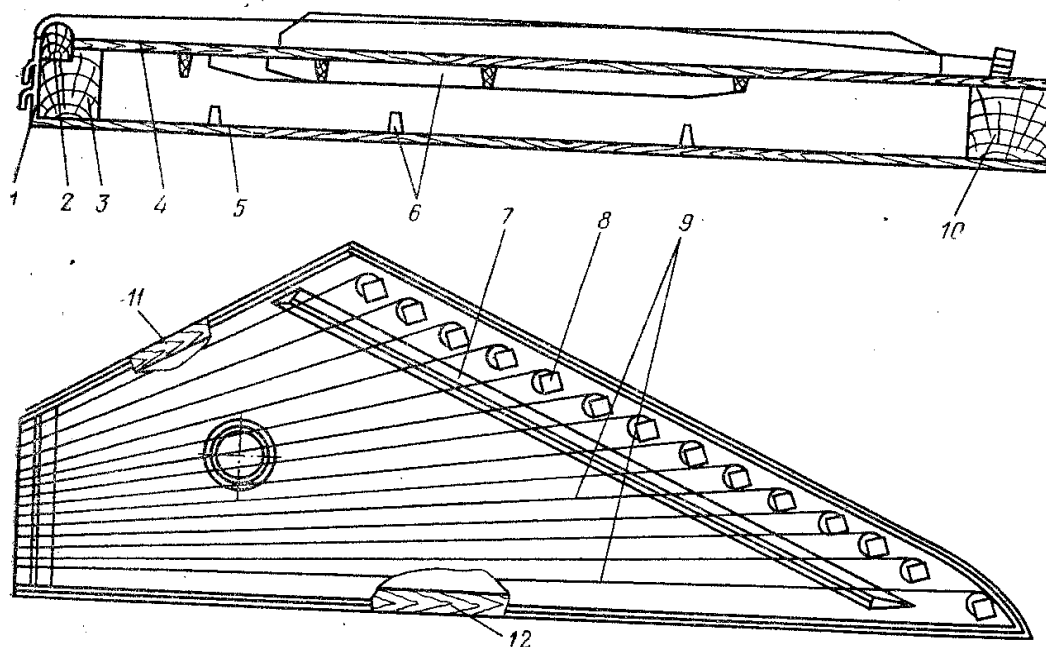


Рис. 20. Гусли звончатые:

1 — струнодержатель; 2 — порожек; 3 и 10 — стенки боковые (левая и правая); 4 — дека; 5 — дно; 6 — пружины; 7 — подставка; 8 — колки; 9 — струны; 11 и 12 — стенки (задняя и передняя)

ные — наклонные. На левой стенке укреплен струнодержатель 1 в виде металлической пластины с крючками для крепления струн и порожек 2 с ладовой пластиной. В правой стенке под углом 80—85° к плоскости деки установлены колки-вирбели, служащие для натягивания струн и их настройки.

Все стенки изготовляют из древесины бука, клена толщиной 18—20 мм для передней и задней стенок, 35—40 мм — для левой и 50—60 мм — для правой наклонных стенок. Для плотной посадки колков, предотвращения их проворачивания и стабильности

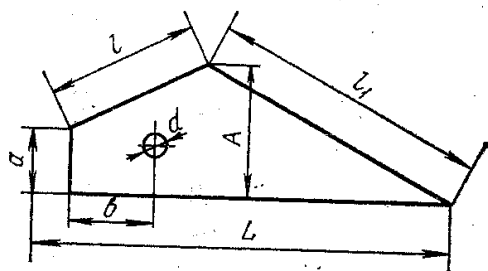


Рис. 21. Схематическое изображение гуслей звончатых

строю правую стенку изготовляют из трех-, пятислойного щита с различным направлением слоев: два наружных слоя направлены вдоль правой стенки, внутренние — поперек или под углом к наружным слоям.

Деку изготовляют из отдельных дощечек резонансной ели радиальной распиловки, подобранных по цвету и плотно склеенных между собой. По контуру дека (кроме левой стенки) окантована штапиком

из древесины бука, клена, мореной в темный цвет. Ширина штапика составляет 6—8 мм.

Дно изготовляют из трехслойной клееной фанеры толщиной 4 мм.

К деке и дну приклеивают по 3—4 пружины из древесины ели, располагая их на деке веерообразно; конусы пружин вклеивают в заднюю и переднюю стенки рамки корпуса; на дне все пружины располагают перпендикулярно передней стенке.

Высота пружин 18—20 мм, толщина для гуслей-пикколо и -прима — 12 мм, -альт — 14 мм и -бас — 16 мм. Неприклеенная кромка пружин заовалена.

Подставка, как и у других щипковых музыкальных инструментов, служит для ограничения длины рабочей части струны, передачи давления струн деке. Место установки подставки на деке определяет сам исполнитель, руководствуясь звучанием инструмента и степенью натяжения струн, имея в виду, что с увеличением длины рабочей части струны при сохранении высоты звучания увеличивается и ее натяжение, что оказывает положительное влияние на звучание, и наоборот, уменьшая длину рабочей части, передвигая подставку ближе к резонаторному отверстию, при той же высоте звучания ноты, исполнитель уменьшает натяжение струны.

Подставку изготовляют из древесины бука, клена высотой 16—24 мм; в верхнюю часть запрессована ладовая пластина.

Схематическое изображение гуслей звончатых приведено на рис. 21, а размеры — в табл. 6.

Строй гуслей основан на диатонической гамме и имеет диапазон в основном 2 октавы. Постоянного строя гусли звончатые не

имеют. Их можно настраивать в тональности *до-мажор*, *ре-мажор*, *ми-мажор* и т. д. Количество струн 13—15. Во время игры гусли лежат на коленях исполнителя, звук извлекается медиатором перебором струн, причем звучат лишь те струны, которые не приглушаются пальцами левой руки.

ТАБЛИЦА 6. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ГУСЛЕЙ ЗВОНЧАТЫХ, мм

Показатели	Обозначение (рис. 21)	Пикколо	Прима	Альт	Бас
Размеры инструмента					
длина	L	560—600	850—880	900—1000	1050—1100
ширина	A	240—250	290—300	320—330	360—380
высота		50	50—52	55—58	62—65
Диаметр резонаторного отверстия	d	45	50	55	60
Длина струнодержателя	a	120	130	140	150
Длины сторон	l	240—250	320—350	360—390	440—460
Расстояние от струнодержателя до центра резонаторного отверстия	l_1	450—460	640—670	700—750	840—860
Толщина деки	b	170—180	180—190	220—230	270—280
Количество струн		3—3,5 13	3,5—4 14—15	4—4,5 14—15	4,5—5 14—15

Гусли щипковые. Предназначены для игры в оркестрах народных инструментов. По сравнению с гуслями звончатыми щипковые гусли имеют больший диапазон звучания — 5 октав. Корпус гуслей установлен на четырех ножках, металлические струны настроены по звукоряду хроматической гаммы. Струны зашпицовываются пальцами обеих рук. Для ориентировки во время игры струны располагаются на двух разных уровнях: в верхнем ладу струны звучат в тоне *ля-мажор*, в нижнем — промежуточные хроматические звуки.

Гусли клавишные. Корпус гуслей клавишных продолговатый, установлен на четырех ножках, вдоль которого натянуто такое же количество струн, как и в щипковых гуслях. Клавишные гусли отличаются от щипковых тем, что струны расположены строго горизонтально, а глушение их производится не пальцами левой руки, а однооктавной фортепианной клавиатурой. Ящик с клавиатурой (глушители) клавиш плотно прилегают к струнам и глушат их. Нажатие пальцами левой руки одной или нескольких клавиш освобождает от демпферов одноименные струны во всех октавах, после чего струны имеют возможность колебаться и звучать. Звуки извлекаются правой рукой медиатором.

Гусли оборудованы педалью, при нажатии которой все демпферы поднимаются и все струны могут звучать одновременно. Это необходимо при исполнении хроматических гамм приемом *глицсандо*. Если снять ящик с клавиатурой или на длительное время

защелкой включить педаль, клавишные гусли можно использовать как щипковые. Диапазон звучания клавишных гуслей — от 5 до 7 октав.

АРФА

Арфа — один из древнейших щипковых музыкальных инструментов. За многовековую историю своего развития арфа превратилась в сложный инструмент, насчитывающий свыше 2000 деталей, изготовленных по высокому классу точности. Современная арфа внешне имеет форму треугольника с изогнутой верхней линией (рис. 22) с вертикально натянутыми 46 струнами, в том числе — 11 металлических и 35 жильных или синтетических.

Выпускает арфы единственная в СССР Ленинградская фабрика им. А. В. Луначарского.

Техническая характеристика арфы, мм:

Высота инструмента	$1805 \pm 7,5$
Глубина инструмента в плоскости струн	$995 \pm 4,5$
Длина корпуса по деке	$1364,5 \pm 1,5$
Ширина корпуса в нижнем основании	420 ± 2
Ширина корпуса в верхнем основании	$88 \pm 1,75$
Выпуклость деки при натяжении струн (расчетная)	16
Длина струн максимальная	1529 ± 2
Длина струн минимальная	69 ± 1

Строй арфы основан на диатонической гамме. Диапазон звуков составляет $6\frac{1}{2}$ октавы, от *ре-бемоль* контроктавы до *соль-диез* четвертой октавы.

Основные детали арфы: корпус, колковая рама, колонна, главный и педальный механизмы, основание и струны.

Рассмотрим конструктивное устройство отдельных частей арфы.

Корпус. Изготавливается двух видов: с декой, постепенно расширяющейся сверху вниз, и с декой, уширенной в нижней части за счет крепления к корпусу двух боковин. Последняя конструкция корпуса придает среднему и басовому регистрам более глубокое звучание, увеличивает силу и продолжительность звучания инструмента.

Корпус состоит из каркаса (рис. 23, в), обечаек (обшивок) 6 (рис. 23, а), деки 1, планки 13 (рис. 23, б) с окнами, боковин (при уширенной деке) и крышки с шайбой.

Каркас представляет собой узел, состоящий из основания и головки, верхних и нижних контробечаек, шпангоутов и двойных угольников. Позднее к собранному каркасу приклеивают обечайки, деку, планку с окнами и при необходимости — боковины.

Основание и головка каркаса изготавливаются из трехслойного переклейного щита древесины клена с взаимно перпендикулярным расположением слоев и служат для крепления к ним верхних и нижних контробечаек. Кроме того, головка каркаса служит опо-

рой для головки колковой рамы, а основание — опорой для основания арфы.

Верхние и нижние контр-обечайки служат для приклеивания к ним обечаек, увеличения площади приклеивания деки и крепления шпангоутов. Верхние контр-обечайки изготовляют из древесины ели, нижние — из клена, бука.

Шпангоуты придают корпусу жесткость, необходимую для того, чтобы большая часть энергии, получаемая декой от щипка струны, расходовалась на звукообразование и меньшая часть — на вредные потери. Четыре шпангоута, устанавливаемые по всей длине каркаса и на равном друг от друга расстоянии, крепятся на клею и шурупах к верхним и нижним контр-обечайкам.

Шпангоуты изготовляют или переклейными из массива древесины клена с различным расположением слоев, или гнутоклееными из лущеного березового шпона по размерам ширины каркаса в месте их установки.

К каркасу приклеиваются правая и левая обечайки, основой является трехслойная клееная фанера, облицованная с наружной и внутренней сторон строганым шпоном красного дерева, ореха, палисандра, лимонного дерева, струйчатого клена и другими ценными породами древесины.

При склеивании обечаек направление волокон наружных слоев облицовочного шпона должно совпадать с направлением длины корпуса, т. е. быть направлено вдоль корпуса, а основы — под углом 30° , т. е. направление волокон наружных слоев клееной фанеры было параллельно струнам.

Боковины служат для увеличения объема корпуса и размеров деки по ширине в средней и нижней частях корпуса. Состоят боковины из дна и бортиков, изготовленных из древесины клена.

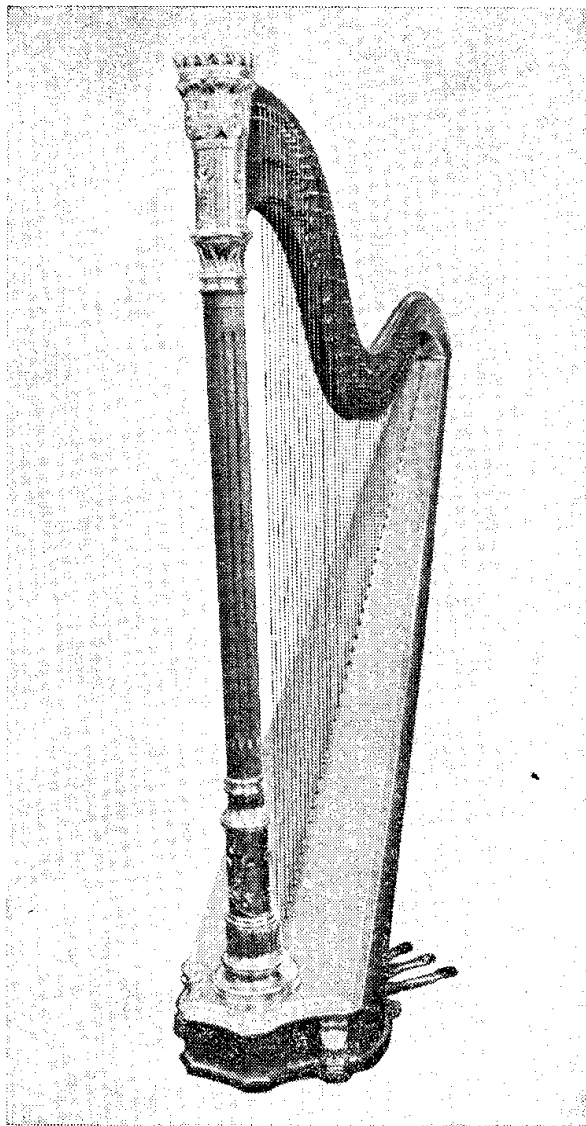


Рис. 22. Арфа

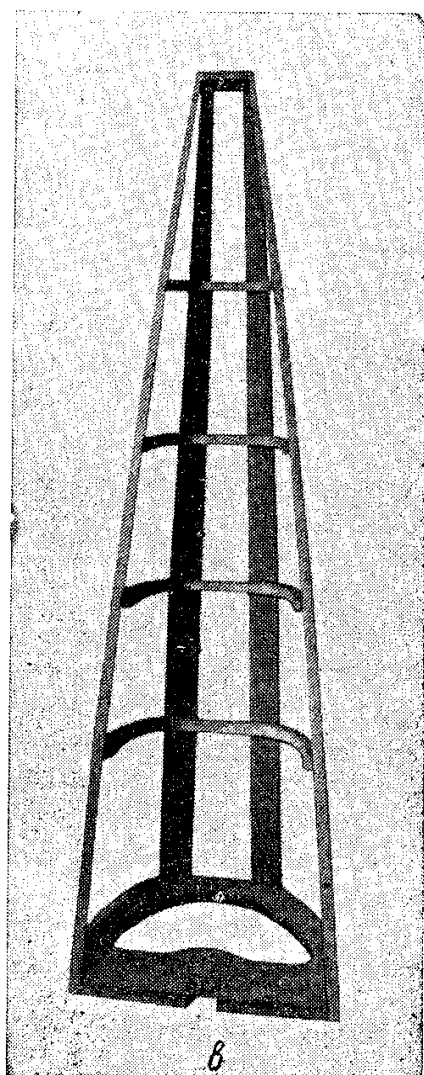
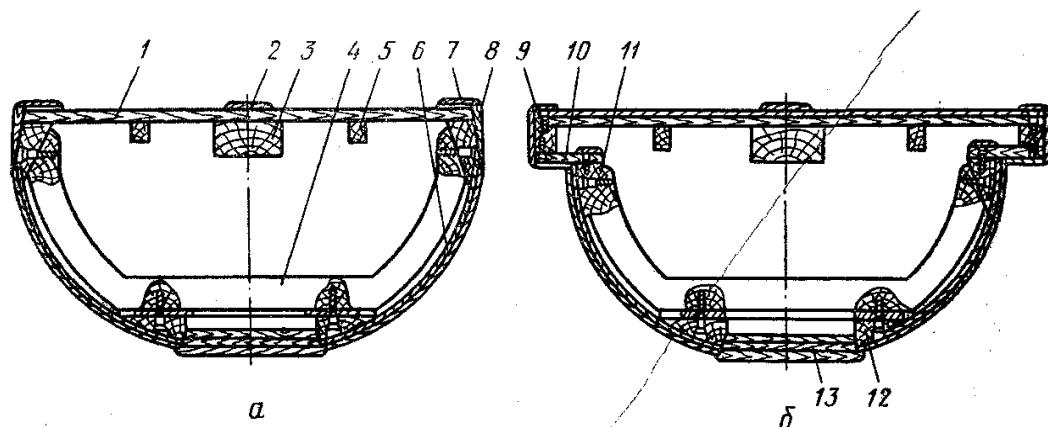


Рис. 23. Корпус арфы:

а — без боковин; *б* — с боковинами; *в* — каркас; 1 — дека; 2 — верхний брус; 3 — нижний брус; 4 — шпангоуты; 5 — пружины; 6 — обечайки; 7 — бортик деки; 8 — бортик корпуса; 9 — бортик боковины; 10 — дно боковины; 11 — контробечайки верхние; 12 — контробечайки нижние; 13 — планка с окнами

Дно склеивается из отдельных дощечек толщиной 6—7 мм, плотно склеенных между собой и облицованных строганым шпоном тех же пород древесины, какими облицованы обечайки. Дно крепится на клею и шурупах к специально сделанному для этой цели вырезу в верхних контробечайках.

К дну на клею и шурупах крепится бортик, к которому приклеивается и укрепляется шурупами уширенная часть деки, соприкасающаяся с боковинами.

Дека представляет собой узел, состоящий из резонансного щита, верхнего и нижнего брусков, двух пружин и набора ограничителей кнопок и опор.

В отличие от других щипковых музыкальных инструментов дека работает в особо сложных условиях.

Если струны, например, у гитар, балалаек, мандолин, домр и других щипковых музыкальных инструментов оказывают сравнительно небольшое давление на дека через подставку, то в арфе струны направлены вертикально и крепятся они непосредственно к деке под довольно большим углом. Своим постоянным суммарным натяжением, которое достигает 100 кН (1000 кгс), струны стремятся вырвать дека из корпуса. Но благодаря тому что дека прочно приклеена и укреплена шурупами к верхним контрбечайкам, она не отрывается, а только выгибается, создавая выпуклость, способствующую увеличению упругости деки и, следовательно, улучшению звучания арфы.

Если у других щипковых музыкальных инструментов выпуклость деки составляет 1,5—2 мм, то выпуклость деки арфы достигает 12—16 мм. Чтобы не нарушать чистоту строя, величину выпуклости деки необходимо учитывать при расчете мензуры арфы.

Конструкция деки должна обеспечить прочность всех ее элементов, надежность работы в условиях эксплуатации, сопротивляемость натяжению струн с величиной выпуклости не более 16 мм.

Основой деки является *резонансный щит*, воспринимающий в основном нагрузку суммарного натяжения струн. Изготавливается щит из отдельных хорошо высушенных и выдержанных дощечек резонансной ели, подобранных по слою, цвету, плотно склеенных между собой и расположенных перпендикулярно оси деки.

Толщина щита переменная: внизу — 8 мм, до 4-й октавы она остается почти неизменной, сверху — 2 мм. Ширина щита внизу 420, сверху — 88 мм.

При изготовлении арфы с боковинами ширину деки увеличивают до 486 мм и вместо однослойной склеивают двухслойную дека: верхний слой с продольным направлением волокон, нижний — с поперечным. Толщина верхнего слоя внизу 2—2,5, сверху — 1 мм.

Толщина поперечного слоя остается такой же, как при однослойной поперечной деке, т. е. внизу 8 и сверху — 2 мм.

Пружины повышают прочность деки и способствуют равномерному распространению звуковых волн по всей деке. Пружины — переменного сечения по толщине и по высоте, расположены они симметрично относительно оси деки.

Внизу они вклеены в гнезда основания каркаса, а сверху не доходят до головки каркаса.

Максимальная высота пружин: 16 мм в районе 5-й октавы, внизу 8 и сверху 3 мм.

Верхний брус деки служит для крепления ограничителей, кнопок и опор, предназначенных в свою очередь для крепления струн в деке.

По осевой линии бруса просверливают сквозные отверстия, проходящие также сквозь деку и нижний брус.

Во избежание смятия стенок отверстий и для получения ясно-го и чистого звучания струны арфы должны не соприкасаться с древесиной, а проходить через втулки или опираться на опоры, укрепленные в отверстиях. Так, басовые струны проходят через латунные втулки, называемые ограничителями, с внутренним диаметром отверстия 3 мм (11 шт.), струны среднего регистра — через ограничители, изготавливаемые из черного дерева с внутренним диаметром отверстия от 1,2 до 2,7 мм (27 шт.), а струны верхнего регистра опираются на 4-миллиметровые опоры с канавками для струн и закрепляются кнопками из черного дерева (8 комплектов).

Размеры верхнего бруса: по ширине — внизу 30, сверху 12 мм; по толщине — внизу 5, сверху 1,5 мм.

