

Глава 2. Рожок изобилия

Исследовательская группа: Надежда Жданова, Игорь Поляков, Артем Хохлушин

Научный руководитель: А.П. Пятаков

*Свой Олифант Роланд руками стиснул
Поднес ко рту и затрубил с усильем
Высоки горы, звонок воздух чистый
Протяжный звук разнесся миль на тридцать...*

"Песнь о Роланде"

Музыкальные инструменты далеко не во все времена представляли собой воплощение благородства и утонченности. Наши предки не были столь разборчивы в выборе материалов, в ход шло все, что попадало под руку: крученая древесная кора, нити бамбука, кости, кожа, бычьи жилы, и даже сушеные обезьяньи кишки. Духовые инструменты не составляют исключения, знаменитый горн Роланда с благородным названием Олифант представляет собой слоновий бивень, да и само слово «горн» означает не что иное как «рог», «рожок». Казалось бы, что можно извлечь из рога? Только лишь одиночный заунывный звук... К счастью, все не так безотрадно, и при должном умении и силе легких из него можно извлечь пять, а то и семь нот, а это уже вполне достаточно для создания простых мелодий.



Волна в ловушке

Как известно, барон Мюнхгаузен бывал в России, о которой у него остались яркие воспоминания, многие из которых пополнили его коллекцию невероятных, но правдивых историй. Одна из них касается необычных свойств рожков. Впрочем, предоставим слово ему самому, дабы не исказить ни одну из деталей:

Во время этого путешествия и приключилась история, получившая впоследствии широкую огласку, но удивительно искажаемая многими рассказчиками, почему я охотно сообщу вам сейчас, друзья мои, ту именно версию, которая наиболее соответствует действительности. Получать сведения из первоисточника – лучшее средство для того, чтобы не сделаться жертвой различных обманщиков и хвастунишек.

В ту зиму не только в России, но и по всей Европе стояли такие холода, что даже солнце отморозило себе нос. Однажды пришлось нашей почтовой карете проезжать узкой проселочной дорогой, и, чтобы не столкнуться с другими каретами, я приказал почтальону дуть в свой рожок. Он дул долго и что было силы, но ни один звук не выходил из его сигнального рожка.

Грустные последствия этого странного обстоятельства не преминули сказаться. Очень скоро мы заметили, что нам навстречу бешено мчится другая карета, и остановить ее было поздно. Что оставалось делать? Я мгновенно выскочил из своей кареты и, обладая изрядной физической силой, поднял ее и перескочил через забор (принимая во внимание значительный наш багаж, надо признать, что это было делом нелегким). Не теряя ни мгновения, я вернулся за лошадьми, взяв одну под мышку, а другую напялив на голову, и перенес их таким же манером к карете. Вспоминаю, что лошадь под мышкой очень брыкалась, и мне пришлось засунуть ее задние ноги в карман. Встречная карета проехала, и я снова перенес нашу карету и лошадей на дорогу, после чего мы уже беспрепятственно добрались до ближайшей гостиницы и в ней заночевали.

Вот тут-то и приключилась нашумевшая история. Почтальон повесил свою шляпу и рожок на гвоздь возле печки, затем мы разделись и готовы были уже уснуть, как вдруг раздались чрезвычайно мелодичные звуки, и, к изумлению нашему, мы убедились, что они исходят... из отверстия рожка!

После короткого раздумья мы поняли, впрочем, что ничего чудесного тут нет. Когда почтальон многократно дул в свой рожок, звуки в нем замерзали (я уже упоминал о страшных холодах той зимой), чем и объяснялась тщетность его усилий в пути. Теперь же звуки эти оттаяли и изливались перед нами в тех самых мотивах, какие выдувал своими губами почтальон. Песни, услышанные нами, несомненно, делали честь его музыкальному дарованию! Тут были и "Ой вы, сени мои, сени", и "Ах, мой милый Августин", и несколько кавалерийских маршей, и многие народные песни, далеко за полночь услаждавшие нас. Вот как в точности было дело со звуками, замерзшими и

оттаявшими в почтовом рожке¹.

