

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МФТИ»

(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Автоколебания в скрипке

Выполнила студентка 1 курса ФАКИ
группы Б03-001 Семенова Алена

г. Долгопрудный, 2020

Оглавление

1 Введение.....	3
1.a Цели работы.....	3
1.b Оборудование.....	3
2 Теория.....	3
2.a Силы, действующие на струну при воздействии на нее смычком.....	3
2.b Процесс автоколебаний в струне.....	5
2.c Работа силы трения покоя.....	7
3 Эксперимент.....	9
3.a Экспериментальная установка и ход работы.....	9
3.b Ожидаемые результаты.....	11
3.c Полученные данные.....	11
3.d Обработка результатов.....	12
3.e Погрешности измерений могут быть связаны с.....	16
4 Выводы.....	16

1 Введение

1.a Цели работы

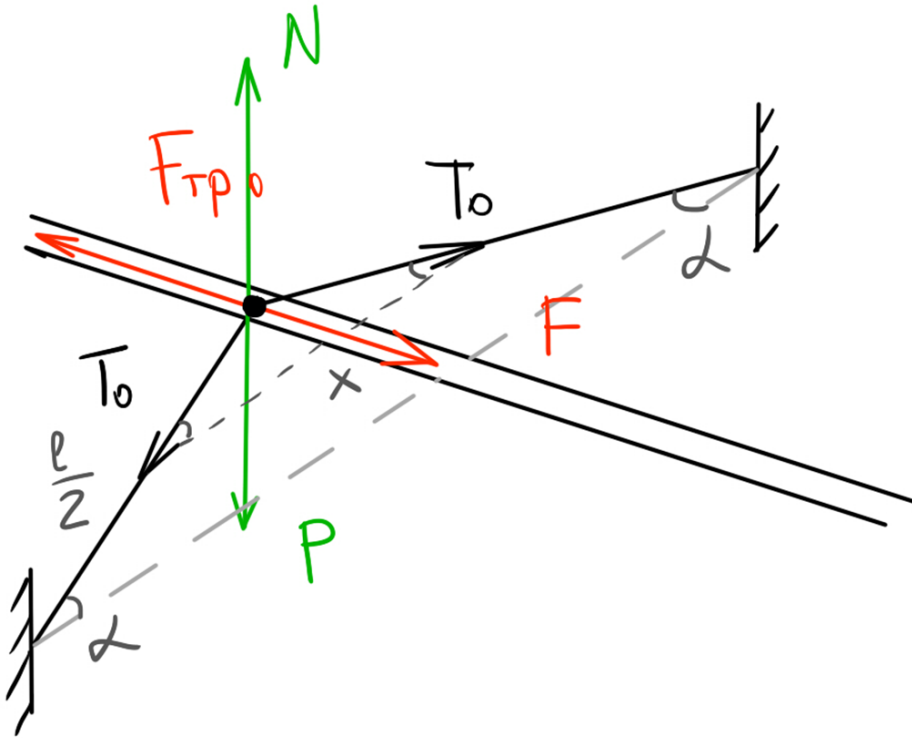
- Понять, как происходит звукоизвлечение в струнно-смычковых инструментах
- Рассмотреть зависимость громкости звука от скорости ведения смычка и от нажима

1.b Оборудование

- Скрипка и смычок
- Камера
- Прибор, измеряющий громкость в dB в (виде программы на телефоне)
- Секундомер
- Линейка

2 Теория

2.a Силы, действующие на струну при воздействии на нее СМЫЧКОМ



F — равнодействующая сил натяжения T_0 , $F = \frac{4T_0 \cdot x}{l}$, где l — длина струны, x — ее отклонение от положения равновесия

$F_{тр}$ — сила трения скольжения (в случае, когда F по модулю больше максимального значения силы трения покоя — силы трения скольжения) или покоя (когда F по модулю меньше)

N — сила реакции опоры, действующая на смычок со стороны струны,

P — сила, с которой смычок действует на струну (вес)

По III-му закону Ньютона: $|N| = |P| \Rightarrow F_{тр\text{ скольжения}} = N \cdot \mu = P \cdot \mu$