Нижний брус, как и верхний, служит для крепления ограничителей, кнопок и опор, но в отличие от верхнего воспринимает незначительную часть суммарного натяжения струн (порядка 10—12%). Изготавливается он из клена толщиной 18—20 мм на участке нижнего и среднего регистров, далее толщина постепенно уменьшается до 3 мм сверху, по ширине — внизу 45, сверху 13 мм. Кромки основания бруса должны быть слегка смягчены.

Дека крепится к корпусу, к верхним контробечайкам на клею и шурупах по всей своей длине с равными расстояниями (40 мм) между шурупами. В арфе с боковинами дека в уширенной части крепится к боковинам, а далее — к контробечайкам. Крепление деки должно быть прочным и надежно противодействовать натяжению струн. Чтобы закрыть головки шурупов, вдоль корпуса с двух сторон приклеиваются бортики из древесины клена толщиной 3—4 мм.

Планка с окнами соединяет правую и левую обечайки с задней стороны корпуса. Пять окон в планке разных размеров являются как бы резонаторными отверстиями корпуса и служат, как и в других щипковых музыкальных инструментах, средством для увеличения силы и продолжительности звучания. Планка с окнами изготавливается из трехслойного щита древесины клена со взаимно перпендикулярным расположением слоев. В окнах по контуру выбирается галтель, которую обычно покрывают сусальным золотом.

Размеры планки: по ширине внизу 108, сверху — 56,5, по толщине — 12 мм.

Крышка с шайбой, соединенная с основанием каркаса с помощью двух двойных угольников, изготавливается из трехслойного щита древесины клена и служит опорой для колонны. Крышку

украшают художественной резьбой с позолотой в соответствии общим архитектурно-художественным оформлением арфы.

Колковая рама. Предназначена для крепления главного механизма и колков для натягивания струн (рис. 24). К колковой раме предъявляются высокие требования главным образом по прочности и формоустойчивости, поскольку она должна не только выдержать суммарное натяжение струн, достигающее 100 кН (1000 кгс), но и «держат» строй инструмента постоянным. Точность строя, кроме того, зависит также от сопротивления древесины колковой рамы проворачиванию колков. Способность древесины оказывать сопротивление проворачиванию колков является одним из положительных свойств, гарантирующих стабильность строя и точность настройки. Если во время исполнения музыкальных произведений струны «не держат» строй, значит, колки проворачиваются и арфистке приходится часто подтягивать и настраивать струны. Это является большим недостатком арфы, и такой инструмент считается некачественным. Для увеличения прочности, устранения коробления и растрескивания, а также уменьшения возможности проворачивания колков колковую раму изготавливают из пяти- или семислойного щита абсолютно здоровой, без каких-либо пороков, древесины клена плотностью не менее 650 кг/м^3 , торцовой твердостью не менее 55 МН/м^2 (550 кгс/см^2) с радиальной распиловкой дощечек для всех слоев. Тангенциальная распиловка древесины не допускается.

Каждый щит склеивают из отдельных хорошо высушенных и выдержанных дощечек, тщательно прифугованных и плотно склеенных между собой. При этом слои двух крайних и двух внутренних щитов располагаются вдоль задней части колковой рамы, наиболее подверженной деформации. Обе пласти колковой рамы

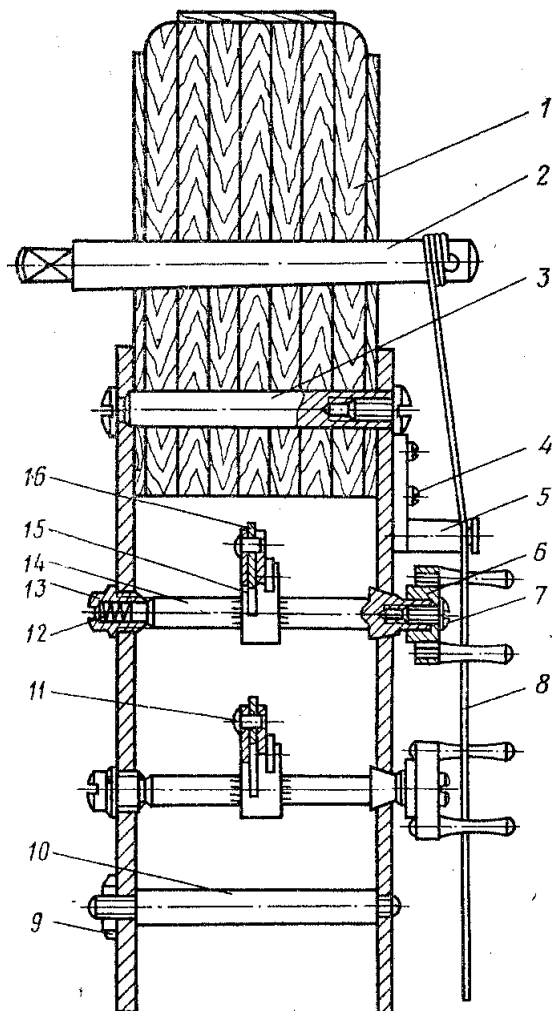


Рис. 24. Колковая рама и главный механизм арфы в разрезе:

1 — рама колковая; 2 — колок; 3 — подвеска; 4 — винт крепления порожка; 5 — порожек; 6 — диск со штырьками; 7 — винт крепления диска; 8 — струны; 9 — гайка; 10 — стяжка; 11 — ось шарнира; 12 — пружина; 13 — винт упора; 14 — ось главного механизма; 15 — шарнир; 16 — тяга

и верхняя кромка облицованы строганым шпоном той же древесины, что и обечайки корпуса. Толщина колковой рамы 38 мм. Это и есть расстояние между щеками главного механизма.

В колковой раме просверливаются отверстия для колков. Места сверления отверстий устанавливают с таким расчетом, чтобы угол излома струны от колка к порожку обеспечил необходимое давление струны на порожек. От усилия, с которым струна прижимается к порожку, зависит чистота звучания струны.

Если у других щипковых музыкальных инструментов угол излома струны у головки и подставки колеблется в пределах $11-18^\circ$, то в арфе этот угол составляет $5-20^\circ$. Меньшие значения углов принимаются для струн басового регистра, где диаметры металлических струн достаточно велики, а большие — для струн среднего и верхнего регистров. Для предотвращения поломок порожков не рекомендуется увеличивать углы излома струн, особенно в басовом регистре.

Колки вставляют в отверстия колковой рамы. Со стороны крепления струн колки должны выступать на такое расстояние, чтобы струны проходили по центру канавки порожков. Для басового регистра это расстояние равно 15, для среднего 12 и для верхнего 10 мм. Со стороны настройки колки должны выступать на одинаковом расстоянии. Достигается это за счет разной длины колков: длина больших колков равна 85 мм (14 шт.), средних 83 мм (18 шт.) и малых 81 мм (14 шт.).

Чтобы колки не проворачивались, сила трения между ними и древесиной должна быть больше силы натяжения струн. Для этого колки делают конусными (1:50), на среднюю часть колка наносят продольные риски.

Передняя часть колковой рамы соединяется с колонной, а задняя часть своей головкой опирается на верхнюю часть корпуса через обручек из латуни.

Головку колковой рамы изготавливают из двух массивных брусков клена, из которых правый соединяют на клею со щитом колковой рамы, а левый — со щитом и правым брусом. Такое соединение многослойного щита с брусками головки является вполне надежным и обеспечивает прочность колковой рамы.

Колонна. Колонна соединяется с колковой рамой и крышкой основания корпуса, образуя третью сторону треугольника. К колонне, как и к колковой раме, предъявляются высокие требования, поскольку она воспринимает нагрузку от натяжения струн и поэтому подвержена продольному изгибу. Исходя из требований прочности, колонна должна изготавливаться из абсолютно здоровой, без всяких пороков, древесины клена, хорошо высушенной и выдержанной.

Среднюю часть колонны склеивают из четырех брусков, вначале по половинкам заболонной частью внутрь, верхнюю и нижнюю части колонны утолщают приклейкой дополнительных брусков. В каждой половинке средней части выбирают канал размером 40×6 мм, который углубляют и уширяют в нижней части; после этого обе половинки склеивают между собой, и тогда канал имеет размер 40×12 мм.

В канал помещают семь латунных трубок наружным диаметром 5 мм (ГОСТ 494—76), внутри которых проходят тяги диаметром 3,5 мм из стали марки Ст 45 (ГОСТ 1051—73), соединяющие главный и pedalный механизмы. Каждая из тяг на одном конце имеет резьбу для соединения с подвеской распределительного механизма, а на другом — резьбу для соединения с наконечником, соединенным с рычагом педали. Каждая тяга имеет свое название: *до*, *ре*, *ми*, *фа*, *соль*, *ля* и *си* — в зависимости от того, какая тяга главного механизма и рычаг педали соединяются между собой.

Трубки припаиваются к двум металлическим пластинам, верхняя из которых закрепляется в верхней части канала.

Движение тяг внутри трубок должно быть свободным от трений, перегибов. Во избежание стуков, призвуков и других шумов во время игры, узел трубок в средней части обертывается капсюльным сукном и закрепляется кордовой ниткой, а канал в нижней уширенной части оклеивается этим сукном.

Колонну украшают художественной резьбой с позолотой в соответствии с общим архитектурно-художественным оформлением арфы.

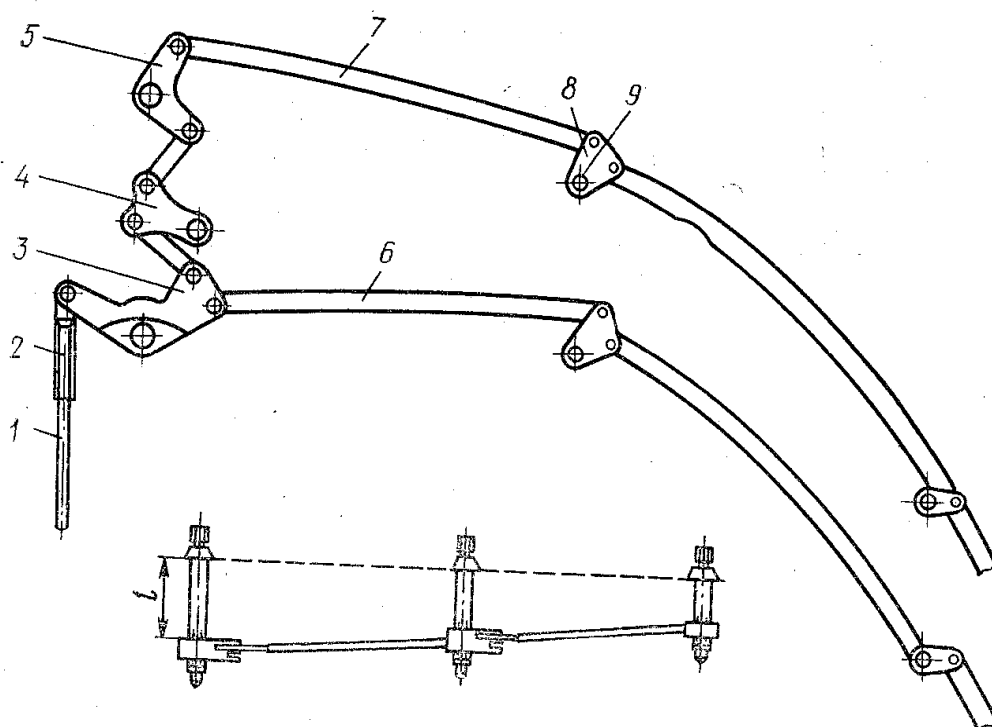


Рис. 25. Узел тяг главного механизма арфы:

1 — тяга; 2 — подвеска; 3—5 — шарниры распределительного механизма; 6 — нижний ряд тяг; 7 — верхний ряд тяг; 8 — шарниры; 9 — ось

Главный механизм. Является одним из наиболее сложных узлов арфы, состоящих из взаимосвязанных узлов тяг (рис. 25), шарниров, осей, дисков, порожков и других деталей, обеспечивающих изменение длины рабочей части струн.

При помощи главного механизма струны по желанию исполнителя можно перестроить из одной тональности в другую. И так как перестройка должна производиться бесшумно, главный механизм должен работать плавно, легко, без посторонних звуков, призвуков, стуков и щелчков, которые совершенно недопустимы. Бесшумная и плавная безотказная работа всех деталей и узлов главного механизма является гарантией длительной эксплуатации арфы. Поэтому к изготовлению деталей и их сборке предъявляются очень высокие требования.

Главный механизм приводится в движение с помощью педалей педального механизма. При нажатии ногой какой-либо педали, например ноты *до*, на 1-ю ступень в положении бекара тяга 1

(см. рис. 25), проходящая в трубке внутри колонны, приводит в движение три шарнира 3—5 распределительного механизма этой же ноты, приводящие в движение верхний ряд тяг, соединенных между собой шарнирами 8, насаженными на ось 9. Все оси ноты *до* всех октав по верхнему ряду при этом поворачиваются на определенный угол. На концы осей насажены вилочки — диски со штырьками, которые, поворачиваясь, зажимают все одноименные

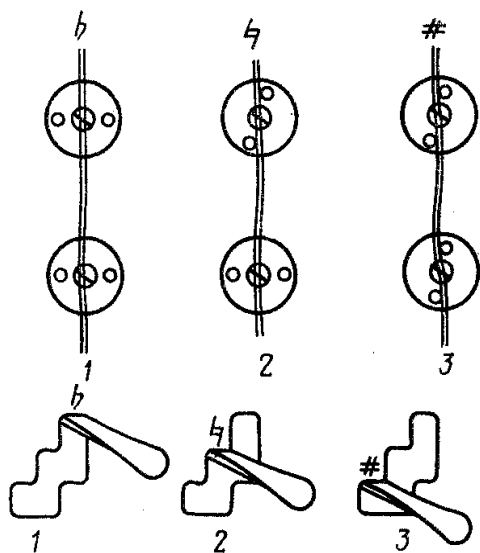


Рис. 26. Три положения струн и педалей:

струны ноты *до*, укорачивая их ровно настолько, сколько нужно для повышения ее звучания на полтона. Если эту же педаль перевести с первой на вторую ступень в положение диэз, шарниры распределительного механизма начнут двигать теперь уже нижний ряд тяг, поворачивая все оси ноты *до* с дисками, зажимая одноименные струны, укорачивая вторично их длину, повышая при этом звучание струн снова на полтона.

Таким образом, трем положениям педалей соответствуют три положения струн (рис. 26):

1 — педали подняты вверх — струны свободны и звучат в бемолях;

1 — на *b* ; 2 — на *B* ; 3 — на *#* ; соответствующие трем положениям педалей:
1 — на *b* , 2 — на *B* (первое нажатие) , 3 — на *#* (второе нажатие).

2 — педали опущены на одну ступень, в положение бекара — струны укорочены верхним рядом дисков, и звучание их повышается на полтона;

3 — педали опущены на вторую ступень, в положение диэза — струны укорочены нижним рядом дисков, и звучание струн повышается снова на полтона.

Рассмотрев принцип действия главного механизма, остановимся на конструктивном устройстве отдельных его деталей и узлов.

Главный механизм состоит из левой, правой и малой щек, распределительного механизма, узлов тяг, шарниров, осей, дисков, порожков, движков, стяжек, винтов упора и крепежных деталей.

Щека левая — плоская латунная деталь толщиной 3 мм, на которой монтируются порожки, движки с порожками, гребенки распределительного механизма, стяжки. В щеке просверлены конусные отверстия для осей главного механизма и отверстия для подвесок и стяжек, соединяющих главный механизм с колковой рамой и с правой щекой. Расстояния между центрами отверстий

для осей как по вертикали, так и по горизонтали, а также расстояния до центра порожков определяют с большой точностью расчетами. Положение дисков со штырьками, укорачивающих длину рабочей части струны, определяет длину мензуры каждой струны и расстояния между ними, правильность строя арфы, удобство игры. Вот почему расстояния между центрами отверстий надо определять очень тщательно и внимательно. Координаты центров отверстий для осей сводят в таблицу.

Щека правая по очертанию аналогична левой, кроме верхней части.

В правой щеке, как и в левой, просверливаются отверстия для осей с теми же координатами центров, но другого диаметра под резьбу для винтов упора.

В верхней части сделан вырез, на месте которого под углом прикреплена малая щека для удобства игры, чтобы приблизить правую руку арфистки к струнам верхнего регистра, где длины рабочей части струны минимальные.

Соединяются правая щека с левой и малой стяжками. Изготавливаются все щеки из листовой латуни толщиной 3 мм.

Распределительный механизм служит для правильности взаимодействия движения верхнего и нижнего рядов тяг главного механизма. При движении верхнего ряда тяг нижний должен оставаться неподвижным, он начинает свое движение лишь в момент зажатия струн вилочкой. При движении нижнего ряда тяг верхний должен оставаться неподвижным. Такое же взаимодействие движения тяг должно соблюдаться и при обратном движении, т. е. при переводе педалей со второй на первую ступень и с первой ступени в верхнее положение.

Распределительный механизм состоит из подвески, трех шарниров (нижнего, среднего и верхнего) и двух тяг. Такое количество деталей предусмотрено для каждого узла тяг. В главном механизме, таким образом, насчитывается семь одинаковых распределительных механизмов (по числу тонов). С помощью подвесок нижние шарниры соединяются с тягами, проходящими внутри колонны и соединенными внизу с рычагами педалей через наконечники.

Для правильности направления движения шарниров, устранения возможности их соприкосновения между собой шарниры движутся в гребенках.

Ось представляет собой круглый стержень, на котором в средней части на заданном расстоянии делают накатку для плотной посадки шарнира. На одном конце ось имеет конус, входящий в конусное отверстие левой щеки и цилиндрическую часть с наружной левой и внутренней резьбой, на которую навинчивается и крепежным винтом закрепляется диск со штырьками. На другом конце ось заканчивается хвостовиком, входящим в гнездо винта упора.

Главный механизм насчитывает 88 осей, связанных с механизмом перестройки. Две струны из 46 (*ре-бемоль* контроктавы и

соль-диез 4-й октавы) в другие тональности не перестраиваются и поэтому с механизмом перестройки не связаны.

Длина осей одинакова на участке между левой и правой щеками и разная на участке малой щеки, поскольку она прикреплена к левой щеке под углом. Изготавливаются оси из стали марки Ст. 45 (ГОСТ 1051—73).

Винты упора заворачивают в правую и малую щеки и служат, во-первых, в качестве подшипников для хвостовиков осей главного механизма и, во-вторых, для устранения возможных люфтов между осью и щекой.

Внутри винтов упора находятся пружина из стальной термически обработанной проволоки диаметром 0,5 мм и набор шайбочек из листовой стали толщиной 0,2—0,3 мм. Пружина оказывает давление на ось, прижимая ее к конусному отверстию левой и малой щек, и устраняет возможность появления люфта.

Если, наоборот, ось оказывает слишком большое давление на отверстие левой щеки, ухудшая работу главного механизма, давление можно ослабить, укоротив пружину, или уменьшить количество шайбочек. Винты упора изготавливаются из латуни марки ЛС-59-1 (ГОСТ 2060—73).

Шарниры служат для передачи движения (поворота) осям главного механизма. Форму шарниров определяют конструктивно на основе кинематики движения тяг. Шарниры изготавливаются из латуни марки Л-63.

Шарниры закреплены на осях на строго определенном расстоянии l от конуса оси. Причем для разных узлов тяг эти расстояния различны. Так, для узла тяг *C* оно равно 5,9 мм, а на участке малой щеки — от 5,5 до 2,5 мм; для узла тяг *D* на всей длине оно равно 0,3 мм; для узла тяг *E* — 10,6 мм, а на участке малой щеки — от 7,9 до 4,7 мм; для узла тяг *A* оно составляет 31,4 мм и от 25,2 до 16,6 мм и т.д. Эти расстояния определяются и устанавливаются с таким расчетом, чтобы соседние шарниры и тяги не соприкасались между собой при движении во время игры. Если они будут соприкасаться, появятся «щелчки», стук, призвуки. В этом случае механизм надо перебрать заново, чтобы шарниры не соприкасались между собой. На ось шарниры насаживаются с тугой посадкой, для чего в месте посадки шарнира производят накатку оси.

Узлы тяги главного механизма с помощью шарниров соединяют между собой оси одноименных нот всех октав (см. рис. 25), поэтому и укорачиваются одновременно длины рабочей части струн одной ноты во всех октавах.

Самое, пожалуй, важное в конструкции тяг — это точное определение их конфигурации. Неправильная конфигурация тяг неизбежно повлечет за собой «щелчки» и стуки при их движении. Как уже говорилось выше, главный механизм должен работать плавно, мягко, без каких-либо призвуков, только в этом случае он будет служить долго и надежно. Поэтому тяги должны изготавливаться строго по шаблону, а отверстия для соединения их с шарнирами сверлиться по кондуктору.

Узлов тяг в главном механизме насчитывается семь — по числу тонов основного звукоряда. Каждый узел тяг называется нотой, струны которой укорачиваются данным узлом.

Все узлы тяг главного механизма располагаются в определенном порядке. Если считать от левой щеки, то они располагаются в такой последовательности:

ре, до, ми, си, фа, соль и ля. Изготавливают тяги из стальной проволоки «серебрянка» (ГОСТ 14955—77) диаметром 3,9; 2,8 и 2,35 мм. С целью упрочения тяг проволоку прокатывают и получают нагартованные полосы с высокой степенью чистоты поверхности и закругленными кромками. После прокатки получают полосы с точными размерами по сечению соответственно: для басового регистра шириной 6 и толщиной 2 мм, среднего регистра — 4 и 1,5 мм и для верхнего регистра — 4 и 1 мм.