История про замерзшие мелодии не только предвосхищает изобретение звукозаписи (простим рассказчику не вполне точное описание физических принципов), но и может служить чем-то вроде притчи, которая, не будучи понятая буквально, рождает, тем не менее, множество полезных ассоциаций. В истории фигурировали звуки, замороженные в рожке, а мы будем говорить о волнах в нем, только не о «замороженных», а о *стоячих*. Они нам позволят объяснить, почему такой простой инструмент как рожок способен породить множество нот.

С точки зрения физики рожок представляет собой резонатор, открытый с обоих концов, в котором могут возбуждаться звуковые колебания. В таких колебаниях воздух колеблется не как единое тело: одни его части сжимаются, другие разжимаются, и если степень сжатия изображать графически, то возможные колебания будут изображаться кривыми, действительно напоминающими волны (рис.1), только это волны не бегущие, а стоящие на месте, запертые в пределах трубы (следует, впрочем, оговориться, что малая часть энергии все же выходит наружу, именно благодаря ней мы и слышим звук рожка).

На рисунке 1 показано всего три возможных колебания, но если внимательно присмотреться к ним, то можно понять принцип, по которому они отобраны, и без труда сообразить, как будут выглядеть колебания, соответствующие другим нотам, извлекаемым из рожка. Действительно, на рисунке 1 а) можно видеть *основной тон*, который соответствует половине волны, *первый обертон* (от немецкого «обер» – высший) изображается уже целой волной (рис. 1б) (то есть две полуволны), в случае второго обертона на длине резонатора умещается уже три полуволны. Угадываете закономерность? Нетрудно догадаться, что четвертый обертон будет изображаться пятью полуволнами.

Если вспомнить правило, связывающее длину волны с частотой звука:

$$c = \lambda f, \quad (1)$$

где c — скорость звука, f — частота, λ — длина волны, то можно заметить, что частоты звуков, изображенных на рисунке 1 должны образовывать ряд целых чисел: 1:2:3:4 и т.д.

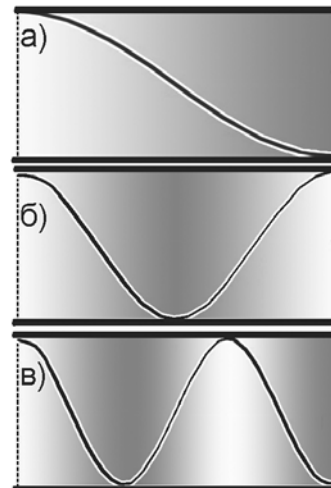


Рис. 1 Стоячие волны в резонаторе с двумя открытыми концами (цветом показаны сжатия и разрежения воздуха).

¹ Цитируется по изд. Э.Распе «Вечера барона Мюнхгаузена» пер. с немецкого. Минск, "Беларусь", 1993. По изд.: Э.Распе. М., 1927.

Это и есть музыкальные интервалы: основной тон с первым обертоном образуют *октаву* (их частоты относятся как один к двум), второй обертон с первым обертоном - *квинту* (два к трем), следующие обертоны – *кварту* (три к четырем) и т.д. Именно по этому в охотничьих песенках так часто встречаются *кварты* и *квинты*.

Остается один не выясненный вопрос, почему, собственно, волна оказалась запертой в роге, если в «темнице», точнее в резонаторе, оба выхода открыты? Дело в том, что труба и открытое пространство представляют собой как бы разные среды, а у волн есть свойство отражаться на границе двух сред (это относится не только к звуковым, но и ко всем другим волнам, скажем, к свету). В данном случае роль границы между средами играют края трубы. Получается, что звуковые волны «мечутся» внутри трубы, отражаясь от обоих ее концов. Так получаются стоячие волны, изображенные на рисунках 1.

Рожок из флейты

Для того чтобы изучить возможности, скрытые в резонаторе, и возбудить в нем колебания, мы использовали свисток от блок-флейты. Он легко отделяется от основной части (рис. 2а) и может быть присоединен к резонатору (вот уж, поистине, незавидная судьба досталась нашей флейте – обратится в наиболее примитивный из духовых инструментов).

В качестве резонатора может выступать лист картона, трубка из ПВХ или гофр, который можно без труда купить на хозяйственном рынке (рис. 2 б). Достоинством гофра является то, что его длину можно легко изменять.