Диски служат для непосредственного укорочения струн с помощью штырьков при перестройке струн из одной тональности в другую.

В диски заворачиваются или запрессовываются с расклепкой штырьки, которые зажимают, вернее, перегибают струну. И так как для перегиба струны, особенно в басовом и среднем регистрах, требуется достаточно большое усилие, штырьки должны быть достаточно прочными, чтобы не изогнуться.

Размеры и конфигурацию дисков определяют расчетом; зависят они от места установки. Для струн басового регистра применяются фигурные диски с прямыми стальными штырьками. Во избежание появления призвуков в момент прикосновения обвивки струн на стальные штырьки надеваются трубки из эбонита марки Б (ГОСТ 2748—77). Для струн среднего и верхнего регистров применяются круглые диски с латунными штырьками, имеющие вогнутость. Струны зажимаются штырьками посередине. Диски верхнего регистра имеют один штырек.

На оси диски с левой резьбой навинчивают против часовой стрелки. Поэтому при зажатии струн происходит самозавинчивание дисков, а не отвинчивание. Кроме того, диски дополнительно крепятся винтами. Диски изготавливаются из латуни ЛС-59-1 (ГОСТ 2060—73).

Порожки ограничивают длину рабочей части струны в свободном (бемольном) положении. Большие порожки заворачиваются прямо в левую щеку и регулируются лишь по высоте латунными шайбами того же диаметра, что и порожек. Большие порожки устанавливаются для струн больших диаметров — D_1 —С, а порожки с движком — для всех остальных струн. В среднем регистре порожки ввинчиваются в движки, а в верхнем — запрессовываются с расклепкой. Движки крепятся к левой щеке двумя винтами. Изменение расстояний до дисков производят, ослабив винты, установив в нужное положение движки; затем винты снова закрепляют.

Педальный механизм. Перестройку струн арфы из одной тональности в другую производят с помощью педального механизма, приводящего в действие узлы тяг главного механизма через тяги колонны.

Педальный механизм 7 (рис. 27) состоит из семи узлов педаль, расположенных в определенном порядке (слева 4 педали — А, G, F и E и справа 3 педали — H, C и D) двух оснований 1 и 8 рычагов, пружин 4 и 5 и стоек 6.

Узел педали состоит из рычага 3 (рис. 28), педали 6 и винта, соединяющего рычаг с основанием рычагов. Рычаги двигаются в вырезах основания арфы, а для уменьшения стуков при их движении во время игры рычаги в местах вырезов оклеены замшей.

Педали могут занимать три положения: бемоль, бекар и диез. Рычаги соединяются с тягами, проходящими внутри колонны и соединенными с распределительными механизмами. Изготавливают рычаги из стального прокатанного прутка диаметром 12 мм (ГОСТ 1414—75).

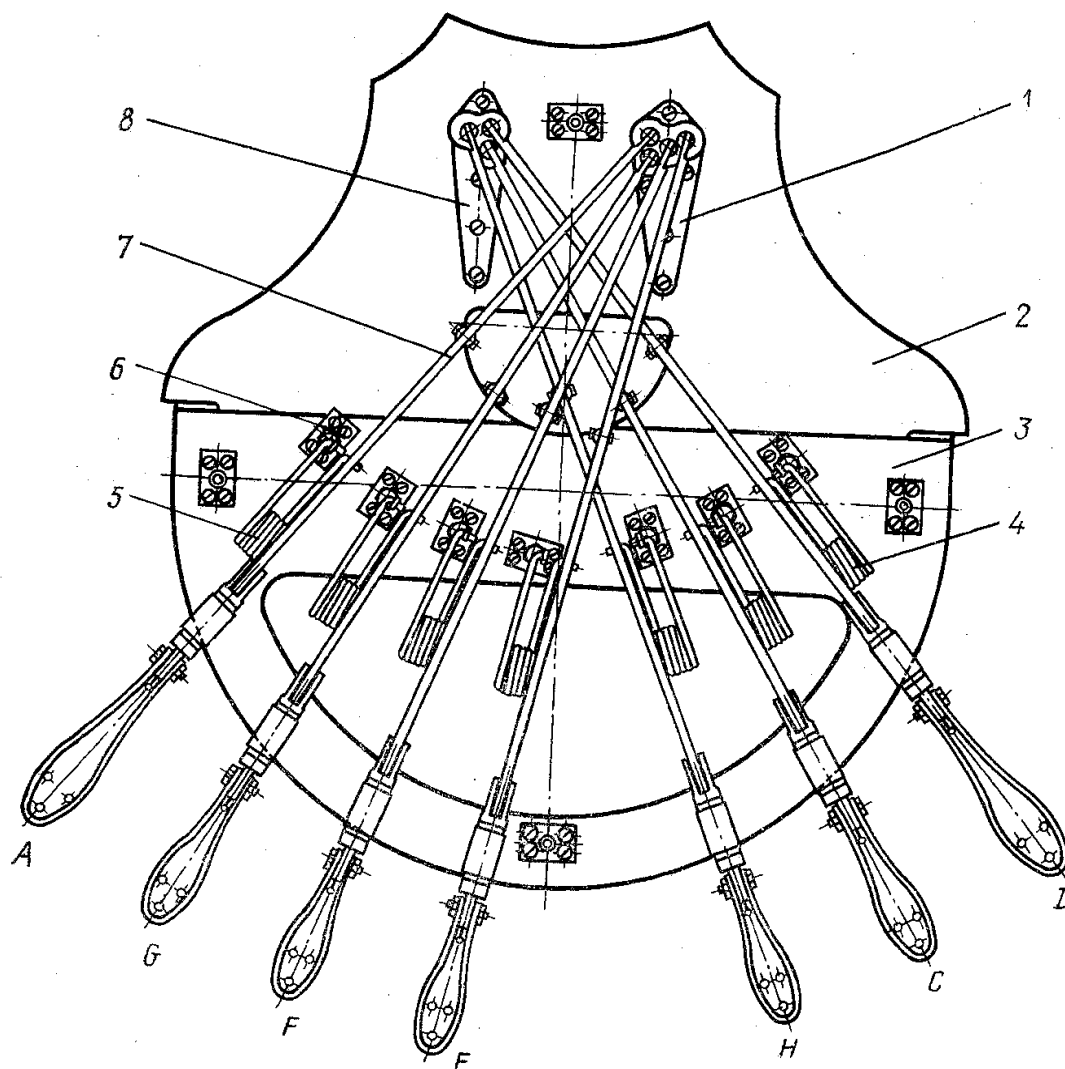


Рис. 27. Педальный механизм арфы (вид снизу):

1 и 8 — основания рычагов (левое и правое); 2 — крышка корпуса; 3 — основание корпуса; 4 и 5 — пружины (левая и правая); 6 — стойки с основанием; 7 — узел педали

Педали соединяются с рычагом болтом 5. На концы педалей надеваются наконечники или прикрепляются накладки из резины, чтобы ноги арфистки не соскальзывали с педалей во время перестройки арфы.

Педали изготавливаются из латуни марки Л-63 (ГОСТ 931—70). Основания рычагов. Крепят рычаги педалей к внутренней стороне крышки корпуса арфы. Оба основания различаются друг от друга по высоте и количеству отверстий: левое основание выше, в нем четыре отверстия, а правое, более низкое, имеет три

отверстия. Изготавливаются основания рычагов литьем из алюминия марки АЛ-4 (ГОСТ 2685—75).

Пружины возвращают рычаги педалей из нижнего положения в верхнее при перестройке струн арфы из одной тональности в другую — диезы — в бекары, бемоли или бекары — в бемоли. Усилия, прилагаемые при этом арфисткой, переводящей педали с одной ступени на другую, в значительной мере зависят от силы пружин, но они не должны превышать 60—80 Н (6—8 кгс). С другой стороны, сила пружин должна быть больше сопротивления всех трущихся деталей, чтобы вернуть диски со штырьками в исходное (бекарное или бемольное) положение. Поэтому изготовление пружин и их термообработку следует поручать рабочим с высокой квалификацией. Концы пружин отогнуты. Один конец соединяется с рычагом педали, другой — со стойкой, прикрепленной к основанию корпуса. Чтобы витки пружин не издавали призвуков при движении рычагов во время перестройки струн, середина пружин наполняется войлоком техническим молоточковым (ГОСТ 7175—75).

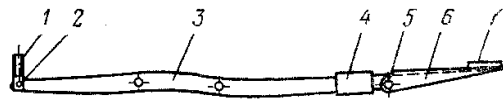


Рис. 28. Узел педали:

1 — винт основания рычагов; 2 — ось рычага; 3 — рычаг; 4 — намотка; 5 — болт рычага; 6 — педаль; 7 — накладка

Пружины изготавливаются из стальной проволоки диаметром 3 мм (ГОСТ 1071—67).

Основание арфы. Представляет собой корпус из передней и задней стенок, к которым прикрепляется дно. Корпус основания склеивают из двух частей: передней и задней из лущеного березового шпона, облицованного с двух сторон строганым шпоном той же породы древесины, что и обечайки корпуса арфы.

В задней части сделаны ступенчатые вырезы, в которых движутся рычаги педалей. Форма вырезов имеет важное значение при перестройке арфы: при фиксировании тонов в бекарном или диезном положении рычаги педалей не должны соскакивать со ступеней, а при возвращении педалей в верхнее положение — легко сниматься. Высота ступеней определяется разворотом дисков для зажатия струн при их перестройке.

Дно основания имеет ту же конфигурацию, что и корпус, но несколько выступает (на 10—12 мм), изготавливается из трехслойного щита древесины бука или клена. К дну прикрепляются два передних и два задних основания с ножками, оформленные художественной резьбой с позолотой. Для легкости передвижения арфы в передних ножках имеются ролики, а в задних — специальные подковки с резиной, предотвращающие скольжение арфы во время игры.

Основание арфы соединяется с корпусом четырьмя болтами.

Струны. Источником звучания арфы служат струны, прикрепленные одним концом к деке через ограничители отверстий и опоры, а другим — к колкам колковой рамы. Всего струн в арфе—46,

в том числе 11 металлических и 35 жильных или нейлоновых. Из одной тональности в другую струны перестраивают нажатием соответствующей педали. Для ориентировки во время игры все струны *до* окрашены в красный цвет, а струны *фа* — в синий.

КОЛКОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Для закрепления и натягивания струн при настройке щипковых музыкальных инструментов — гитар, балалаек, домр, мандолин — предназначены колковые механизмы.

Конструкция колковых механизмов основана на работе самотормозящей червячной пары, т. е. с передачей вращения только в одном направлении — от червяка к шестеренке.

Колковые механизмы должны обеспечить плавную и точную настройку музыкальных инструментов, держание постоянного строя во время игры.

Несмотря на разнообразие конструкций, колковые механизмы состоят в основном из одних и тех же деталей: планок, червяков с барашками, колонок, шестеренок и стоек.

Планка является основанием, к которому крепятся стойки или на котором монтируются детали колковых механизмов, если планка изготовлена вместе со стойками как одна деталь. В зависимости от назначения колковых механизмов на планке монтируют от одного до шести колков. Поэтому планки отличаются между собой габаритными размерами. Для улучшения внешнего вида на планку наносят рисунок.

Червяк передает вращение шестеренке (червячному колесу), соединенной с колонкой. Наружная поверхность червяка может быть цилиндрической или глобоидальной, т. е. телом вращения с образующей по дуге окружности, радиус которой равен радиусу шестеренки. Червяк вращается в двух стойках.

Для гитар и мандолин червяки одинаковые, имеют одни и те же размеры, для балалаек — отличаются размерами по длине, для оркестровых инструментов — отличаются и по длине, и по диаметру.

Колонка служит для закрепления струны. Один ее конец заканчивается хвостовиком для насадки шестеренки, другой — прямой или закругленный. Для закрепления струны в колонке просверливают отверстие диаметром 2,7 мм. Колонки отличаются между собой размерами и положением центра отверстия под струны.

Стойки служат для крепления червяка к планке и в качестве подшипников для червяка. Стойки могут быть изготовлены как самостоятельные детали либо вместе с планкой. Стойки в качестве детали для колковых механизмов оркестровых инструментов различаются размерами.

Шестеренка передает вращение от червяка к колонке. Насаживается она на хвостовик колонки с напряженной посадкой, с последующей расклепкой хвостовика или свободно — с последую-

щим закреплением винтом или изготавливается литьем как одна деталь вместе с колонкой.

Барашек служит для вращения червяка. Размеры барашков определяют в зависимости от разновидности музыкального инструмента. Например, для шестиструнной гитары размер барашков больше, чем для семиструнной; для мандолин и балалаек размеры одинаковые, для оркестровых инструментов — увеличенные.

На фабрике им. А. В. Луначарского внедрены колковые механизмы, у которых шестеренка и колонка являются одной деталью, изготавливаемой литьем из сплава ЦАМ4-1 (ГОСТ 19424—74). Подшипниками для червяков служат стойки-колпачки, являющиеся одновременно опорой для шестеренки и частично закрывающие ее, отчего колковые механизмы и называются *полузакрытыми*. Крепятся стойки-колпачки к планке четырьмя ножками, которые загибают с обратной стороны планки. Механизмы полузакрытого типа внедрены и на других предприятиях, выпускающих гитары.

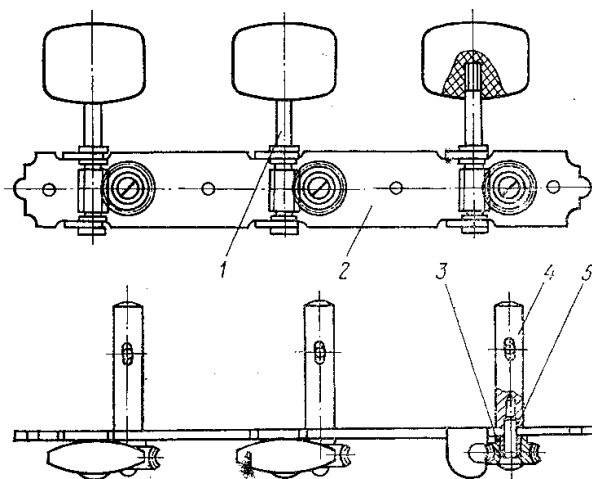


Рис. 29. Колковые механизмы:

1 — червяк с барашком; 2 — планка; 3 — колесо червячное; 4 — колонка; 5 — винт крепления

Внедрена *разборная* конструкция колковых механизмов, у которых шестеренка свободно насаживается на хвостовик колонки и закрепляется винтом. Червяк, на барабане которого сделаны две выточки, свободно входит в стойки, изготовленные вместе с планкой, благодаря чему сводится к минимуму «мертвый» ход червяка и обеспечивается плавное зацепление.

Колковые механизмы разборного типа являются наиболее совершенной конструкцией, надежны в эксплуатации, имеют красивый внешний вид. Высококачественные гитары, а также гитары, домры, балалайки, изготовленные по индивидуальным заказам, оборудуются разборными колковыми механизмами (рис. 29). Для гитар с синтетическими струнами колонки колковых механизмов изготавливают с пластмассовыми втулками диаметром 10 мм, что увеличивает срок эксплуатации струн и способствует более быстрой настройке инструмента.

Детали колковых механизмов изготавливают из следующих материалов:

планки — из стальной никелированной ленты холодного проката толщиной 1—1,2 мм, а для домры-бас и балалаек-бас и -контрабас—2 мм (ГОСТ 503—71); стойки, изготавливаемые как самостоятельные детали — из этой же ленты, но толщиной 1,8—2 мм, а стойки-колпачки — из ленты толщиной 1 мм;

шестеренки — из латунного прутка марки ЛС-59-1 (ГОСТ 2060—73), вместе с колонной из сплава ЦАМ4-1 (ГОСТ 19424—74);

червяки — из стального прутка диаметром 3,5 мм (ГОСТ 499—70) с последующей высадкой и накаткой резьбы и 6—8 миллиметровые с нарезанием резьбы, из латунного прутка марки ЛС-59-1 (ГОСТ 2060—73) диаметром 6—6,5 мм;

колонки — из стали калиброванной марки СГ 10 (ГОСТ 1054—74), из стали «серебрянка» (ГОСТ 14955—77), из латунного прутка ЛС-59-1 (ГОСТ 2060—73);

барашки — из пластмасс, сополимера или полистирола, а также металлические.

В зависимости от назначения и конструктивных особенностей колковые механизмы по видам разделяются на гитарные, мандолинные, балалаечные и оркестровые. Кроме того, гитарные и мандолинные колковые механизмы подразделяются на правые и левые.

По количеству колков — на двух-, трех-, четырех- и шестиколковые с взаимно перпендикулярным расположением червяков и планки.

Этими колковыми механизмами оборудуются гитары, шести-, семи- и двенадцатиструнные, домры четырехструнные, мандолины.

Трехколковое расположение червяков под углом к планке имеют балалайки и домры трехструнные.

Для крепления колковых механизмов к головке грифа в планке просверливают отверстия под шурупы, с помощью которых закрепляют механизмы.

Колковые механизмы, вкладываемые в специально выбранные гнезда головки грифа и закрываемые затем металлической или пластмассовой крышкой, носят название *закрытых* колковых механизмов. Укрепляются они в гнездах с помощью деревянных сухариков. Ими чаще всего оборудуются домры и балалайки повышенного качества, оркестровые инструменты.

СТРУНЫ

Работа струн

Колебания струн. Качество звучания щипковых музыкальных инструментов во многом зависит от условий работы струн, от их колебаний.

Струна закрепляется обоими концами: в струнодержателе, гитарной подставке — струнодержателе и колонке колкового механизма. Под действием удара и щипка струна приходит в колебательное движение, сущность которого заключается в том, что в натянутой струне появляются внутренние усилия, стремящиеся вернуть струну в нейтральное положение, как только прекратится действие силы оттягивания. Двигаясь обратно, струна приобретает достаточную скорость, продолжает двигаться по инерции и переходит нейтральную линию. При этом в струне вновь возникают усилия, которые возвращают ее в исходное положение. Так повторяется до тех пор, пока не израсходуется энергия, полученная струной при щипке или ударе. Энергия расходуется постепенно, вследствие чего амплитуда колебаний струны, т. е. максимальное удаление струны от среднего положения, также уменьшается постепенно до нуля. Характерно, что с уменьшением амплитуды колебаний струны частота их остается неизменной, высота звука не меняется.

Исходя из основных требований к звучанию инструмента по признакам негармоничности, длительности звучания, устойчивости частоты колебаний, скорость распространения колебаний в

струнах должна быть максимальной и зависит она от длины струны и частоты колебаний.

Эта зависимость выражается формулой $C = 2lf$, где l — длина струны, м; f — частота колебаний струны, Гц.

С другой стороны, скорость распространения колебаний зависит также от плотности материала струны и напряжения в струне:

$$C = \sqrt{\sigma/\rho},$$

где σ — напряжение в струне, МПа; ρ — плотность материала струны, кг/м³.

Сравнивая оба выражения, можно сделать вывод, что с увеличением длины струны и напряжения в струнах увеличивается скорость распространения в них колебаний и соответственно улучшается звучание инструмента.

Форма колебаний. Формы движения колеблющейся струны всегда сложны и зависят не только от параметров и материала струны, но и от способа возбуждения колебаний, и места приложения силы. Колебания струны могут быть простыми и сложными. Натянутая струна после приложения силы отклоняется целиком с максимальной амплитудой (пучностью) посередине и нулевыми смещениями (узлами) по концам. Струна колеблется целиком с основной частотой, т. е. с частотой, соответствующей ее полной длине (рис. 30, а). В этом случае слышится тон определенной частоты — основной тон.

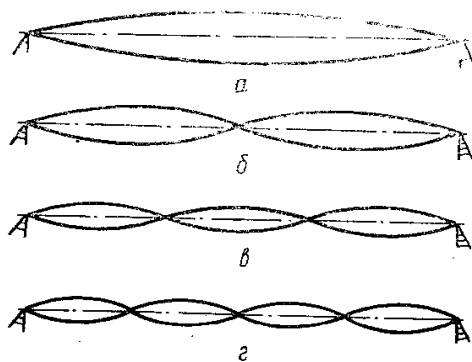


Рис. 30. Формы колебаний струны:

а — целиком с основной частотой;
б—г — отдельными частями

Кроме того, струна колеблется отдельными частями, будучи как бы разделенной на два, три, четыре и т. д. отрезка, ограниченных неподвижными точками — узлами (рис. 30, б, в и г). Эти отрезки колеблются со своими частотами, превышающими основную частоту во столько раз, во сколько длина отрезка меньше длины всей струны, т. е. ее рабочей части. Половинка отрезка производит звук с частотой вдвое большей, чем основная частота, третьи части — втрое большей, четвертые части — вчетверо и т. д. В результате одновременных таких колебаний и возникает звук сложного состава.

Поэтому мы слышим не только основной тон, но и дополнительные, наиболее слабые, тоны от деления струны на отрезки или части, называемые обертонами. Самую низкую частоту имеет основной тон, за ним следует ближайший по частоте первый обертон, далее второй и т. д. Если обертоны имеют кратные частоты, например, 100, 200, 300, 400 и т. д. Гц, т. е. могут соотноситься между собой как целые числа 1:2:3:4 и т. д., они называются гармоническими, или гармониками.

Высота звука. Высота звука зависит от частоты колебаний струны: чем больше частота, тем выше звук, и, наоборот, чем меньше частота, тем ниже звук. Частота колебаний струны определяется формулой

$$f = 1/2l\sqrt{P/m}, \quad (1)$$

где f — частота колебаний струны, Гц; l — длина рабочей части струны, м; P — натяжение струны, Н; m — масса 1 пог. м струны, кг/м.

Так как струны представляют собой цилиндрическое тело, то их массу на 1 пог. м можно определить по формуле

$$m = \pi d^2 \rho / 4g,$$

где d — диаметр струны, м; ρ — плотность материала струны, кг/м³; g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с².

Подставляя значение m в формулу (1), получим

$$f = 1/ld\sqrt{Pg/\pi\rho}. \quad (2)$$

Другими словами, частота колебаний струны и, следовательно, высота звука возрастают с увеличением натяжения струны и уменьшением ее длины, диаметра и плотности материала.

И, действительно, более толстая струна при одинаковом натяжении издает более низкий звук. Если струну натянуть сильнее, т. е. увеличить значение P , она издает более высокий звук. При одинаковом натяжении и одинаковом диаметре жильные или синтетические струны (капроновая, нейлоновая) издают более высокий звук, чем стальные, поскольку их плотность меньше плотности стали (соответственно 1360, 1150 и 7900 кг/м³). Более короткая струна при одинаковых других параметрах издает более высокий звук.

Сила звука. Сила звучания инструмента со стороны струн находится в прямой зависимости от их натяжения, длины и диаметра: чем они больше, тем сильнее звучит инструмент. Гитары с большей длиной мензуры, например 650 мм, а следовательно, и с большим натяжением струн, звучат сильнее гитар, у которых длина мензуры меньше, например 610 мм.

Чистота звука. Чистота звука является важным качеством звучания инструмента. При нажатии струны пальцами у ладовых пластин на грифе она перегибается, отклоняется от прямой линии и незначительно удлиняется. В результате появляется дополнительное натяжение, вследствие чего частота колебаний струны увеличивается и, как следствие, тон слегка повышается, инструмент расстраивается. Это же явление наблюдается и в арфе, когда поворотом вилок перегибают струну, отклоняя ее от прямой линии с некоторым удлинением.

Появляется дополнительное к первоначальному натяжение струны, и тон повышается. Как видим, струна в этих случаях издает звук не одной постоянной высоты, а меняющийся.

Для подсчета величины дополнительного натяжения струны на Московской экспериментальной фабрике музыкальных инструментов была выведена формула

$$\Delta P = S(E + \sigma) \frac{\Delta l}{l}, \quad (3)$$

где S — площадь поперечного сечения струны, мм²; E — модуль упругости керна струны, МПа; σ — напряжение в струне, МПа; Δl — удлинение струны, см; l — длина струны до ее перегиба, см (включая и часть струны от порошка до колонки колкового механизма).

Изменение частоты колебаний струны в связи с дополнительным натяжением выражается соотношением

$$\Delta f = k \frac{E}{\sigma}, \quad (4)$$

где k — коэффициент пропорциональности; E — модуль упругости, МПа; σ — напряжение в струне в состоянии покоя, МПа.

Как видно из формулы (4), изменение частоты колебаний будет меньше у струн с большим напряжением и с меньшим модулем упругости. У гитар или балалаек, оборудованных жильными или синтетическими струнами, модуль упругости которых по сравнению с металлическими почти в 6 раз меньше, дополнительное натяжение настолько мало, что частота их практически не меняется. Такой же вывод можно сделать и по жильным или нейлоновым струнам арфы. Соотношение дополнительного натяжения к первоначальному колеблется от 0,5 до 0,02%, а абсолютные значения дополнительного натяжения — от 50 до 1 г. Возникающая за счет такого малого дополнительного натяжения расстройка инструмента оказывается меньше допустимой на частотах этих струн.

Поэтому для струн жильных и из синтетических материалов никакого удлинения рабочей части струны не требуется для компенсации расстройки.

Иначе обстоит дело с инструментами, оборудованными металлическими струнами. Дополнительное натяжение здесь сильно возрастает, и с ним приходится считаться. Например, у арфы отношение дополнительного натяжения к первоначальному металлических струн колеблется от 3,5 до 0,1%, а абсолютные значения дополнительного натяжения — от 1,5 кг до 20 г. Учитывая, что человеческое ухо ощущает изменение частоты гармоник в пределах 0,6—0,8%, то повышение тона и расстройку инструмента, полученные в результате дополнительного натяжения металлических струн, следует нейтрализовать. Чтобы уменьшить влияние дополнительного натяжения и связанное с ним повышение тона у гитар, балалаек, домр, мандолин, оборудованных металлическими струнами, длину рабочей части струн увеличивают, смещая подставку на 2,5—3 мм. На гитарной подставке пластину, ограничивающую длину рабочей части струны, можно установить наискосок, чтобы увеличилась длина рабочей части басовых струн. Ви-

лочки басовых струн в арфе приходится смещать против расчетного, увеличивая длину рабочей части струны.

Тембр звука. Тембр звука (окраска) зависит не только от формы и размеров инструмента, материалов, из которых он изготовлен, но и от состава звука, т. е. от наличия обертонов, сопутствующих основному тону. Колебания основного тона струны соединяются с другими гармониками, образуя спектр звука, обогащая окраску тембра. Чем больше обертонов содержится в спектре звука, тем звук полнее, художественнее, приятнее для слуха. Например, первые 5—6 гармоник придают звуку полный, сочный, глубокий тембр. Это наблюдается в басовых струнах. Звук, у которого сильно выражены высокие обертоны, попадающие в область частот выше 3000 Гц, характеризуется как резкий, яркий. В образовании тембра низких звуков участвует до 20 и более обертонов (гармоник), средних — 8—10, высоких — лишь 2—3.

Большое значение для тембра имеет также место возбуждения струны. Если место щипка струны совпадает с узлом какой-либо гармоники, такая гармоника не будет возбуждаться. Так, при щипке струны на середине ее длины гармоники четных номеров (вторая, четвертая, шестая и т. д.) отсутствуют, так как их узлы совпадают с местом щипка струны. А эти гармоники являются самыми сильными и яркими, и их отсутствие обедняет звук, лишая его красок.

Перемещая место щипка струны на $\frac{1}{3}$ ее длины (близко к резонаторному отверстию), мы исключаем уже нечетные гармоники, кратные трем (третью, шестую, девятую и т. д.). Состав спектра получается богаче. Можно сделать следующий вывод: более слышны те гармоники, пучности которых (максимальная амплитуда колебаний) совпадают с местом щипка струны; менее слышны гармоники, узлы которых близко расположены к месту щипка, и вовсе отсутствуют гармоники, узлы которых совпадают с местом щипка.

Если извлекать звук у резонаторного отверстия, мы получим звук сильный, яркий и сочный. Если извлекать звук выше резонаторного отверстия, например над грифом, звук будет более слабым. Если, наоборот, извлекать звук у самой подставки, он получится коротким и тупым.

Если легко прикоснуться пальцами к открытой струне в месте деления ее на отрезки ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ и т. д. ее длины) и легко зашипнуть струну, то возникает легкий звук, называемый флажолетом. Флажолет чаще всего применяется при исполнении музыкальных произведений на арфе, гитаре, балалайке, домре.

Физико-механические свойства струны

Металлические струны для щипковых музыкальных инструментов изготавливают из стальной струнной проволоки (ГОСТ 15598—70) с пределом прочности $2,6 \cdot 10^3$ МПа (260 кгс/мм^2) — для керна, проволоки латунной марки Л-63

(ГОСТ 1066—75) диаметром 0,12—0,6 мм, проволоки медной круглой электротехнической марки ММ (ГОСТ 2112—71) диаметром 0,7—1 мм, проволоки из серебра и его сплавов (ГОСТ 2179—75). В качестве прокладки между керном и навивкой применяют шелк натуральный № 529 или 391 (ГОСТ 1086—74) или синтетический № 300 (ГОСТ 7054—76).

Учитывая, что напряжения в струнах достаточно велики и достигают величин порядка $2 \cdot 10^3$ МПа (200 кгс/мм² и более), а запас прочности сравнительно невелик, следует опасаться перетяжки струн во время настройки.

Жильные струны изготовляют из тонких полос, нарезанных из бараньих кишок, которые подвергают химической обработке, скручиванию и шлифованию по специальной технологии. По сравнению с металлическими жильные струны, обладающие малой упругостью, дают менее яркий, но более мягкий звук. Струны должны обладать высокой для этого материала прочностью.

Предел прочности жильных струн должен быть не менее: 350 МПа для струн диаметром от 0,5 до 0,7 мм; 300 — от 0,7 до 0,9 мм; 250 — от 0,9 до 1,2 мм; 200 — от 1,2 до 1,6 мм; 150 — от 1,6 до 2,2 мм.

Плотность жильных струн колеблется в пределах 1290—1360 кг/м³, удлинение 15—28% при незначительных изменениях диаметра.

Струны по всей длине должны иметь гладкую и шлифованную поверхность прозрачного светло-желтого цвета, правильную цилиндрическую форму и одинаковую плотность.

При сдавливании струны не должны ломаться и менять цвет. Струна должна сохранять свою упругость: при сжатии свернутая в кольцо струна должна легко вернуться в исходное положение.

Струны синтетические — из капроновой лески, моноволокна с навивкой получили очень широкое распространение благодаря своим высоким игровым, звуковым и физико-механическим свойствам. Предел прочности синтетических струн составляет 300—400 МПа (30—40 кгс/мм²), удлинение при разрыве 21—23%, плотность 1100—1150 кг/м³.

Гладкие струны — это чисто стальная проволока, имеющая на одном конце петлю или шарик для ее крепления на инструменте. Гладкой струной может быть также жильная или синтетическая, капроновая или нейлоновая, леска в виде отрезка, равного длине струны или с петлей на конце.

Обвитые струны применяют для получения звуков низких частот при ограниченной длине струн, обеспечивая при этом их гибкость и необходимое натяжение.

Обвитые струны состоят из основы, называемой керном, и навивки. Керном для металлических струн служит стальная струнная проволока, а для синтетических струн — моноволокно анид или нить капроновая Т-29 текс для корда по МРТУ 6-06-245—69.

В качестве обвивки применяют латунную, посеребренную или

красно-медную проволоку. Исследованиями установлено, что для навивки лучше всего применять латунную проволоку, так как длительность звучания струн с латунной навивкой увеличивается на 20—25 %.

Для плотного прилегания навивки к керну и предотвращения скольжения между керном и навивкой прокладывают определенное количество нитей (10—12 сложений) из шелка натурального № 529 или 391 (ГОСТ 1086—74) или шелка капронового № 300 (ГОСТ 7054—76). Наличие большого количества шелка увеличивает жесткость струны и уменьшает длительность ее звучания.

Для электрогитары-бас четырехструнной, длина мензуры которой достигает 800 мм, с достаточно большим натяжением струн применяются струны, у которых на керн навивают вначале промежуточный слой (1,2 или 3) проволоки медной круглой электротехнической марки ММ (ГОСТ 2112—79), а затем навивают плоскую стальную ленту. Этим достигается гибкость струны, необходимое натяжение и возможность выполнения музыкантом плавного глиссандо. В обвитых струнах желательно брать диаметр керна возможно меньшим, насколько позволяет запас прочности. Чем меньше диаметр керна, тем больше его напряжение, тем более гармонично будет звучать струна. Увеличивать натяжение струн и, следовательно, напряжение в них следует не за счет увеличения диаметра керна, а за счет увеличения диаметра навивки, сохраняя при этом удобство игры, чтобы не больно было пальцам при нажатии струн. В этом случае жесткость струны, ее негармоничность будут возрастать значительно медленнее, чем при увеличении диаметра керна.

Основные требования к струнной проволоке:

сечение струнной проволоки должно иметь совершенно круглую форму. Наличие овальности формы сечения струны влечет за собой появление фальшивого звука. Разность между наибольшим и наименьшим диаметрами струнной проволоки допускается не более 5 мкм;

пластичность материала должна обеспечить навивку проволоки на свой диаметр без разрывов при изготовлении петли или креплении шарика на одном конце струны;

релаксация струны — спад напряжения в струне, находящейся под нагрузкой, т. е. под натяжением. Новые струны после их натяжения на инструмент имеют свойство несколько рывгиваться. Это влечет за собой уменьшение натяжения струн и, следовательно, понижение высоты звука. Происходит уменьшение напряжения в струнах. Величина релаксации зависит от качества материала, из которого изготовлена струна. Струна должна обладать минимальной релаксацией, только тогда будет обеспечена стабильность строя. Больше других струн релаксации подвержены жильные, а также синтетические струны.

Например, для арфы среднее относительное удлинение жильных струн производства Полтавского мясокомбината по октавам имеет следующие значения:

Октава	1-я	2-я	3-я	4-я	5-я
Относительное удлинение, %	5,68	6,15	7,45	7,52	9,055

Отсюда видно, что толстые струны (3—5 октав) подвержены релаксации в большей степени, чем тонкие (1—2 октавы). Объясняется это тем, что толстые струны изготавливаются из большего числа и более грубых кишечных полос, плотность укладки которых в струне хуже, чем в струнах меньшего диаметра.

Удлинение струн под нагрузкой в основном происходит за первые полчаса, после чего вытягивание и спад напряжения в струнах продолжается медленнее. Прирост удлинения после 3-часовой вытяжки незначительный и не превышает 0,2%, после чего спад напряжения прекращается совсем и строй инструмента становится стабильным — как говорят струна «держит» строй.

Крепление струн

Общая длина струны складывается из длины рабочей и нерабочей частей. Нерабочая часть струны служит для закрепления ее на опорах — подставке и колковых механизмах — и определяется как сумма расстояний от порошка до колонки колковых механизмов или от колка арфы с учетом трех—пяти витков и от подставки до петли или шарика. В арфе последнее отсутствует, здесь учитывается нерабочая часть струны, проходящая через деку.

Металлические струны у гитар закрепляются с помощью шарика или петли, на домрах, балалайках и мандолинах — с помощью петли, на арфе — с помощью петли, на которую надевают вначале шайбу из фибры толщиной 4—5 мм, а затем латунную шайбу толщиной 2 мм.

Изготовление петли или укрепление шарика производят путем навивки конца струны на собственный диаметр. Навивку применяют одностороннюю «пружинкой» длиной 12—15 мм или с взаимным переплетением типа «елочка» длиной 7—8 переплетений на 1 см длины.

Жилые или синтетические струны крепят в подставках гитар или кнопках балалаек, домр с помощью петли, а в деке арф — с помощью узла (рис. 31).

Стабильность строя, способность инструмента «держать» строй, удобство настройки зависят от качества изготовления петли и закрепления шарика на струне. Если петля или шарик сползают, струна считается негодной и подлежит замене.

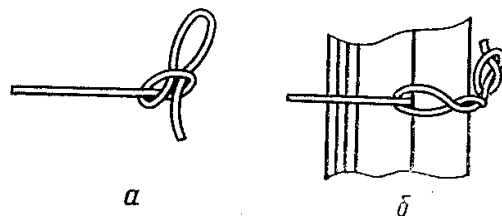


Рис. 31. Завязка узла жилой или синтетической струн:

а — на арфе; б — на гитарной подставке

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА

Конструкции гитар, балалаек, домр создавались и совершенствовались в течение довольно продолжительного времени. Известные русские мастера С. И. Налимов, И. И. Галинис, И. Я. Краснощеков, С. И. Сотский и др. создали великолепные по звучанию и мастерству изготовления музыкальные инструменты, на которых и поныне играют в оркестрах народных инструментов им. Осипова в Москве, им. В. В. Андреева в Ленинграде. Современные мастера Е. Т. Григорьев, В. В. Михайлов, А. А. Хомячков, Н. Н. Шкотов в Ленинграде, Ф. Акопов и С. М. Биатов в Москве, А. Стариков, А. Шибалов, Б. Симаков в Шихове, Н. Ещенко — в Чернигове и др. добились больших успехов в изготовлении музыкальных инструментов, которые отличаются глубиной звучания и красивым тембром.

Однако каких-либо теоретических источников для обоснования выбора формы и размеров корпусов, формы и расположения пружин на деке не существует. Имеется теоретический расчет мензуры и разбивки ладов на грифе, расчеты некоторых узлов и деталей, которые мы и рассмотрим.

МЕНзуРА, ЕЕ ВЫБОР И РАСЧЕТ

Прежде чем приступить к проектированию щипковых музыкальных инструментов, необходимо выбрать мензуру и прежде всего определить длину рабочей части струны. После этого конструктор или мастер уже сможет представить себе размеры корпуса, грифа. В понятие мензуры входят величины, характеризующие струнную одежду: длина рабочей части струны, натяжение струн, напряжение в струнах, диаметры струн (керна и навивки), расстояния между струнами.

Правильно выбранная мензура во многом определяет качество звучания инструмента, удобство игры. Можно, например, выбрать такой диаметр струны, при котором она не выдержит натяжения и порвется или вызовет болевые ощущения при игре.

Длина рабочей части струны. При определении длины рабочей части струн (часто говорят — длины мензуры) следует руководствоваться следующими требованиями, предъявляемыми к инструменту:

- гармоничностью звучания инструмента;

- устойчивостью по частоте и громкостью (звучанием каждого отдельного тона);

- длительностью колебаний струн, которая должна обеспечить певучее звучание инструмента во всех регистрах;

- ровностью по тембру звука во всех регистрах.

Исходя из этих требований, предъявляемых музыкантами-профессионалами, дающими свои рекомендации при выборе длины рабочей части струны, а также исходя из практики изготовления музыкальных инструментов, установлены следующие длины рабочей части струн, мм:

Гитары	
-квинт-кварт	480—540
-терц	550—585
-прима обычная	610—630
-концертная	650
-бас	760—800
Балалайки	
-прима	435—450
-секунда	475—490
-альт	490—535
-бас	750—780
-контрабас	1100—1180
Мандолины	
-прима	330—350
-мандола	425
-люта	555
-контрабас	1000
Домры трехструнные	
-пикколо	260—285
-прима	380—400
-альт	490—505
-тенор	565—585
-бас	685—715
Домры четырехструнные	
-пикколо	265—270
-прима	350—360
-альт	420—430
-тенор	470—480
-бас	630—640
-контрабас	990—1000

Выбор длины рабочей части струн для арф при заданных диаметрах сводится к выбору правильного закона изменения длины струн (скоростей распространения колебаний струн) при переходе от дискантовых к басовым. Длина крайних дискантовых струн определяется максимально допустимым напряжением в струнах и удобствами игры. Длина крайней басовой струны определяет высоту инструмента. Изменение длины струн в арфе происходит по плавной кривой.

Натяжение струн. Как и длина рабочей части струны, натяжение играет очень важную роль для звучания инструмента. Степенью натяжения определяются громкость, длительность и ровность звучания, удобство игры. К натяжению струн предъявляются следующие требования:

для ровного звучания инструмента натяжение струн должно меняться по плавной кривой, без резких скачков; неравномерное натяжение струн снижает качество исполнения;

для громкого и длительного звучания инструмента натяжение струн должно быть оптимальным. При сильном натяжении звук становится более сильным, но более коротким и тупым, и наоборот, при слабом натяжении — более длительным, но слабым;

удобство игры на инструменте зависит от степени натяжения струн: ощущение жесткости струн при игре дает сильное натяжение. Осязаемая пальцами жесткость струны определяется той силой, которую нужно приложить к струне, чтобы отвести ее от нейтрального положения. Чем жестче струна, тем больше силы

надо приложить. На Московской экспериментальной фабрике щипковых музыкальных инструментов установлена характеристика жесткости струны — коэффициент жесткости, равный:
для гладких струн

$$b = P/l,$$

где P — натяжение струны, Н; l — длина струны, м;

для металлических обвитых струн жесткость струны определяется главным образом диаметром керна:

$$EI = E \frac{\pi d^4}{64},$$

где EI — жесткость струны; E — модуль упругости, МПа; d — диаметр струны, м.

Из этой формулы видно, что жесткость струны резко возрастает по мере увеличения диаметра керна, так как она пропорциональна четвертой степени диаметра. Уменьшение диаметра керна приводит к уменьшению жесткости струны, к более чистому ее звучанию.

Из формулы (2) определим натяжение для гладких струн

$$P = f^2 l^2 \pi d^2 \rho / g. \quad (5)$$

Для обвитых струн с одним слоем навивки натяжение определим по формуле

$$P = f^2 l^2 \pi / g [d^2 \rho + \pi d_1 \rho_1 (d + d_1)]; \quad (6)$$

для обвитых струн с двумя слоями навивки

$$P = f^2 l^2 \pi / g [d^2 \rho + \pi d_1 \rho_1 (d + d_1) + \pi d_2 \rho_2 (d + 2d_1 + d_2)], \quad (7)$$

где P — натяжение струны, Н; f — частота колебаний струны, Гц; l — длина рабочей части струны, м; d — диаметр керна, м; d_1 и d_2 — диаметры навивки первого и второго слоев, м; ρ — плотность керна, кг/м³; ρ_1 и ρ_2 — плотность навивки, кг/м³; g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

График натяжения струн для семиструнной гитары с длиной рабочей части струны 650 мм приведен на рис. 32. Кривая натяжения до 5-й струны идет плавно вверх, после чего плавно снижается. Такой же характер кривой можно наблюдать и в других инструментах. Натяжение соседних струн не имеет резких скачков, что свидетельствует о правильном подборе струн.

Напряжение в струнах. Большое значение при подборе струн имеет напряжение в струне, т. е. натяжение на единицу площади сечения струны.