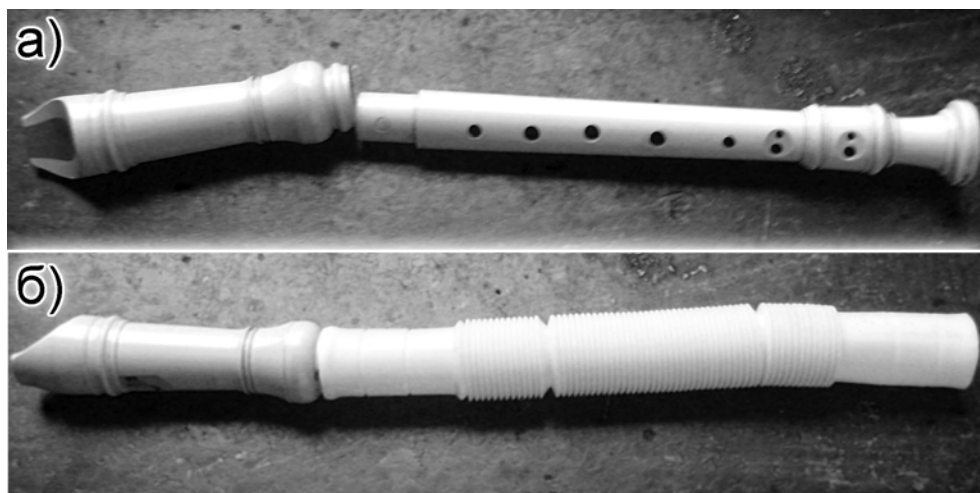


Рис.2 а) Блок-флейта с отделенным свистком б) импровизированный рожок из гофра

Запись звука и его обработку мы проводили в программе Cool Edit Pro. Пожалуй, наиболее наглядную и полную информацию о звуке дают *спектрограммы*. Спектрограмма – это диаграмма, по вертикальной оси которой откладывается частота, а

по горизонтальной – время (рис.3). Громкость звука изображается яркостью. Чем выше тон, тем выше его положение на спектрограмме, чем громче – тем более светлым цветом он изображается.