Напряжение (МПа) в струне определяют по формуле

$$\sigma = P/S, \quad (8)$$

где S — площадь поперечного сечения струны, м² (в расчет принимается лишь kern без навивки).

К напряжению в струнах предъявляют два основных требования:

напряжение в струне должно быть по возможности небольшим по сравнению с временным сопротивлением;

для получения более гармоничного и чистого звучания струны желательно иметь напряжение по возможности большим.

Необходимо еще учесть дополнительное напряжение в струне от перегиба ее на подставке и у порожка и перетяжки во время настройки, которое в общей сложности составляет 7—10% от основного. Оба требования будут, видимо, удовлетворены, если величина напряжения в струне не превысит 75% от временного сопротивления разрыву.

Выполнение первого требования имеет важное значение, особенно для жильных струн, прочность и долговечность которых уступают металлическим струнам. Если временное сопротивление струнной стальной проволоки составляет 2600 МПа (260 кгс/мм²), то для жильных струн — 300 МПа, (30 кгс/мм²), т. е. в 7,4 раза меньше.

График напряжений в жильных струнах арфы приведен на рис. 33. Напряжения возрастают от струн 5-й октавы (толстых) к струнам 1-й октавы (тонким). Минимальное напряжение составляет 73 МПа, максимальное 282 МПа. Струны 1-й и 2-й октав обладают наименьшим запасом прочности и, следовательно, ме-

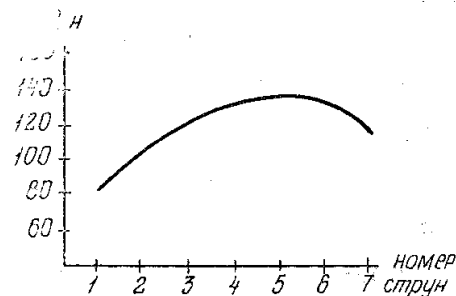


Рис. 32. График натяжения струн гитары

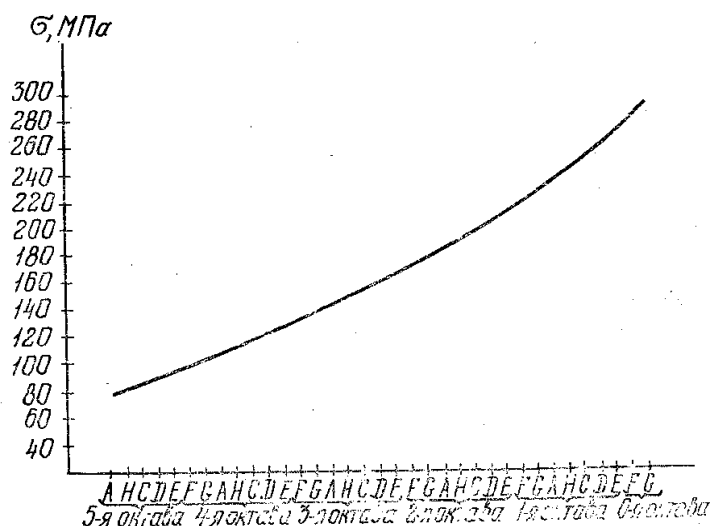


Рис. 33. График напряжений (усредненных) в жильных струнах арфы

нее долговечны. Именно поэтому струны 1-й и 2-й октав для арфы изготавливают двойной длины.

Напряжение в отдельных металлических струнах некоторых музыкальных инструментов также достаточно велико. Поэтому настраивать инструменты надо осторожно, не слишком перетягивая струны, чтобы иметь хотя бы минимальный запас прочности.

Диаметры струн. Диаметры гладких струн определим по формуле

$$d = \frac{1}{fl} \sqrt{\frac{Pg}{\pi\rho}}. \quad (9)$$

Диаметры керна и навивки в обвитых струнах могут быть найдены путем подбора, но это сложный и длительный процесс. Решить задачу можно построением номограммы.

Обозначим отношение $d_1/d = k$,
откуда

$$d_1 = kd, \quad (10)$$

где d — диаметр керна, м; d_1 — диаметр навивки, м.

Обозначим постоянную величину для каждой струны в формулах (6) и (7) буквой A :

$$A = f^2 l^2 \pi / g.$$

Тогда формула натяжения (6) примет вид:

$$P = A[d^2\rho + \pi k d \rho_1(d + kd)] = Ad^2[\rho + \pi k \rho_1(1 + k)].$$

откуда

$$d = \sqrt{\frac{P}{A[\rho + \pi k \rho_1(1 + k)]}}. \quad (11)$$

Таким образом, определив из формулы (11) значение диаметра керна d , мы без труда найдем диаметр навивки d_1 по формуле (10) при условии принятия определенной величины k по обе стороны от ожидаемого значения. Определив значения этих величин, можем построить для каждой струны номограмму (рис. 34).

На оси абсцисс откладываем значения k , на оси ординат — значения диаметра керна d и навивки d_1 . По значению натяжения струны P и различным величинам k по формулам (10) и (11) находим значения d и d_1 , которые и откладываем на графике. По точкам строим кривые функциональной зависимости величин d

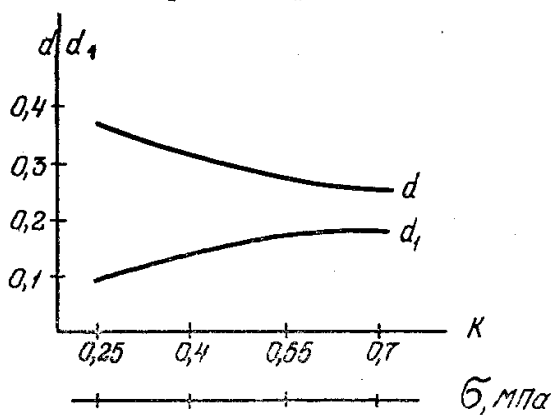


Рис. 34. Номограмма для определения диаметров керна и навивки

и d_1 от величины k при постоянном (заданном) натяжении струн.

Таким же образом при необходимости определяют диаметр второй навивки.

Построенные номограммы дают возможность определить диаметры керна и навивки в различных сочетаниях при данном натяжении струны.

Пользуясь номограммой, мы можем задаться одним из диаметров, например выбрать d по

государственному стандарту или d_1 по наличию, и определить необходимый диаметр керна или навивки струны. Под номограммой на горизонтальной линии откладывают значения напряжений для нескольких значений d . Оптимальное сочетание диаметров керна и навивки выбирают с учетом напряжения в струне (керне), которое должно быть меньше временного сопротивления разрыву.

Для примера построим номограмму для третьей струны гитар с длиной мензуры 650 мм, у которой напряжение $P=118$ Н (11,8 кгс) (см. рис. 32). Для этого примем три значения k : 0,25; 0,4 и 0,55.

При $k=0,25$

$$d = \sqrt{\frac{118}{A[7900 + 3,14 \cdot 0,25 \cdot 8900(1 + 0,25)]}};$$

$$A = \frac{195,962 \cdot 0,652 \cdot 3,14}{9,81} = 5190; \quad d = \sqrt{\frac{118}{5190 \cdot 16650}} = \frac{10,85}{9300} =$$

$$= 0,00117 \text{ м} = 1,17 \text{ мм}.$$

Согласно формуле (10) $d_1 = 0,25 \cdot 0,00117 = 0,000292 \text{ м} = 0,292 \text{ мм}$.

При $k=0,4$

$$d = \sqrt{\frac{118}{5190 \cdot 23550}} = \frac{10,85}{11070} = 0,00098 \text{ м} = 0,98 \text{ мм};$$

$$d_1 = 0,4 \cdot 0,00098 = 0,00039 \text{ м} = 0,39 \text{ мм}.$$

При $k=0,55$

$$d = \sqrt{\frac{118}{5190 \cdot 31700}} = \frac{10,85}{12800} = 0,00085 \text{ м} = 0,85 \text{ мм}$$

$$d_1 = 0,55 \cdot 0,00085 = 0,00047 \text{ м} = 0,47 \text{ мм}.$$

Таким образом, для третьей гитарной струны мы можем подобрать диаметр керна и навивки в любом сочетании при постоянном натяжении с учетом допускаемых напряжений. Такие же номограммы строятся для каждой обвитой струны.

Правильность подбора диаметров обвитых струн проверяют проигрыванием гамм и трезвучий на всех струнах, в разных регистрах, а также сравнением звучания какого-либо тона, извлеченного на разных струнах. Например, нота *соль* малой октавы, извлекаемая на 4-й струне, прижатой на 5-м ладу, должна звучать на октаву ниже 2-й струны, прижатой на 8-м ладу, или 1-й струны, прижатой на 3-м ладу, или в унисон с 5-й струной, прижатой на 10-м ладу.

Все данные расчета мензуры для гитар, балалаек, домр, мандолин приводятся в табл. 7, 8 и 9, для арф в табл. 10 и для гуслей — в табл. 11.

Для гуслей звончатых, не имеющих постоянного строя, приводятся лишь данные диаметров керна и навивки и длины струн.

РАЗБИВКА ЛАДОВ

Под разбивкой ладов следует понимать определение расстояний между ладовыми пластинами на грифе инструмента при заданной или выбранной длине рабочей части струны. Правильное

ТАБЛИЦА 7. РАСЧЕТ МЕНЗУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУН ДЛЯ ГИТАР, БАЛАЛАЕК, ДОМР И МАНДОЛИН

Инструмент и длина рабочей части струны	Номер струны	Тон	Длина струны, мм	Частота, Гц	Диаметр, мм		Напряжение струны, Н	Напряжение в струне, МПа
					керн	навивки		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гитара семиструнная $L = 650$ мм	1	d^1	820	293,6	0,30	—	81	1150
	2	h	845	246,92	0,40	—	102	815
	3	g	875	195,96	0,35	0,12	116	1215
	4	d	875	146,8	0,40	0,20	131	1040
	5	H	845	123,46	0,40	0,28	137	1113
	6	G	855	97,98	0,45—0,50	0,38	130	670
	7	D	795	73,4	0,50	0,50	121	820
Гитара шестиструнная $L = 650$ мм	1	e^1	820	329,6	0,28	—	90	1440
	2	h	845	246,92	0,40	—	102	815
	3	g	875	195,96	0,35	0,12	116	1110
	4	d	875	146,8	0,40	0,20	128	1020
	5	A	845	110	0,45	0,38	121	760
	6	E	795	82,4	0,50	0,50	117	800
Гитара двенадцатиструнная $L = 650$ мм	1	e^1	1060	329,6	0,28	—	72	1460
	1	e^1	1060	329,6	0,28	—	72	1460
	2	h	1060	246,92	0,35	—	80	1140
	2	h	1060	246,92	0,35	—	80	1140
	3	g^1	1060	195,96	0,25	0,12	90	1830
	3	g^1	1060	391,92	0,25	—	100	2040
	4	d	1060	146,8	0,40	0,20	116	930
	4	d^1	1060	293,6	0,30	—	100	1430
	5	A	930	110	0,40	0,28	102	820
	5	a	1060	220	0,25	0,12	111	2260
	6	E	930	82,4	0,50	0,38	103	525
	6	e	1060	164,8	0,25	0,12	64,0	910

Гитара шестиструнная = 610 мм	1	e^1	800	329,6	0,28—0,30	—	70	1000
	2	h	820	246,92	0,35—0,40	—	90	720
	3	g	840	195,96	0,28—0,35	0,12	102	1060
	4	d	840	146,8	0,30—0,40	0,20	90	720
	5	A	820	110,0	0,35—0,40	0,28	79	640
	6	E	755	82,4	0,40	0,38	76	610
Гитара семиструнная = 585 мм	1	f^1	800	349,2	0,28	—	83	1340
	2	d^1	820	293,6	0,35	—	116	1200
	3	b	840	233,08	0,28	0,12	132	2120
	4	f	840	174,6	0,30	0,20	150	2140
	5	d	820	146,8	0,35	0,24	151	1570
	6	B	795	116,54	0,40	0,35	165	1320
	7	F	755	87,3	0,50	0,38	130	870
Гитара семиструнная = 540 мм	1	g^1	675	391,92	0,25	—	70	1430
	2	e^1	715	329,6	0,30	—	70,5	1010
	3	c^1	740	261,6	0,30	0,12	123	1750
	4	g	740	195,96	0,30	0,17	103	1470
	5	e	715	164,8	0,40	0,17	98	780
	6	c	715	130,8	0,40	0,28	103	830
	7	G	675	97,38	0,50	0,38	100	510
Балалайка-прима = 435 мм	1	a^1	700	440	0,25—0,30	—	81,5	1160
	2—3	$e^1—e^1$	720	329,6	0,35—0,40	—	81,5	650
Балалайка-секунда = 475 мм	1	d^1	730	293,6	0,30	0,12	117	1670
	2—3	$a—a$	790	220	0,35	0,18	132	1370
Балалайка-альт $L = 535$ мм	1	a	790	220	0,30	0,17	127	1820
	2—3	$e—e$	840	164,8	0,35	0,26	132	1370

Инструмент и длина рабочей части струны	Номер струны	Тон	Длина струны, мм	Частота, Гц	Диаметр, мм		Напряжение струны, Н	Напряжение в струне, МПа
					керн	навивки		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Балалайка-бас $L = 770$ мм	1	d	1110	146,8	0,40	0,22	211	1680
	2	A	1150	110,0	0,40	0,40	226	1800
	3	E	1180	82,4	0,50	0,60	230	1170
Балалайка-контрабас $L = 1100$ мм	1	D	1580	73,4	0,50	0,50	328	1670
	2	A_1	1640	55,0	0,60	0,70	310	1100
	3	E_1	1660	41,2	0,70	0,95	307	800
Мандолина-прима $L = 350$ мм	1—2	e^2	625	659,2	0,25	—	88	1790
	3—4	a^1	670	440,0	0,40	—	86	690
	5—6	d^1	670	293,6	0,30	0,17	108	1540
	7—8	g	610	195,96	0,40	0,28	102	820
Мандолина-мандола $L = 425$ мм	1	e^1	760	329,6	0,30	0,11	122	1740
	2	a	810	220,0	0,35	0,22	124	1300
	3	d	810	146,8	0,50	0,45	145	740
	4	G	750	97,98	0,60	0,70	155	550
Мандолина-люта $L = 555$ мм	1	a	950	220,0	0,35	0,11	111	1150
	2	d	1000	146,8	0,40	0,24	115	920
	3	G	1000	97,98	0,50	0,50	147	750
	4	C	950	65,4	0,60	0,85	154	550
Мандолина-контрабас $L = 1000$ мм	1	G	1510	97,98	0,40	0,30	214	1740
	2	D	1560	73,4	0,50	0,50	268	1360
	3	A_1	1560	55,0	0,60	0,70	270	960
	4	E_1	1510	41,2	0,70	0,80	202	525
Домра-пикколо трехструнная $L = 283$ мм	1	a^2	450	880	0,25	—	96	1950
	2	e^2	490	659,2	0,35	—	105	1100
	3	h^1	510	493,84	0,30	0,10	112	1600

Домра-прима $L = 390$ мм	1	d^2	600	587,2	0,30	—	122	1740
	2	a^1	640	440,0	0,40	—	122	975
	3	e^1	670	329,6	0,30	0,13	123	1760
Домра-альт $L = 490$ мм	1	d^1	750	299,6	0,35	0,10	145	1510
	2	a	780	220,0	0,35	0,20	152	1530
	3	e	810	164,8	0,35	0,35	162	1650
Домра-тенор $L = 585$ мм	1	a	850	220,0	0,40	0,15	186	1490
	2	e	890	164,8	0,40	0,28	191	1530
	3	H	920	123,46	0,50	0,50	254	1300
Домра-бас $L = 715$ мм	1	d	1020	146,8	0,40	0,24	190	1520
	2	A	1090	110,0	0,40	0,40	172	1380
	3	E	1110	82,4	0,50	0,60	222	1130
Домра-пикколо струнная $L = 274$ мм	1	a^2	500	880	0,25	—	90	1830
	2	d^2	500	587,2	0,40	—	104	835
	3	g^1	500	391,92	0,30	0,17	106	1510
	4	c^1	500	291,6	0,40	0,24	111	890
Домра-прима струнная $L = 350$ мм	1	e^2	630	659,2	0,30	—	119	1700
	2	a^1	630	440,0	0,40	—	94	750
	3	d^1	630	293,6	0,35	0,17	114	1185
	4	g	630	195,96	0,40	0,35	127	1015
Домра-альт струнная $L = 420$ мм	1	a^1	730	440,0	0,40	—	135	1080
	2	d^1	730	293,6	0,35	0,17	163	1695
	3	g	730	195,96	0,50	0,35	218	1110
	4	c	730	130,8	0,60	0,60	216	765
Домра-тенор струнная $L = 475$ мм	1	e^1	800	329,6	0,35	0,17	181	1890
	2	a	800	220,0	0,35	0,24	169	1760
	3	d	800	146,8	0,60	0,40	214	760
	4	G	800	97,98	0,60	0,60	156	553
Домра-бас струнная $L = 630$ мм	1	a	960	220,0	0,35	0,17	208	2160
	2	d	960	146,8	0,50	0,28	218	1110
	3	G	960	87,98	0,50	0,60	244	1240
	4	C	960	65,4	0,60	0,80	181	645
Домра-контрабас струнная $L = 990$ мм	1	G	1560	97,98	0,50	0,28	23,6	1200
	2	D	1560	73,4	0,60	0,70	470	1670
	3	A_1	1560	55,0	0,70	0,90	412	1070
	4	E_1	1560	41,2	1,0	1,2	455	580

84 ТАБЛИЦА 8. РАСЧЕТ МЕНЗУРЫ СИНТЕТИЧЕСКИХ СТРУН ДЛЯ ГИТАР И БАЛАЛАЕК

Инструмент и длина мензуры	Номер струны	Тон	Длина струны, мм	Частота, Гц	Диаметр, мм				Натяжение, Н	Напряжение в струне, МПа
					Струны	Допуск	Количество сложенных	Навивки		
Гитара шестиструнная $L = 650$ мм	1	e^1	870	329,6	0,7	$\pm 0,01$	—	—	81	165
	2	h	900	246,92	0,85	$\pm 0,01$	—	—	70	127
	3	g	925	195,96	1,1	$\pm 0,01$	—	—	72	77
	4	d	925	146,8	0,85	$\pm 0,01$	12	0,12	80	280
	5	A	925	110	1,05	$\pm 0,01$	12	0,23	86	300
	6	E	900	82,4	1,30	$\pm 0,01$	12	0,35	85	300
Балалайка $L = 435$ мм	2, 3	$e^1 - e^1$	760	329,6	1,0	$\pm 0,015$	—	—	75	95

ТАБЛИЦА 9. РАСЧЕТ МЕНЗУРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОГИТАР

Инструмент и длина мензуры	Номер струны	Тон	Длина струны, мм	Частота, Гц	Диаметр, мм				Общий диаметр, мм	Натяжение, Н	Напряжение в струне, МПа
					керн	навивки					
						1-я	2-я	3-я			
Электрогитара-бас ($L = 760$ мм)	1	G	1050	97,98	0,30	0,25	—	—	0,40×0,15	79	1130
	2	D	1070	73,4	0,40	0,30	—	—	0,40×0,15	98,5	790
	3	A_1	1100	55,0	0,50	0,20	0,25	—	0,40×0,20	55	280
	4	E_1	1050	41,2	0,50	0,20	0,30	0,35	0,40×0,20	55	280
Электрогитара ше- стиструнная ($L =$ $= 650$ мм)	1	e^1	1050	329,6	0,30	—	—	—	0,5×0,05	101	1420
	2	h	1010	256,92	0,30	—	—	—	0,5×0,05	97	1380
	3	g	985	195,96	0,30	—	—	—	0,5×0,12	105	1490
	4	d	960	146,8	0,35	0,11	—	—	0,5×0,10	122	1280
	5	A	930	110,0	0,40	0,20	—	—	0,5×0,10	114	910
	6	E	905	82,4	0,40	0,25	—	—	0,5×0,15	90	715

определение этих расстояний наряду с другими факторами является залогом хорошего звучания и, прежде всего, точности строя инструмента.

В современной музыке применяется 12 тонов в пределах одной октавы с равными интервалами между ними. Разбивка тонов и основана на двенадцатиступенном равномерно темперированном строе.

Темперация — выравнивание интервальных отношений между ступенями (тонами) звукового ряда. Отношение частот колебаний двух любых соседних тонов всегда одинаково, является числом постоянным и называется интервальным коэффициентом.

Если обозначить его буквой n и возвести в 12-ю степень (обозначающую количество тонов в октаве), получим число, равное двум: $n^{12}=2$. Это значит, что отношение частоты колебаний тона, повышенного на одну октаву, к частоте первоначальной равно 2.

Известно, что тон *ля* 1-й октавы имеет частоту колебаний 440 Гц. Эта частота принята как Всесоюзный стандарт высоты строя музыкальных инструментов по ОСТ 7710 и является исходной величиной при определении частот колебаний струны по всему звукоряду.

Следовательно, звук *ля* 2-й октавы будет в 2 раза больше, т. е. составит $440 \cdot 2 = 880$ Гц, а отношение частот будет как 2 : 1, т. е. $880 : 440 = 2 : 1$.

Интервальный коэффициент находят из выражения

$$n = \sqrt[12]{2} = 1,05946. \quad (12)$$

Если частоту колебаний открытой струны обозначить f_0 , а укороченной (прижатой) на один лад — f_1 , то отношение f_1 к f_0 будет равно интервальному коэффициенту, т. е. $f_1/f_0 = 1,05946$, откуда

$$f_1 = f_0 \cdot 1,05946. \quad (13)$$

Таким образом, частоту каждого следующего тона находят из предыдущей частоты, умноженной на интервальный коэффициент 1,05946. (На основе этой зависимости вычислены частоты всех употребляемых звуков и составлена табл. 2).

Существует два способа разбивки ладов: теоретический и графический. В практике конструирования щипковых музыкальных инструментов наиболее распространен способ теоретический как самый точный.

При определении расстояний между ладовыми пластинами теоретическим способом пользуются законом обратной пропорциональности между частотой звучания и длиной рабочей части струны.

Установлено, что частота колебаний струны обратно пропорциональна длине ее рабочей части при постоянных диаметре и натяжении. Чем меньше длина струны, тем больше частота колебаний, и наоборот.

ТАБЛИЦА 10. РАСЧЕТ МЕНЗУРЫ ДЛЯ АРФЫ

Порядковый номер октавы	Номер октавы	Тон	Торговый номер	Длина рабочей части струны в бемолах, мм	Частота, Гц	Диаметр, мм		Толщина шелковой нитки, мм	Напряжение, Н	Напряжение в струне, МПа
						керн	навивки			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Струны металлические

1	7-я	D	44	1529	34,64	1,6	0,5	—	435	220
2	7-я	E	43	1498	38,89	1,5	0,5	—	490	282
3	6-я	F	42	1467,1	41,2	1,4	0,5	—	480	318
4	6-я	G	41	1433,9	46,24	1,3	0,5	—	535	412
5	6-я	A	40	1400	51,91	1,2	0,5	—	580	522
6	6-я	H	39	1366,5	58,27	1,0	0,3	—	370	482
7	6-я	C	38	1331,6	61,73	0,9	0,28	0,27	300	485
8	6-я	D	37	1296,4	69,28	0,85	0,25	0,275	335	472
9	6-я	E	36	1257,3	77,78	0,75	0,22	0,305	315	572
10	5-я	F	35	1215,7	82,4	0,7	0,18	0,32	270	718
11	5-я	G	34	1172,7	92,48	0,65	0,18	0,295	280	840

Струны жильные

1	5-я	A	33	1127	103,82	2,28—2,36	±0,03	—	305	73
2	5-я	H	32	1075,3	116,54	2,14—2,22	±0,03	—	316	85
3	5-я	C	31	1017,7	123,46	2,05—2,13	±0,03	—	300	88
4	5-я	D	30	957,4	138,56	1,91—1,99	±0,03	—	286	96
5	5-я	E	29	891,5	155,56	1,83—1,89	±0,03	—	288	106
6	4-я	F	28	820,9	164,8	1,75—1,82	±0,02	—	256	104
7	4-я	G	27	752,4	184,96	1,64—1,72	±0,02	—	232	104
8	4-я	A	26	689,7	207,64	1,57—1,63	±0,02	—	225	112
9	4-я	H	25	632,9	233,08	1,49—1,54	±0,02	—	214	120

10	4-я	C	24	581,8	246,92	1,43—1,48	±0,02	—	190	115
11	4-я	D	23	535,3	277,12	1,35—1,41	±0,02	—	180	127
12	4-я	E	22	492,9	311,12	1,31—1,34	±0,02	—	175	127
13	3-я	F	21	454,3	329,6	1,24—1,30	±0,02	—	156	123
14	3-я	G	20	415,1	369,92	1,19—1,23	±0,02	—	147	128
15	3-я	A	19	387,4	415,28	1,12—1,16	±0,01	—	146	143
16	3-я	H	18	358,4	466,16	1,07—1,10	±0,01	—	138	146
17	3-я	C	17	331,6	493,84	1,03—1,06	±0,01	—	127	150
18	3-я	D	16	306,8	554,24	0,97—1,01	±0,01	—	124	156
19	3-я	E	15	283,8	622,24	0,93—0,96	±0,01	—	122	172
20	2-я	F	14	262,6	659,2	0,89—0,92	±0,01	—	106	170
21	2-я	G	13	242,8	739,84	0,84—0,88	±0,01	—	103	177
22	2-я	A	12	224,4	830,56	0,80—0,83	±0,01	—	100	195
23	2-я	H	11	207,4	932,32	0,77—0,79	±0,01	—	99	206
24	2-я	C	10	191,5	987,68	0,75—0,77	±0,01	—	90	197
25	2-я	D	9	176,7	1108,48	0,71—0,73	±0,01	—	86	210
26	2-я	E	8	163	1244,48	0,67—0,69	±0,01	—	83	228
27	1-я	F	7	150,1	1318,40	0,65—0,67	±0,01	—	73	217
28	1-я	G	6	137,6	1479,68	0,61—0,63	±0,01	—	70	232
29	1-я	A	5	126,7	1661,12	0,58—0,60	±0,005	—	67	245
30	1-я	H	4	116,1	1864,64	0,54—0,56	±0,005	—	62	256
31	1-я	C	3	106,3	1975,36	0,53—0,55	±0,005	—	54	236
32	1-я	D	2	97,1	2216,96	0,50—0,52	±0,005	—	52	244
33	1-я	E	1	88,5	2488,96	0,48—0,50	±0,005	—	50	268
34	0-я	F	0	80,4	2636,24	0,45—0,47	±0,005	—	45	250
35	0-я	G	0	69	3322,24	0,45—0,47	±0,005	—	48,5	282

ТАБЛИЦА 11. РАСЧЕТ МЕНЗУРЫ ДЛЯ ГУСЛЕЙ

Номер струны	Пикколо		Прима		Альт		Бас	
	Длина струны, мм	Диаметр керна, мм	Длина струны, мм	Диаметр керна, мм	Диаметр, мм		Длина струны, мм	Диаметр, мм
					керны	навивки		керны
1	830	0,50	1130	0,85	0,85	0,60	1370	0,85
2	815	0,50	1080	0,80	0,80	0,55	1300	0,80
3	775	0,40	1030	0,80	0,80	0,50	1240	0,80
4	765	0,40	1000	0,75	0,70	0,50	1190	0,80
5	725	0,40	945	0,75	0,70	0,45	1130	0,70
6	715	0,40	920	0,75	0,70	0,40	1080	0,65
7	680	0,40	905	0,70	0,70	0,38	1030	0,60
8	670	0,40	845	0,70	0,60	0,35	990	0,55
9	650	0,40	800	0,70	0,60	0,30	950	0,50
10	630	0,40	785	0,70	0,60	0,30	900	0,45
11	600	0,30	750	0,60	0,60	0,28	870	0,38
12	590	0,30	735	0,60	0,50	0,25	830	0,35
13	570	0,30	700	0,60	0,50	0,22	800	0,30
14	560	0,30	685	0,50	0,50	0,20	770	0,28
15	540	0,30	660	0,50	0,50	0,18	750	0,28

Расстояние от ладовой пластины подставки до колка у пикколо — 125 мм, у примы, альты и баса — 195 мм.

Если длину свободной струны обозначить l_0 , а длину укороченной на один лад струны l_1 , то зависимость между частотой колебаний и длиной струны может быть выражена равенством

$$f_1/f_0 = l_0/l_1,$$

а так как $f_1/f_0 = 1,05946$, то можем написать, что

$$f_1/f_0 = l_0/l_1 = 1,05946, \text{ откуда}$$

$$l_1 = l_0/1,05946. \quad (14)$$

Чтобы найти длину струны, укороченной на один лад, достаточно ее первоначальную длину разделить на интервальный коэффициент 1,05946.

Приведем пример разбивки ладов для грифа гитары с длиной рабочей части струны 650 мм.

Длина укороченной на один лад струны l_1 составит $650 : 1,05946 = 613,5$ мм.

Следовательно, расстояние от порожка до 1-го лада будет равно $650 - 613,5 = 36,5$ мм.

Длина укороченной еще на один лад струны l_2 составит $613,5 : 1,05946 = 579$ мм, а расстояние между 1-й и 2-й ладовыми пластинами составит $613,5 - 579 = 34,5$ мм.

Длина укороченной еще на один лад струны l_3 составит $579 : 1,05946 = 547,5$ мм, а расстояние между 2-й и 3-й ладовыми пластинами составит $579 - 547,5 = 31,5$ мм.

Таким же образом определяют расстояния между ладовыми пластинами по всему грифу.

Сумма расстояний между ладовыми пластинами от порожка до 12-го лада должна быть равна половине длины рабочей части струны. В нашем примере это составит $650 : 2 = 325$ мм, а частота, напротив, увеличится в 2 раза, например, для 1-й струны составит $329,6 \cdot 2 = 659,2$ Гц, что и соответствует частоте, указанной в табл. 2.

Полученные расстояния наносят на чертеж, а чтобы уменьшить ошибку в разбивке ладов, расстояния между ними откладывают с нарастающим итогом, начиная от порожка.

Так, в нашем примере, расстояние от порожка до 1-го лада равно 36,5 мм, до 2-го 71 (36,5 + 34,5), до 3-го 103,5 мм (71 + 32,5) и т. д.

Расстояния между ладовыми пластинами следующей октавы можно не рассчитывать: они будут в 2 раза меньше расстояний между ладовыми пластинами предыдущей октавы, т. е. до 12-го лада.

В нашем примере расстояние между 12-й и 13-й ладовыми пластинами будет в 2 раза меньше расстояния от порожка до 1-го лада, т. е. $36,5 : 2 = 18,25$ мм.

Между 13-й и 14-й ладовыми пластинами расстояние будет в 2 раза меньше расстояния между 1-й и 2-й ладовыми пластинами, т. е. $34,5 : 2 = 17,25$ мм, а между 14-й и 15-й ладовыми пластинами $32,5 : 2 = 16,25$ мм и т. д.

Графический способ разбивки ладов заключается в следующем. На полоске чертежной бумаги наносим прямую линию АВ (рис. 35), длина которой равна длине рабочей части струны. Из точки А восстанавливаем перпендикуляр Аа, длина которого равна

расстоянию от порожка до 1-го лада ($1/17,9$ часть длины рабочей части струны). Точку a соединяем прямой с точкой B . На прямой AB откладываем отрезок $Av=Aa$. Из точки v восставляем перпендикуляр до пересечения с прямой aB . Отрезок vs и является расстоянием от 1-го до 2-го лада. Откладываем далее отрезок bd , равный отрезку bs и восставляем из точки d перпендикуляр, который и даст нам расстояние между 2-м и 3-м ладами

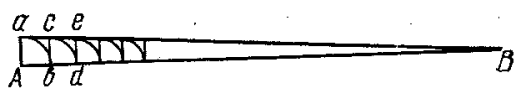


Рис. 35. Графический способ определения расстояний между ладовыми пластинами.

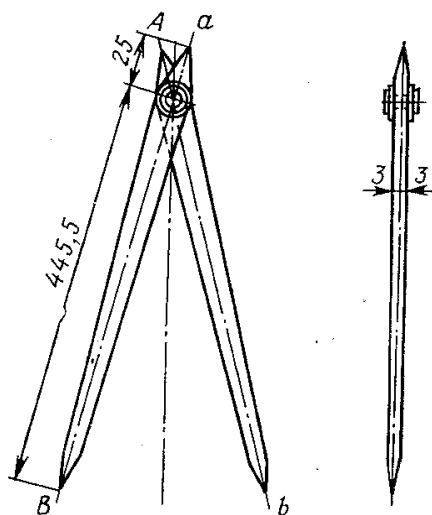


Рис. 36. Циркуль для определения расстояний между ладовыми пластинами

и т. д. Указанный способ разбивки ладов требует большой точности построения.

Разбивка ладов на грифе может быть осуществлена также с помощью пропорционального циркуля (рис. 36), у которого расстояние между ножками малого раствора относятся к расстоянию между ножками большого раствора как $1:17,9$, т. е.

$$Aa/Bb = l/L = 1/17,9.$$

Если расстояние между большими ножками циркуля Bb будет равно длине рабочей части струны, то расстояние между малыми ножками Aa даст нам расстояние l_1 — длину от порожка до 1-го лада. Если уменьшить раствор циркуля до размера $L-l_1$, т. е. до расстояния от 1-й ладовой пластины до подставки, то Aa будет равно l_2 — расстоянию от 1-й до 2-й ладовой пластины и т. д.

Разбивка ладов, т. е. расстояния между ладовыми пластинами, приведена в табл. 12.

Основные способы проверки правильности разбивки ладов заключаются в следующем:

размер от порожка до 12-го лада должен быть равен половине длины рабочей части струны;

размер от порожка до 1-го лада должен быть в 2 раза больше размера от 12-го до 13-го лада; размер от 1-го до 2-го лада — в 2 раза больше размера от 13-го до 14-го лада и т. д.

В готовом инструменте правильность разбивки ладов проверяют также на слух, проигрывая на одной струне трезвучия и октавные звуки. Например, струна, прижатая на 1-м ладу, должна звучать на октаву ниже этой же струны, прижатой на 13-м ладу; струна, прижатая на 2-м ладу — на октаву ниже

ТАБЛИЦА 12. РАЗБИВКА ЛАДОВ
ДЛЯ ГИТАР С РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНОЙ МЕНЗУРЫ, ДЛЯ БАЛАЛАЙКИ,
МАНДОЛИНЫ И ДОМРЫ-ПРИМА ТРЕХСТРУННОЙ

Номер лада	Гитара		Балалайка L=435 мм	Мандолина L=350 мм	Домра-прима L=390 мм
	L=650 мм	L=610 мм			
1	36,4 ⁸	34,2	24,4	19,6	21,9
2	34,5	32,3	23,0	18,6	20,6
3	32,5	30,5	21,8	17,5	19,5
4	30,7	28,8	20,5	16,5	18,4
5	28,8	27,2	19,4	15,6	17,4
6	27,3	25,6	18,3	14,7	16,4
7	25,8	24,2	17,2	13,9	15,5
8	24,4	22,9	16,3	13,1	14,6
9	23,0	21,6	15,4	12,4	13,8
10	21,7	20,4	14,5	11,7	13,0
11	20,5	19,2	13,7	11,0	12,3
12	19,3	18,1	13,0	10,4	11,6
13	18,3	17,1	12,2	9,8	10,9
14	17,2	16,1	11,5	9,3	10,3
15	16,3	15,3	10,9	8,8	9,8
16	15,3	14,4	10,2	8,3	9,2
17	14,4	13,6	9,7	7,8	8,7
18	13,6	12,8	9,2	7,4	8,2
19	12,9	12,1	8,6	6,9	7,8
20	12,2	11,4	8,1	6,5	7,3
21	11,5	10,8	7,7	6,2	6,9
22	10,8	10,2	7,3	5,8	6,5
23	10,3	9,6	6,8	5,5	6,1
24	9,6	9,0	6,5	5,2	5,8

этой же струны, прижатой на 14-м ладу и т. д. Но этот способ проверки годится лишь при правильно установленной подставке и правильном положении струн относительно ладовых пластин. Расстояние от нижней точки струны до вершин ладовых пластин у 1-го и 12-го ладов должны быть, мм: для гитар, соответственно 0,8 и 3,5; для балалаек-прима 0,7 и 3,0; для мандолин 0,7 и 2,5 мм.

Увеличение расстояний не только увеличит дополнительное натяжение сверх предусмотренного, но и повысит тон.

Убедившись в правильности разбивки ладов, на лист чертежной бумаги наносим в плане в масштабе 1:1 длину рабочей части струны, намечаем по нарастающему итогу места установки ладовых пластин, место соединения грифа с корпусом и, задавшись количеством ладов, определяем длину грифа (с нейлоновыми струнами 1,0 и 4,0, прибавив к ней длину для порошка от последнего лада до торца ручки).

Исходя из удобств игры, задаемся шириной грифа для данного инструмента, наносим крайние струны, размещая их так, чтобы расстояние до кромок грифа составляло 3—3,5 мм. Разделив расстояние между крайними струнами на число промежутков (число струн минус единица), определяем расстояния между струнами на порошке и подставке. Расстояния между струнами щипковых музыкальных инструментов, принятые на отечественных предприятиях, приведены ниже.

Разумеется, указанные расстояния могут иметь небольшие отклонения в ту или другую сторону.

Расстояния между струнами, мм

	На порожке	На подставке
Гитары 6-струнные	8,5	12,0
Гитары 7-струнные	7,0	10,0
Балалайка-прима	12,0—13,0	15,0
Мандолины	5,0	10,0
между парными струнами	2,0	2,5
Балалайки оркестровые		
-секунда, -альт	12	18—19
-бас	13—14	20
-контрабас	14—15	28
Домры трехструнные		
-пикколо	8,5	14
-прима	10	15
-альт	11	16
-тенор	11,5	19
-бас	12	22
Домры четырехструнные		
-пикколо	6	9
-прима	6,5	11
-альт	7	12
-тенор	8	13
-бас	9	15
-контрабас	10	16

Наносим струны на чертеж, вычерчиваем гриф в разрезе со всеми элементами, после чего вычерчиваем корпус. Форму и размеры корпуса, а также расположение пружин с учетом имеющихся лучших образцов музыкальных инструментов, опыта в их проектировании и изготовлении, уровня развития техники и технологии изготовления щипковых музыкальных инструментов определяет конструктор или музыкальный мастер.

ПРИМЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГИТАРЫ, ДОМРЫ, АРФЫ

Расчет грифа гитары. Приступая к расчету грифа, прежде всего необходимо определить напряжение, возникающее в его сечении. Под действием приложенных сил — суммарного натяжения струн — гриф подвержен внецентровому сжатию (рис. 37). Получается сочетание сжатия древесины и изгиба грифа. К напряжениям в сечении грифа от сжатия добавляются напряжения от изгиба, определяемые по изгибающему моменту. Максимальные напряжения, возникающие в сечении грифа под действием этих сил, можно определить по формуле, исходя из условий прочности:

$$\sigma_{\max} = P/F + M_x/W_x \leq [\sigma], \quad (15)$$

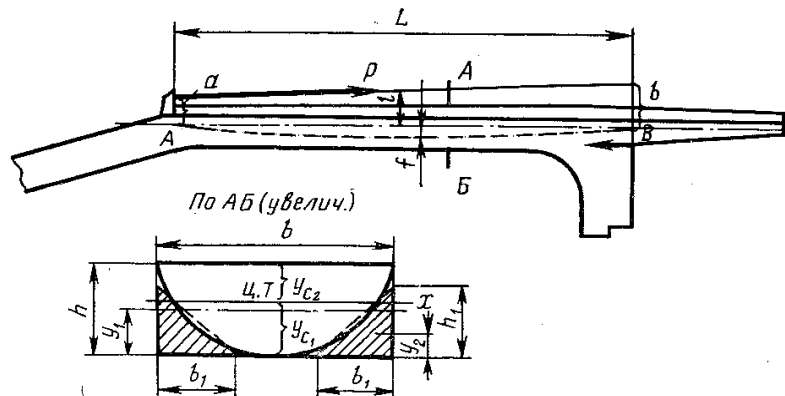
где P — суммарное натяжение струн, Н; F — площадь поперечного сечения грифа, м²; M — изгибающий момент относительно оси x , Н/м; W — момент сопротивления сечения относительно оси x , м³; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение при сжатии вдоль волокон, МПа.

Если $M_x = Pl$, где l — расстояние от струны до линии, проходящей через центр тяжести, м, а $W_x = I_x / y_{c1}$, где I_x — момент инерции сечения грифа относительно оси x , м⁴; y_{c1} — положение центра тяжести, м, то формула примет вид

$$\sigma_{\max} = P/F + Pl y_{c1} / I_x \leq [\sigma]. \quad (16)$$

Расчет будем вести для грифа гитары семиструнной с длиной мензуры 650 мм.

Рис. 37. Силы, действующие на гитарный гриф



Сечение грифа в средней его части представим в виде прямоугольника и двух треугольников (см. рис. 37). Принимаем $P = 1000$ Н (100 кгс). Стороны прямоугольника по сечению грифа равны: $b = 56$ мм (0,056 м); $h = 24$ мм (0,024 м).

Стороны треугольника равны: $b_1 = 19$ мм (0,019 м); $h_1 = 16$ мм (0,016 м).

Площадь прямоугольника $F_1 = bh = 0,056 \cdot 0,024 = 0,00134$ м².

Площадь треугольника $F_2 = F_3 = b_1 h_1 / 2 = 0,019 \cdot 0,016 / 2 = 0,00015$ м².