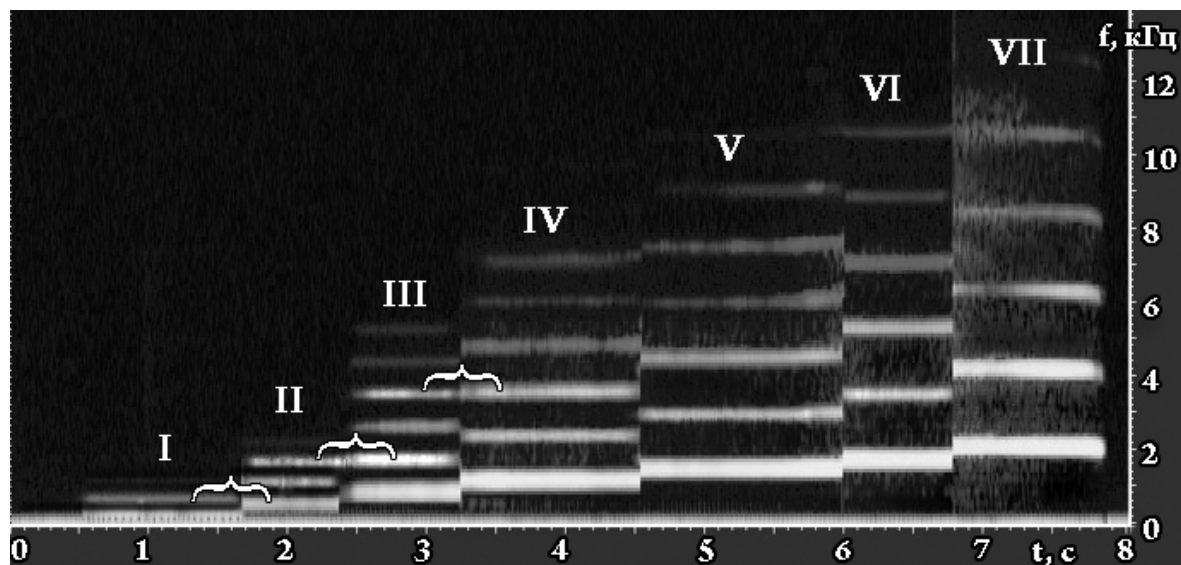


Рис. 3. Спектрограмма звуков рожка при постепенном увеличении напора воздуха

Начиная с легкого выдоха, мы постепенно наращивали напор воздуха, проходящего через свисток, и, что интересно, при этом увеличивалась не только громкость, но и высота извлекаемого тона. Это можно видеть на спектрограмме (рис.3) – основные тоны, изображаемые в виде ярких полос, образуют что-то вроде лестницы. Кроме того, на спектрограмме можно видеть, что одновременно с основным тоном звучат и обертоны, изображаемые в виде системы менее ярких параллельных полос. Причем частоты, которые соответствуют обертонам у низких звуков, становятся основными для более высоких: например у звука II основной тон лежит на высоте 1-го обертона звука I (при этом говорят, что они образуют интервал в октаву), совпадают и другие, высшие, обертоны. Такая «схожесть» звуков на слух воспринимается как музыкальная созвучность – «консонанс», в отличие от неприятно звучащих диссонансов – сочетаний звуков, в которых никакие обертоны не совпадают. У звука II второй обертон совпадает с первым обертоном III-го звука: они образуют квинту. Составляющие кварту звук III и звук IV имеют общие третий и второй обертоны.

Интересно было также проверить, как зависит частота основного тона от длины резонатора, для этого очень удобно применять гофр. Как следует из формулы (1), эта зависимость должна быть обратно пропорциональной, так как длина волны обратно пропорциональна частоте. Если построить графики зависимости обратной частоты от длины добавочного резонатора, то получатся прямые линии, каждая из которых соответствует основному тону одного из семи звуков, которые можно извлечь на данной

длине резонатора, увеличивая поток воздуха. Также мы заметили, что отношение тангенса угла наклона первой ветви к тангенсам других ветвей образуют последовательность целых чисел 1,2,3,4,5 (см. таблицу), что соответствует увеличению частоты основного тона на октаву, квинту, кварту и другие консонансные (благозвучные) интервалы.

Номер основного тона	Отношение коэффициентов наклона
1	1
2	0,52 ~ 1:2
3	0,32 ~ 1:3
4	0,23 ~ 1:4
5	0,18 ~ 1:5
6	0,17 ~ 1:6
7	0,13 ~ 1:7

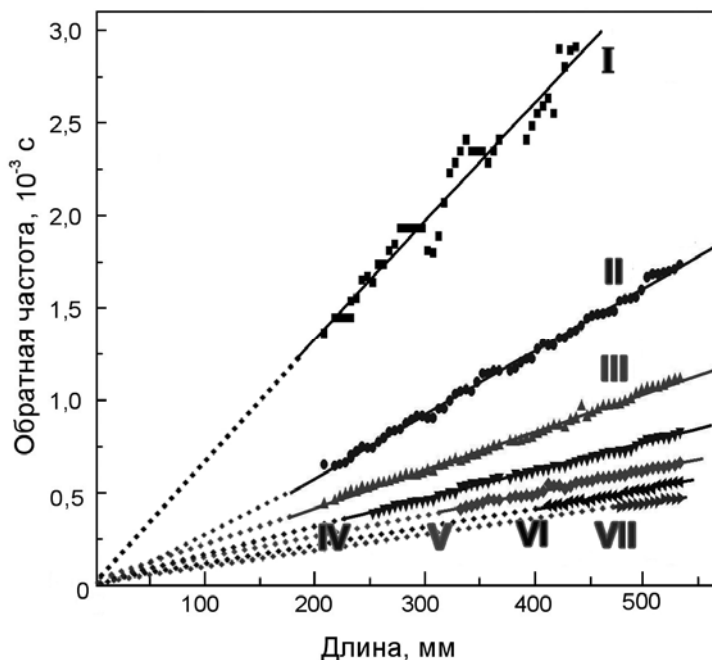


Рис.4. Зависимость обратной частоты от длины резонатора

Таким образом, благодаря возможностям компьютера по анализу звука, нам удалось понять тайну музыкальных созвучий, но это далеко еще не все, что можно извлечь из нашего рожка. Подобно рогу изобилия, он таит в себе множество интересных открытий. Вот только некоторые из вопросов, рождающихся при более внимательном рассмотрении: как происходит переход от одного тона к другому, отличается ли гофрированный резонатор от резонатора с гладкой поверхностью и т.п.