Площадь сечения грифа составляет

$$F = F_1 - 2F_2 = 0,00134 - 2 \cdot 0,00015 = 0,00104 \text{ м}^2.$$

Определяем положение центра тяжести:

$$y_{c1} = (F_1 y_1 - 2F_2 y_2) / F; \quad y_1 = h/2 = 0,024 : 2 = 0,012 \text{ м};$$

$$y_2 = h_1/3 = 0,016 : 3 = 0,0053 \text{ м};$$

$$y_{c1} = \frac{0,00134 \cdot 0,012 - 2 \cdot 0,00015 \cdot 0,0053}{0,00104} = 0,014 \text{ м}.$$

Тогда

$$y_{c2} = 0,24 - 0,014 = 0,01 \text{ м}.$$

Момент инерции сечения грифа относительно оси x , проходящей через центр тяжести, определяют из выражения

$$I_x = \left[\frac{bh^3}{12} + bh(y_{c1} - y_1)^2 \right] - 2 \left[\frac{b_1 h_1^3}{36} + \frac{b_1 h_1}{2} (y_{c1} - y_2)^2 \right].$$

Подставив числовые значения, получим:

$$I_x = \left[\frac{0,056 \cdot 0,024^3}{12} + 0,056 \cdot 0,024(0,014 - 0,012)^2 \right] - \\ - 2 \left[\frac{0,019 \cdot 0,016^3}{36} + \frac{0,019 \cdot 0,016}{2} (0,014 - 0,0053)^2 \right] = 43 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4.$$

Подставив все величины в формулу (16), получим

$$\sigma_{\max} = \frac{1000}{0,00104} + \frac{1000 \cdot 0,012 \cdot 0,014}{43 \cdot 10^{-9}} = 39 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2, \text{ или } 3,9 \text{ МПа} \\ (39 \text{ кгс/см}^2).$$

Предел прочности на сжатие вдоль волокон для бука составляет 46, а для клена 54 МПа. Как видно из расчета, запас прочности у грифа достаточно велик: он составляет соответственно 11,8 и 13,8. Но это еще не означает, что сечение грифа можно уменьшить. Необходимо проверить величину прогиба, который должен быть минимальным, чтобы при игре струны не дребезжали.

Прогиб грифа (в м) можно определить по формуле

$$f = \frac{PL^2(a+b)}{16EI}, \quad (17)$$

где L — расстояние от порошка до торца пятки, м. В крайних точках A и B прогиб принимаем равным нулю; a и b — расстояния от струн у 1-го и 12-го ладов до линии, проходящей через центр тяжести, м; E — модуль упругости, Н/м².

Принимаем $L = 0,34$ м (половина длины мензуры плюс расстояние от 12-го лада до торца пятки), $a = 0,012$ м, $b = 0,015$ м; для бука $E = 14\,000 \text{ МПа} = 14 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$.

Подставляя числовые значения, получим

$$f = \frac{1000 \cdot 0,34^2(0,012 + 0,015)}{16 \cdot 14 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \cdot 43 \cdot 10^{-9}} = 0,000325 \text{ м, или } 0,325 \text{ мм.}$$

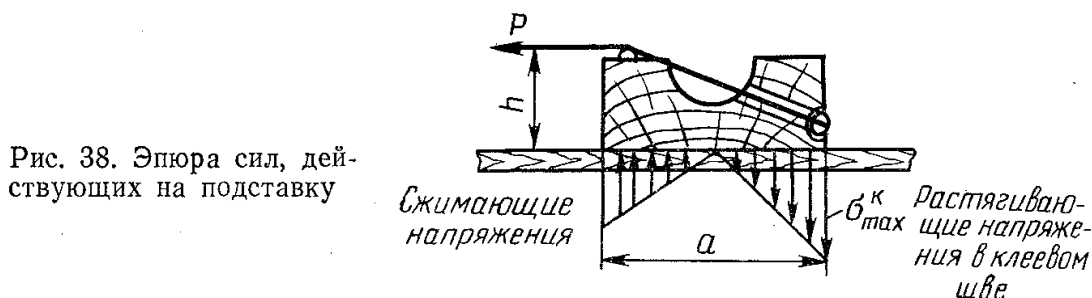
Таким образом, стрела прогиба от изгибающего момента, вызванного напряжением струн, равна 0,325 мм, т. е. находится на пределе допустимого расстояния между струнами и плоскостью ладовых пластин. Отсюда можно сделать вывод, что уменьшать сечение грифа, особенно по толщине, не следует.

Заметим также, что увеличение высоты струн над ладовыми пластинами ведет к увеличению прогиба. Следовательно, указанные в чертежах и РСТ размеры высоты струн над ладовыми пластинами следует выдерживать.

Расчет прочности приклеивания подставки. Прочность клеевого соединения подставки, приклеенной к деке, будет обеспечена, если максимальные напряжения, возникающие в клеевом шве, не превышают допустимых.

Подставка работает на отрыв под воздействием изгибающего момента, равного суммарному натяжению струн, помноженному на расстояние от плоскости струн до деки у ладовой пластины.

На клеевой шов в плоскости крепления струн действуют растягивающие напряжения, а в плоскости давления струн на подставку (через ладовую пластину) — сжимающие напряжения. В средней части подставки, удаленной от места приложения сил, напряжения убывают. Эпюра сил, действующих на клеевой шов, приведена на рис. 38.



Условие прочности клеевого соединения определяется выражением

$$\sigma_{\max}^k = \frac{M}{W} \leq [\sigma^k], \quad (18)$$

где $\sigma_{\max}^k$ — максимальное растягивающее напряжение в клеевом шве, МПа; M — изгибающий момент, Н·м; W — момент сопротивления сечения подставки, м³; $[\sigma^k]$ — допускаемое напряжение клеевого соединения, МПа.

Суммарное натяжение струн P принимаем 1000 Н (100 кгс). Расстояние от плоскости струн до деки у ладовой пластины подставки $h = 12$ мм. Тогда $M = Ph = 1000 \cdot 0,012 = 12$ Нм;

$$W = ba^2/6,$$

где b — длина подставки (принимаем равной 0,18 м); a — ее ширина (принимаем равной 0,03 м).

Подставив числовые значения, получим

$$\sigma_{\max}^k = \frac{12 \cdot 6}{0,18 \cdot 0,03^2} = 44 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 0,44 \text{ МПа (4,4 кгс/см}^2\text{)}.$$

Допускаемое напряжение σ^k клеевого соединения на скалывание для глинистых клеев находится в пределах 6—10 МПа (60—100 кгс/см²). Таким образом, запас прочности клеевого соединения у приклеенной подставки составляет $60 : 4,4 = 13$ (без дополнительного крепления шурупами).

Следовательно, при условии соблюдения режимов склеивания и отсутствии пороков древесины, особенно косослоя у резонансной деки, опасаться отрыва подставки не следует.

Из эпюры видно, что максимальные напряжения в клеевом шве достигают в плоскости крепления струн. Именно поэтому особенно хорошо должна быть приклеена задняя часть подставки.

Расчет напряжений в деке. Напряжения в деке возникают под действием изгибающего момента, Н·м: $M = Ph$.

Напряжения в деке определяют лишь на участке крепления подставки, т. е. участке, находящемся в наименее выгодных условиях

$$\sigma = \frac{M}{2 \frac{ba^2}{6}} \quad (19)$$

где b — длина подставки, м; a — толщина деки, м.

Подставляя числовые значения, получим

$$\sigma = \frac{1000 \cdot 0,012}{2 \frac{0,18 \cdot 0,0025^2}{6}} = \frac{12 \cdot 3}{1125 \cdot 10^{-9}} = 32 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 = 32 \text{ МПа (320 кгс/см}^2\text{)}.$$

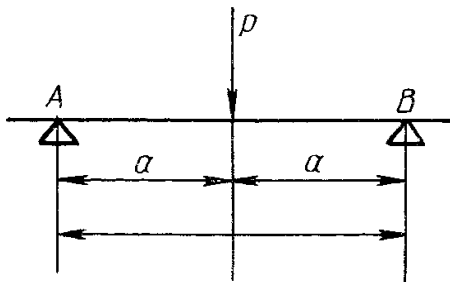


Рис. 39. Силы, действующие на деку

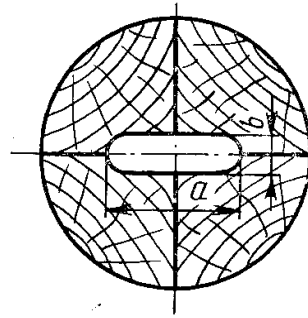


Рис. 40. Сечение колонны арфы

Предел прочности древесины ели при статическом изгибе равен 77 МПа. Таким образом, запас прочности составляет всего лишь 2,3, что может оказаться на пределе при наличии в дощечке косослоя.

Расчет деки домры-прима трехструнной. Давление струн на деку определяют по формуле

$$B = P \sin \alpha, \quad (20)$$

где P — суммарное натяжение струн на деку, Н; α — угол излома струны.

Принимаем $P = 400$ Н (40 кгс); $\alpha = 10^\circ$. Тогда

$$B = 400 \cdot \sin 10^\circ = 400 \cdot 0,17365 = 70 \text{ Н.}$$

Определяя толщину деки, рассчитываем тот ее участок, который находится под подставкой. Подставка установлена посередине между первой и второй пружинами на расстоянии 26 мм от каждой из них. Поэтому деку можем рассматривать как балку, свободно лежащую на двух опорах (рис. 39).

Допускаемое напряжение $\sigma_{\text{доп}} = M/W$.

Изгибающий момент

$$M = P \cdot 2a/l = 70 \cdot 2 \cdot 0,026 / 0,052 = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Так как балка (дека) — прямоугольного сечения, то момент сопротивления, м^3

$$W = bh^2/6,$$

где b — длина подставки (принимается равной 0,09 м); h — толщина деки, м.

Подставляя значение W в формулу, получим

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{M}{bh^2/6} = 6M/bh^2, \text{ откуда } h = \sqrt{6M/b\sigma_{\text{доп}}},$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ для древесины ели составляет $425 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ (425 кгс/см^2).

Подставляя числовые значения, получим

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,9}{0,09 \cdot 425 \cdot 10^5}} = \frac{2,34}{19,5 \cdot 10^2} = 1,2 \text{ мм.}$$

Таким образом, теоретически толщина деки домры-прима трехструнной с тремя пружинами равна 1,2 мм. Подсчитано, что толщина деки с двумя пружинами должна быть не менее 2 мм. Практически толщина деки для домры-прима трех- и четырехструнной колеблется в пределах 1,8—2,2 мм.

Расчет колонны арфы. При расчете колонны сначала определим напряжение. Величину напряжений, вызываемых продольной силой натяжения струн в поперечных сечениях колонны (рис. 40) определяем по формуле, МПа

$$\sigma = P/F, \quad (21)$$

где P — суммарное натяжение струн, Н; F — площадь поперечного сечения колонны, м^2 , равная $F = \pi D^2/4 - ab$, где D — диаметр сечения колонны, м; a и b — ширина и высота паза внутри колонны, м.

Принимаем $P = 10\,000 \text{ Н}$; $D = 0,08 \text{ м}$; $a = 0,04 \text{ м}$; $b = 0,012 \text{ м}$. Отсюда

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,08^2}{4} - 0,04 \cdot 0,012 = 0,0045 \text{ м}^2;$$

$$\sigma = \frac{10\,000}{0,0045} = 220 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 22 \text{ МПа} \text{ (} 220 \text{ кгс/см}^2 \text{)}.$$

Предел прочности при сжатии вдоль волокон для древесины клена составляет 54 МПа. Запас прочности равен 2,5. Это — сравнительно небольшой запас, поэтому недопустимо использовать для колонны арфы древесину с меньшим пределом прочности.

ОСНОВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЩИПКОВЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Для изготовления щипковых музыкальных инструментов применяется большой ассортимент основных и вспомогательных материалов. К группе основных относятся материалы, входящие в изделие: древесина и древесные материалы (фанера клееная, шпон лущеный и строганый), металлы черные и цветные, пластмассы, клеи животного происхождения и синтетические, отделочные материалы (красители, лаки и политуры), различные химикаты.

К группе вспомогательных относятся материалы, с помощью которых обрабатываются детали, узлы и изделие: шлифовальная шкурка, полировальная паста, вата, трикотажный лоскут и др.

Для обеспечения высокого качества музыкальных инструментов — звучания, удобств игры, внешнего вида — необходимо, чтобы качество материалов, применяемых для их изготовления, отвечало особым требованиям, вытекающим из различного назначения деталей или узлов изделия. Например, к резонансным дощечкам, предназначенным для изготовления дек, предъявляются требования радиальности распиловки, прямослойности; древесина для изготовления грифов должна обладать прочностью, быть без пороков, снижающих прочность, характеризоваться малой формоизменяемостью; древесина для порошков должна обладать высокой твердостью, проволока для ладовых пластин — необходимой твердостью и т. д.

Рассмотрим материалы, от качества которых зависит и качество музыкальных инструментов.

ДРЕВЕСИНА И ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В производстве щипковых музыкальных инструментов применяются пиломатериалы хвойных пород, главным образом ель и лиственница (ГОСТ 8486—66 и РСТ РСФСР 96—75), лиственных пород — бук, клен, граб, береза, груша, орех (ГОСТ 2695—71) и экзотических пород — красное дерево, палисандр, черное дерево, фернамбук. В порядке кооперированных поставок предприятия получают от специализированных предприятий Музлесдрев резонансные заготовки для дек (ГОСТ 6900—69 и ТУ 205 РСФСР 972—75) и заготовки для деталей музыкальных инструментов (РСТ РСФСР 95—75). Рассмотрим некоторые требования к древесине, имеющие для нас наиболее важное значение.

Влажность. Влажность древесины характеризуется количеством содержащейся в ней воды. Удаление влаги из древесины, ее высушивание или, наоборот, поглощение (разбухание древесины) происходит при определенной температуре и влажности окружающей среды, воздуха.

Способность (свойство) древесины отдавать влагу или поглощать ее называется гигроскопичностью. Когда процесс удаления влаги прекращается, древесина высыхает и достигает так называемой равновесной влажности. С уменьшением количества влаги объем и линейные размеры древесины уменьшаются. Это явление называется усушкой древесины; при поглощении влаги происходит обратное явление — увеличение объема древесины и линейных размеров — разбухание древесины. Вследствие анизотропности (неоднородности) строения древесины линейное изменение размеров неодинаково в разных направлениях. Усыхание древесины в основном происходит в тангенциальном (до 8—12%) и радиальном (4,5—8%) направлениях.

Усушка вдоль волокон составляет всего лишь 0,1% и во внимание не принимается.

Неравномерное высыхание древесины, неодинаковая усушка в разных направлениях вызывают в древесине внутренние напря-

жения, которые приводят к растрескиванию, короблению, деформации деталей, ухудшению звуковых и игровых свойств, а также усложняет технологический процесс.

Для предотвращения растрескивания, изменения размеров и формы, а также коробления деталей музыкальных инструментов необходимо, чтобы производственная влажность, т. е. влажность древесины в период обработки ее на предприятии, была равна или на 1—2% ниже эксплуатационной, т. е. влажности в период службы изделия, его эксплуатации. При такой незначительной разнице по влажности древесина будет поглощать влагу, несколько разбухать, уплотняя соединения деталей между собой. По техническим условиям влажность древесины, применяемой для изготовления музыкальных инструментов, должна находиться в пределах $8 \pm 2\%$.

Прочность. Ряд деталей щипковых музыкальных инструментов, имея незначительную ширину и толщину, подвергается большим нагрузкам, испытывая при этом довольно высокие напряжения, в результате чего детали могут деформироваться. Так, гриф гитары, изготовленный из недостаточно прочной древесины, под действием натяжения струн выгибается. Стрела прогиба, равная всего лишь 0,35—0,4 мм, вызывает биение струн о ладовые пластины или дребезжание струн во время игры. Инструмент становится непригодным для игры.

Следовательно, детали, находящиеся под воздействием внешних сил, необходимо изготавливать из качественной, наиболее прочной древесины, способной оказывать сопротивление воздействию этих сил. Этому требованию в большой степени отвечает древесина твердолиственных пород, которые, кроме того, хорошо поддаются отделке.

Прочность древесины снижают такие пороки, как сучки, косо-слои, трещины, описание которых дано ниже.

Показатели прочности древесины различных пород приведены в табл. 13.

Текстура. В производстве щипковых музыкальных инструментов текстура древесины имеет большое значение для получения красивого внешнего вида.

Корпуса концертных гитар, балалаек, домр изготавливают из струйчатого клена, клена «птичий глаз», ореха, палисандра, имеющих красивую текстуру. Строганный шпон из этих же пород древесины, применяемый для облицовки дна, обечаек гитар, мандолин, арф имеет такой же красивый рисунок.

В соответствии с техническими условиями детали инструмента должны быть подобраны не только по слою и цвету, но и по текстуре, чтобы симметричные детали — клепки у домр и балалаек, половинки дна у гитар, клинки у задинок балалаек и др. — имели однородный или симметричный рисунок. Колковая рама, обечайки корпуса, основание у арф должны быть облицованы строганным шпоном, имеющим также однородный или симметричный рисунок.

ТАБЛИЦА 13. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ)
НЕКОТОРЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Порода древесины	Влажность, %	Предел прочности, МПа					Твердость, МПа		
		при сжатии вдоль волокон	при статическом изгибе	при растяжении вдоль волокон	при скалывании вдоль волокон		торцевая	радиальная	тангенциальная
					радиальном	тангенциальном			
Ель	12	44,5	79,5	103,0	6,9	6,8	26,0	18,0	18,0
Пихта кавказская	12	44,5	82,0	114,0	8,4	9,0	38,0	—	—
Пихта сибирская	12	39,0	68,5	67,0	6,4	6,5	28,0	17,0	—
Кедр сибирский	12	42,0	73,5	90,5	6,0	7,0	22,0	—	—
Сосна обыкновенная	12	48,5	86,0	103,5	7,5	7,3	28,5	24,0	25,0
Бук	12	55,5	108,5	123,0	11,6	14,5	61,0	43,5	44,5
Граб	12	53,0	121,0	134,5	14,1	17,7	82,5	70,0	71,5
Береза	12	55,0	109,5	108,0	9,3	11,2	46,5	37,0	33,0
Орех	12	48,5	97,5	—	10,0	10,6	58,0	—	—
Клен	12	53,0	109,0	—	11,3	12,9	69,0	50,5	58,5
Груша	12	51,5	97,5	—	8,1	12,6	72,0	54,0	55,0

Рассмотрим кратко характеристику некоторых пород древесины, применяемых в производстве щипковых музыкальных инструментов.

Хвойные породы

Ель. В производстве музыкальных инструментов (включая клавишные и смычковые) широко применяется древесина ели однородного белого цвета, иногда со слабо-желтоватым или розовым оттенком и с хорошо выраженными во всех разрезах годовыми слоями. Поздняя зона — более темного цвета. Сердцевинные лучи не видны. Отличается легкостью, малой смолистостью, сравнительно большой упругостью.

Из всех видов ели лучшими физико-механическими свойствами обладает ель обыкновенная, или европейская, поступающая из Архангельской, Вологодской и Пермской областей, Карельской АССР, Удмурдской АССР, и ель сибирская, растущая в лесах Сибири, частично на Урале и в Приморском крае.

Ель радиальной распиловки, у которой годовые слои перпендикулярны плоскости распила, носит название резонансной, ее особенности мы рассмотрим отдельно.

Пихта. По внешнему виду древесина пихты не отличается от древесины ели — имеет такой же однородный белый цвет. Сердцевинные лучи не видны. Из всех видов (сибирская, кавказская, дальневосточная) наиболее высокими физико-механическими свойствами, не уступающими свойствам древесины ели, отличается пихта кавказская, которая с успехом может быть применена для

изготовления дек и других деталей из древесины ели. Такой важный показатель, как акустическая константа, одинаков для ели и пихты кавказской и составляет 12 м⁴/кгс.

Кедр. Древесина розовато-белая, мягкая, легкая, хорошо обрабатывается. Имеет смоляные ходы. Годовые слои хорошо заметны. Сердцевинные лучи не видны. Лучшими физико-механическими свойствами, близкими к свойствам древесины ели, обладает кедр сибирский. Однородность строения, небольшая разность между ранней и поздней зонами годовых слоев, красивый цвет и текстура позволяют применять древесину кедра для изготовления дек и других деталей музыкальных инструментов.

Лиственные породы

Бук. Древесина белого цвета с желтовато-красным оттенком. Годовые слои хорошо заметны на всех разрезах. Ясно выраженные на радиальном и полурadiaльном разрезах широкие сердцевинные лучи в виде блестящих отрезков лент и коричневых чечевичек придают древесине бука красивую текстуру. В пропаренном виде хорошо гнется, что очень важно при изготовлении клепок для корпусов домр и балалаек. Высокие физико-механические свойства, красивая текстура обуславливают применение бука в производстве щипковых музыкальных инструментов.

Отрицательным свойством древесины бука является ее подверженность короблению при усушке.

Граб. Древесина белого цвета с сероватым оттенком, с хорошо заметными извилистыми годовыми слоями на поперечном разрезе. Твердая, тяжелая, однородная древесина обладает высокими физико-механическими свойствами. Как и древесина бука, при высыхании подвержена короблению и растрескиванию. Применяется для изготовления ручек, порошков щипковых музыкальных инструментов.

Береза. Древесина белого цвета с желтоватым или красноватым оттенком. Годовые слои на всех разрезах различаются плохо. Древесина березы отличается высокой прочностью, хорошо полируется. Применяется главным образом для изготовления лущеного шпона, фанеры клееной.

В производстве щипковых музыкальных инструментов применяется для изготовления деталей грифа: головок, клепок для балалаек и домр, клецев и др.

Карельская береза отличается красивой текстурой, большой твердостью, не растрескивается, является прекрасным материалом для изготовления клепок корпусов для сольных балалаек и домр.

Клен. Древесина белого или слегка красновато-желтого цвета с шелковистым блеском. Годовые слои видны довольно хорошо на всех разрезах. Сердцевинные лучи, особенно на радиальном и полурadiaльном разрезах благодаря темному цвету и блеску придают древесине исключительно красивый вид.

Древесина клена плотная, твердая, тяжелая, обладает большой прочностью. Высокие физико-механические свойства клена,

малая подверженность короблению, красивая текстура делают древесину клена весьма ценным материалом в производстве щипковых и смычковых музыкальных инструментов.

Наибольшую ценность представляет собой клен-явор или, как его называют, струйчатый, а также разновидность клена «птичий глаз», радиальный разрез которых имеет очень красивую текстуру. Грифы и клепки сольных и концертных гитар, балалаек и домр изготавливают из клена-явора, клена «птичий глаз». Ответственные детали арфы — колонны, колковая рама, крышка основания — изготавливаются только из клена.

Груша. Древесина красивого розового или буровато-розового цвета, однородного строения. Годовые слои видны плохо, сердцевинные лучи незаметны. Древесина груши тяжелая, твердая, хорошо обрабатывается и полируется. Имеет довольно высокие физико-механические свойства, близкие по показателям к свойствам древесины граба. При высыхании не подвержена короблению и растрескиванию. Применяется для изготовления ручек, наклеек, подставок.

Орех. Древесина серовато-коричневого цвета с красивой разнообразной текстурой. Годовые слои заметны слабо, сердцевинные лучи незаметны. Обладает высокими физико-механическими свойствами, хорошо обрабатывается и полируется, почти не подвержена короблению. Применяется в основном для изготовления клепок домр, балалаек.

Строганный шпон древесины ореха является наиболее ценным материалом для облицовки деталей корпусов гитар и арф.

Экзотические породы

Красное дерево. Древесина красного цвета с различными оттенками. Годовые слои и сердцевинные лучи заметны слабо. Сравнительно высокими физико-механическими свойствами обладает древесина американского махагони, растущего главным образом в Центральной Америке. Плотность древесины 540 кг/м^3 , предел прочности при сжатии вдоль волокон $40,5 \text{ МПа}$ (405 кгс/см^2), при статическом изгибе 71 МПа (710 кгс/см^2), при скалывании в радиальном направлении 8 МПа ; твердость в торцевом направлении $43,5 \text{ МПа}$. Древесина махагони имеет красивый цвет и текстуру, хорошо полируется, при высыхании почти не коробится и не растрескивается. Употребляется в виде строганого шпона для облицовки деталей арф, гитар, мандолин и массивной древесины для ручек грифов музыкальных инструментов.

Черное дерево. Из нескольких видов тропических деревьев, дающих древесину черного цвета, лучшим сортом является индийское черное, или эбеновое, дерево, произрастающее в Южной Индии, и гренадильное дерево.

Древесина однородного строения, годовые слои и сердцевинные лучи незаметны, имеет высокие физико-механические свойства: плотность 1160 кг/м^3 , предел прочности при сжатии вдоль волокон

79,5 МПа, твердость в торцевом направлении 173,5 МПа; хорошо полируется. В производстве щипковых музыкальных инструментов применяется для изготовления ручек и накладок для грифов концертных домр, балалаек, гитар, мандолин.

Палисандр. Древесина палисандра имеет различные цвета: темно-красный, темно-коричневый, шоколадный с фиолетовым оттенком, часто неравномерной окраски (с черными и темно-коричневыми полосами). Произрастает в лесах Южной Америки (Бразилия, Аргентина).

Годовые слои заметны слабо, сердцевинные лучи плохо видны. Древесина с высокими физико-механическими свойствами, твердая, тяжелая, плотная (800—900 кг/м³), мало усыхает, трудно раскалывается, хорошо полируется. Применяется главным образом для изготовления концертных гитар, балалаек, домр.

Фернамбук (бразильское красное дерево). Древесина темно-красного цвета с высокими физико-механическими свойствами, плотная, малоформоизменяема, произрастает главным образом, в странах Южной Америки. Применяется для изготовления смычков, грифов щипковых музыкальных инструментов.

Резонансная древесина

Выше отмечалось, что звучание щипковых музыкальных инструментов (как и смычковых и других струнных музыкальных инструментов) во многом зависит от качества резонансных дек, изготавливаемых из древесины ели и пихты радиальной распиловки.

Кроме радиальности слоев резонансная древесина отличается: мелкослойностью (отсутствием широких годовых слоев), ровно-слойностью (ровной, без значительных колебаний шириной соседних годовых слоев), прямолинейностью, отсутствием пороков (сучков, крени, завитков, косослоя).

Основными показателями качества резонансной древесины являются их физико-механические свойства, определяющие акустические свойства деки — модуль упругости и плотность материала.

Академик Е. Н. Андреев установил, что акустические свойства резонансной древесины характеризуются так называемой *акустической константой*, величиной, зависящей от модуля упругости и плотности материала, и выражающейся формулой

$$C = \sqrt{E/\rho^3}, \quad (22)$$

где C — акустическая константа, м⁴/кгс; E — модуль упругости, МПа; ρ — плотность материала, кг/м³.

Из этой зависимости видно, что с увеличением модуля упругости древесины и уменьшением ее плотности значение акустической константы возрастает и, наоборот, падает с увеличением плотности древесины. Следовательно, лучшей считается древесина, имеющая более высокий модуль упругости и небольшую плотность.

Сравнительные данные плотности модуля упругости и акустической константы для некоторых пород древесины приведены в табл. 14, из которой видно, что древесина хвойных пород имеет наибольшие значения акустической константы при сравнительно небольшой плотности, тогда как древесина лиственных пород, наоборот, обладая большей плотностью, имеет значительно меньшие значения акустической константы.

ТАБЛИЦА 14. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПЛОТНОСТИ, МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И АКУСТИЧЕСКОЙ КОНСТАНТЫ НЕКОТОРЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Порода древесины	Влажность древесины, %	Плотность, кг/м ³			Модуль упругости, ГПа			Акустическая константа, м ⁴ /кгс		
		максимальная	минимальная	средняя	максимальный	минимальный	средний	максимальная	минимальная	средняя
Ель резонансная	10	500	350	420	15,0	7,0	11,0	14,0	9,5	12,0
Пихта кавказская	10	550	380	450	16,0	10,0	13,0	14,0	10,0	12,0
Пихта сибирская	10	450	350	380	7,0	5,5	6,0	12,0	8,5	10,0
Кедр сибирский	10	450	350	380	9,5	7,0	8,0	13,5	9,0	12,0
Сосна отборная	10	650	400	500	21,0	10,0	15,0	13,5	8,6	11,0
Лиственница	12	780	490	680	12,0	8,5	10,0	8,5	4,3	5,6
Тисс обыкновенный	12	840	630	720	9,5	8,5	9,2	5,9	4,0	5,0
Каштан	10	—	—	500	—	—	11,0	—	—	9,0
Береза	10	770	480	630	20,0	8,0	14,0	8,5	6,5	7,5
Ольха черная	13	—	—	500	—	—	6,3	—	—	7,2
Ясень	10	850	600	700	18,0	13,0	15,0	8,0	5,0	6,5
Карагач	12	—	—	590	—	—	8,8	—	—	6,5
Дуб	12	760	610	690	16,1	8,3	12,7	6,2	6,0	6,2
Орех грецкий	12	—	—	670	—	—	10,7	—	—	6,0
Бук	10	800	600	750	18,0	11,0	14,0	7,0	5,0	6,0
Клен полевой	12	—	—	700	—	—	11,0	—	—	5,8
Груша	12	—	—	670	—	—	6,4	—	—	4,7
Яблоня	12	—	—	700	—	—	7,3	—	—	4,6
Самшит	13	—	—	1000	—	—	10,0	—	—	3,0

Поэтому деки щипковых и других струнных музыкальных инструментов (смычковых и клавишных) изготавливаются из резонансной древесины ели или близкой к ней пихты кавказской, обладающей достаточной прочностью и легкостью, т. е. наиболее высоким модулем упругости и наименьшей плотностью. В выражении акустической константы принят модуль упругости динамический, определяемый измерением собственной частоты колебаний резонансной дощечки. Для упрощения работ вместо динамического определяют статический модуль упругости измерением стрелы прогиба дощечки, лежащей на двух опорах и изгибающейся под действием сосредоточенного груза (рис. 41).

Известно, что стрела прогиба f (м) в этом случае определяется по формуле

$$f = Ql^3/48EI,$$

где Q — нагрузка на дощечку, Н; l — расстояние между опорами, м; I — момент инерции сечения, равный $bh^3/12$; b и h — ширина и толщина дощечки, м.

Отсюда, модуль упругости

$$E = Ql^3/4bh^3f.$$

Следует иметь в виду следующее:

величина груза Q должна быть такой, при которой древесина сохранит свою упругость после снятия груза, т. е. возвратится в исходное положение;

дощечки должны быть радиальной распиловки, так как только в этом случае древесина обладает наибольшим модулем упругости.

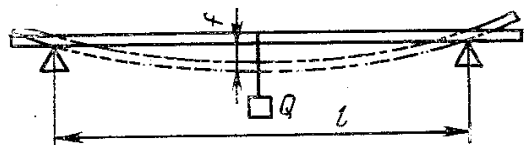


Рис. 41. Определение прогиба резонансной дощечки

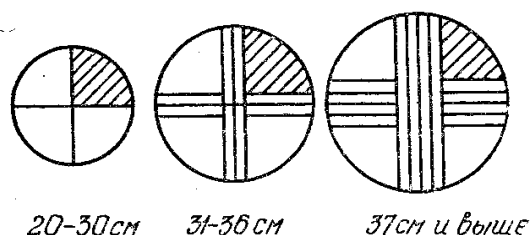


Рис. 42. Радиальная распиловка на резонансные пиломатериалы в зависимости от диаметра бревен

Радиальную распиловку бревен выполняют на специализированных заводах объединения Музлесдрев. Доски толщиной 16 мм выпиливают из средней части бревна, где угол между годовыми слоями и пластью доски составляет 90° , но не менее 60° .

Количество выпиливаемых досок зависит от диаметра бревен (рис. 42).

Рассмотрим, какое влияние оказывают макроскопические признаки строения древесины на модуль упругости и плотность.

Ширина годовых слоев. Исследованиями установлено, что ширина годового слоя оказывает влияние на модуль упругости и плотность и, следовательно, на акустическую константу. С увеличением ширины годового слоя плотность древесины и модуль упругости снижаются и, наоборот, с уменьшением ширины годового слоя (мелкослойная древесина) плотность и модуль упругости возрастают (рис. 43). Как видно из графиков, наиболее высокая плотность и высокий модуль упругости наблюдаются в узкослойной древесине с шириной годового слоя в пределах 0,5—0,8 мм. По мере увеличения ширины годового слоя до 4—4,5 мм плотность и модуль упругости равномерно снижаются; при ширине свыше 5 мм эти значения снова возрастают. Равномерное изменение ширины годового слоя в пределах 0,5—4,5 мм сколько-нибудь заметного влияния на величину акустической константы не оказывают. Вот почему в технических условиях на резонансную дощечку допускаемая ширина годового слоя находится в этих пределах. Чтобы плотность и модуль упругости в заготовке были одинаковы,

ширина годового слоя в заготовке не должна иметь значительных колебаний. Техническими условиями установлено, что колебания на двух соседних сантиметрах не должны превышать 1 мм, а по всей ширине дощечки — 2 мм.

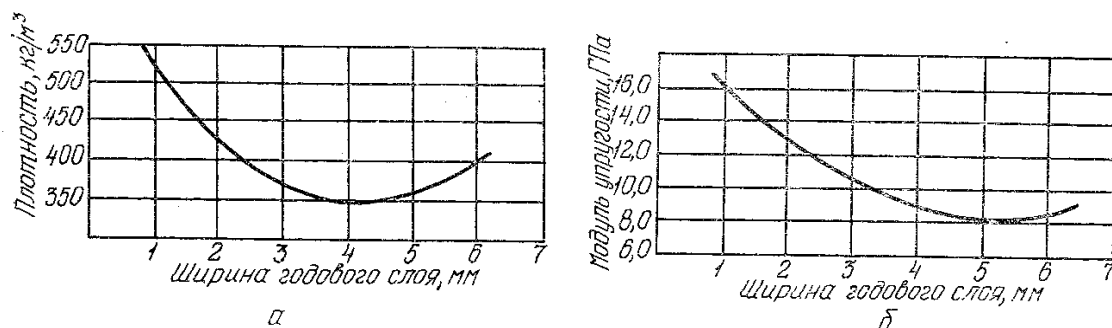


Рис. 43. График изменения плотности (а) и модуля упругости (б) древесины ели в зависимости от ширины годовых слоев

Содержание поздней зоны древесины. На плотность и модуль упругости большое влияние оказывает процентное содержание поздней (осенней, спелой) зоны древесины в годовом слое. С увеличением процентного содержания поздней зоны плотность древесины в годовом слое не превышает 20%. Установлено, что акустическая константа при этом не снижается, если поздняя зона древесины в годовом слое не превышает 20%. Увеличение процентного содержания поздней зоны влечет за собой снижение значения акустической константы.

Пороки древесины

Для обеспечения высоких игровых и акустических требований, предъявляемых к щипковым музыкальным инструментам, удовлетворения требований к внешнему виду и отделке, применяется соответствующего качества древесина не ниже I и II сортов. Более низкие сорта не только ухудшают качество музыкальных инструментов, но и снижают полезный выход черновых заготовок из пиломатериалов, а также показатели работы предприятия.

На качество древесины большое влияние оказывают ее пороки, которые если и допускаются, то с определенными ограничениями.

Крень. Кренивая часть древесины отличается большим содержанием поздней зоны в годовом слое, имеет буровато-красный цвет. На физико-механические свойства древесины крень оказывает существенное влияние. Ширина годовых слоев в кренивой части в 2—3 раза больше ширины годовых слоев в нормальной древесине.

Модуль упругости кренивой части при статическом изгибе и растяжении вдоль волокон почти в 2 раза меньше, чем у нормальной древесины, плотность повышается, акустическая константа снижается.

Кроме того, кренивая древесина имеет различную усушку, вызывающую сильное коробление и растрескивание. Поэтому на деки щипковых музыкальных инструментов допускается крень прожилковая с ограничениями — один кренивый слой на 50 мм ширины заготовки.

Косослой. Исследованиями НИИМПа установлено, что наклон волокон естественный или искусственный, т. е. получающийся в результате неправильной распиловки (перерезания волокон на радиальной поверхности), снижает модуль упругости древесины, оказывая, таким образом, отрицательное влияние на акустические свойства резонансной древесины.

С увеличением угла наклона волокон модуль упругости существенно снижается. Влияние угла наклона на величину модуля упругости приведено в табл. 15.

ТАБЛИЦА 15. ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ВОЛОКОН НА МОДУЛЬ УПРУГОСТИ

Угол наклона волокон, град	Модуль упругости, ГПа		Снижение модуля упругости, %
	без наклона волокон	с наклоном волокон	
3	17,9	17,8	0,5
5	18,2	17,2	5
9	17,4	15,0	14
20	14,4	7,0	48,5

Как видно из таблицы, модуль упругости значительно снижается при угле наклона волокон 9° и более.

Наличие косослоя является серьезным пороком, вызывающим повышенную усушку и коробление заготовок. Кроме того, косослой снижает прочность древесины и затрудняет механическую обработку резонансной дощечки (на поверхности при строгании получаются задиры). Отрыв гитарных подставок вместе с вырывом древесины деки свидетельствует об увеличенном угле наклона волокон. Дека, склеенная из дощечек с перерезанными волокнами, имеет не красивый внешний вид.

Для дек щипковых музыкальных инструментов наклон волокон (рис. 44, а) допускается не более 5%, а наклон годовых слоев (рис. 44, б) для заготовки пласти — не более 2%.

Завиток. Местное искривление годовых слоев — завиток, встречается на пиломатериалах, заготовках всех пород. Наличие завитка в резонансных заготовках, особенно двусторонних и сквозных, до 27—30% снижает прочность и модуль упругости, что в свою очередь снижает акустическую константу. Поэтому техни-

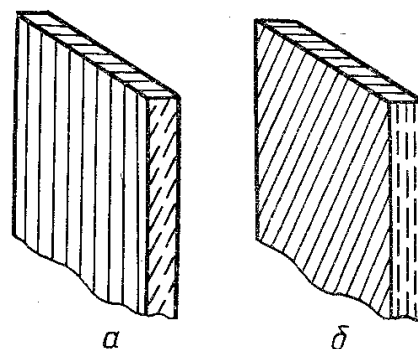


Рис. 44. Косослой в резонансных дощечках:

а — наклон волокон на тангенциальной стороне заготовки; б — наклон годовых слоев на радиальной поверхности

ческими условиями на резонансные заготовки допускается один завиток на заготовку длиной до 1 м.

Сучки. Наличие сучков в заготовке и связанное с ними искривление годовых слоев и волокон снижают механические свойства древесины. Поэтому в ответственных деталях — ручке, наклейке, пятке грифов, деке — сучки совершенно не допускаются. В шпоне и фанере клееной мелкие сучки здоровые, вполне сросшиеся, допускаются с ограничениями по размерам и количеству на заготовку.

Свилеватость. Свилеватость выражается в извилистом или перепутанном расположении волокон, которое чаще всего встречается у лиственных пород. Различают свилеватость **волнистую** с более или менее упорядоченным расположением изогнутых волокон и **путанную** с беспорядочным расположением волокон. Свилеватость снижает прочность древесины при растяжении, сжатии и изгибе, но повышает прочность при скалывании. Несмотря на то, что свилеватая древесина с трудом поддается обработке, ее в производстве музыкальных инструментов применяют, поскольку она придает древесине красивую текстуру.

Ложное ядро. Встречается в безъядерных лиственных породах, главным образом буке, березе, клене, грабе. Древесина ложного ядра окрашена в темно-бурый или красно-бурый цвет; в буке она имеет пониженные механические свойства при растяжении вдоль волокон, трудно пропитывается и плохо загибается. Поэтому древесина бука с ложным ядром для клепок домр, мандолин, балалаек применяется крайне редко. Древесина ложного ядра клена по свойствам (кроме пониженного водопоглощения) не уступает здоровой древесине.

Синева. Заболонная окраска грибкового происхождения, не вызывающего образования гнили, синева-серого цвета. Этому пороку подвержены все древесные породы, но чаще всего хвойные, в том числе резонансная ель.

Оптимальными условиями для развития синева являются температура воздуха 26—27° С и влажность от 35 до 80% (по Л. М. Перелыгину).

Исследованиями установлено, что синева не оказывает заметного влияния на физико-механические свойства древесины, но ухудшает внешний вид инструмента. Поэтому древесину с поверхностной синевой применяют с ограничениями. Деки с синевой окрашивают в более темный цвет. Появление синева можно предотвратить, создавая необходимые условия для хранения, особенно резонансных пиломатериалов и дощечек, на складах и предприятиях, соблюдая режимы сушки резонансных заготовок — дощечек.

Желтизна. Представляет собой химическую окраску лимонно-желтого цвета. Наблюдается в сплавной древесине хвойных пород, а также в резонансных заготовках. При соответствующих мягких режимах сушки часто исчезает. На физико-механические свойства желтизна влияния не оказывает, но ухудшает внешний вид инструмента. Поэтому резонансные дощечки с желтизной для изготовления дек применяют с ограничениями; такие деки окрашивают в более темный цвет (под «старину»).

Гниль. Этот порок не допускается ни в каких деталях, даже если эти детали второстепенные и нелицевые.

Фанера клееная и шпон

В производстве щипковых музыкальных инструментов применяется клееная березовая фанера марок ФСФ, склеенная фенолоформальдегидными клеями сорта А/АВ (ГОСТ 3916—69) и марок БС-1, БП-А и БП-В (ГОСТ 102—75).

Дно, контрбечайки поперечные гитар (плоских и полуovalных) изготовляют из трехслойной нешлифованной фанеры толщиной 3 мм.

Дно, бечайки, облицованные строганым шпоном, изготовляют из фанеры толщиной 1,5—2 мм.

Влажность поставляемой фанеры 6—10%, шероховатость — не ниже 6 класса.

Предел прочности фанеры на скалывание по клеевому шву после кипячения в воде в течение 1 ч составляет:

для фанеры ФСФ и ФК — 1,2 МПа;

для фанеры БС-1, БП-А и БП-В — 1,9 МПа.

Для изготовления бечаяек, продольных контрбечаяек, жилок, украшений на деки — панцирей, уголков, розеток, гнутоклееных грифов применяется березовый лущеный шпон (ГОСТ 99—75) сортов А и АВ.

Толщина шпона, мм

для бечаяек, панцирей, уголков, окантовочных жилок 1,15

для продольных контрбечаяек 0,75

для розеточных жилок 0,55

для гнутоклееных грифов 1,15—1,5

Шпон поставляют шириной от 150 до 700 мм, влажностью $8 \pm 2\%$; шероховатость его поверхности не ниже 5 класса (ГОСТ 7016—75).

Шпон строганый изготовляется из древесины бука, клена, красного дерева, лимонного дерева, палисандра I сорта (ГОСТ 2977—77) и предназначается для облицовки дна и бечаяек высококачественных гитар и мандолин, узлов арф (бечаяек корпуса, колковой рамы и основания). Толщина шпона 0,6—0,8 мм, абсолютная влажность $8 \pm 2\%$; шероховатость поверхности — не ниже 7 класса (ГОСТ 7016—75).

Фанера и шпон должны быть уложены в штабеля на подстопные места и храниться в сухом помещении при температуре не ниже 10°C и относительной влажности 65%. Шпон следует хранить в пакетах, уложенных в штабеля в шахматном порядке, высотой не более 1,5 мм.

Клеи

Основным видом соединения деталей из древесины на разных этапах технологического процесса изготовления щипковых музыкальных инструментов является склеивание.