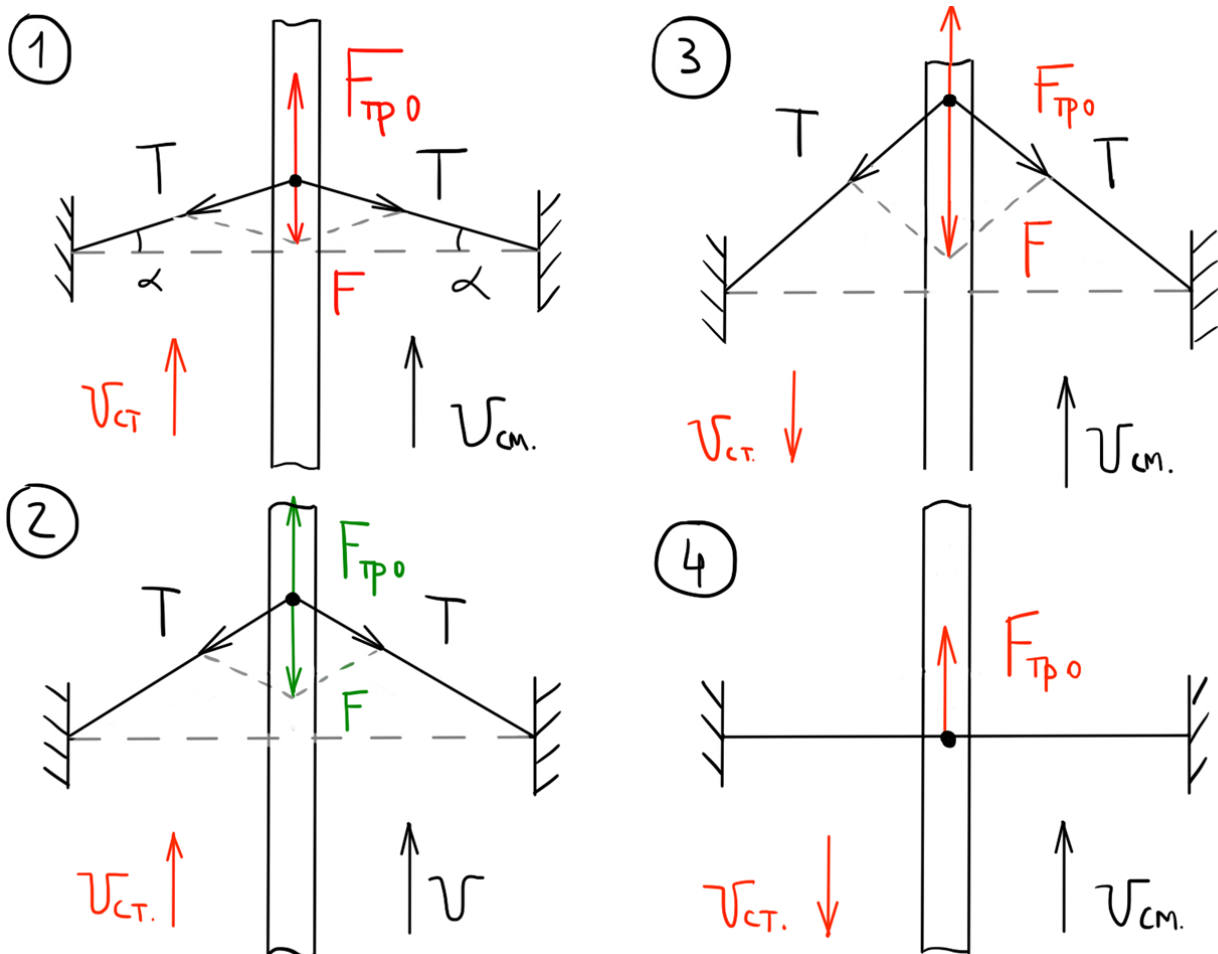
Чем больше сила давления на смычок, тем больше значение силы трения скольжения, тем больше должна быть сила F (прямо пропорциональная отклонению от положения равновесия), чтобы затормозить струну.

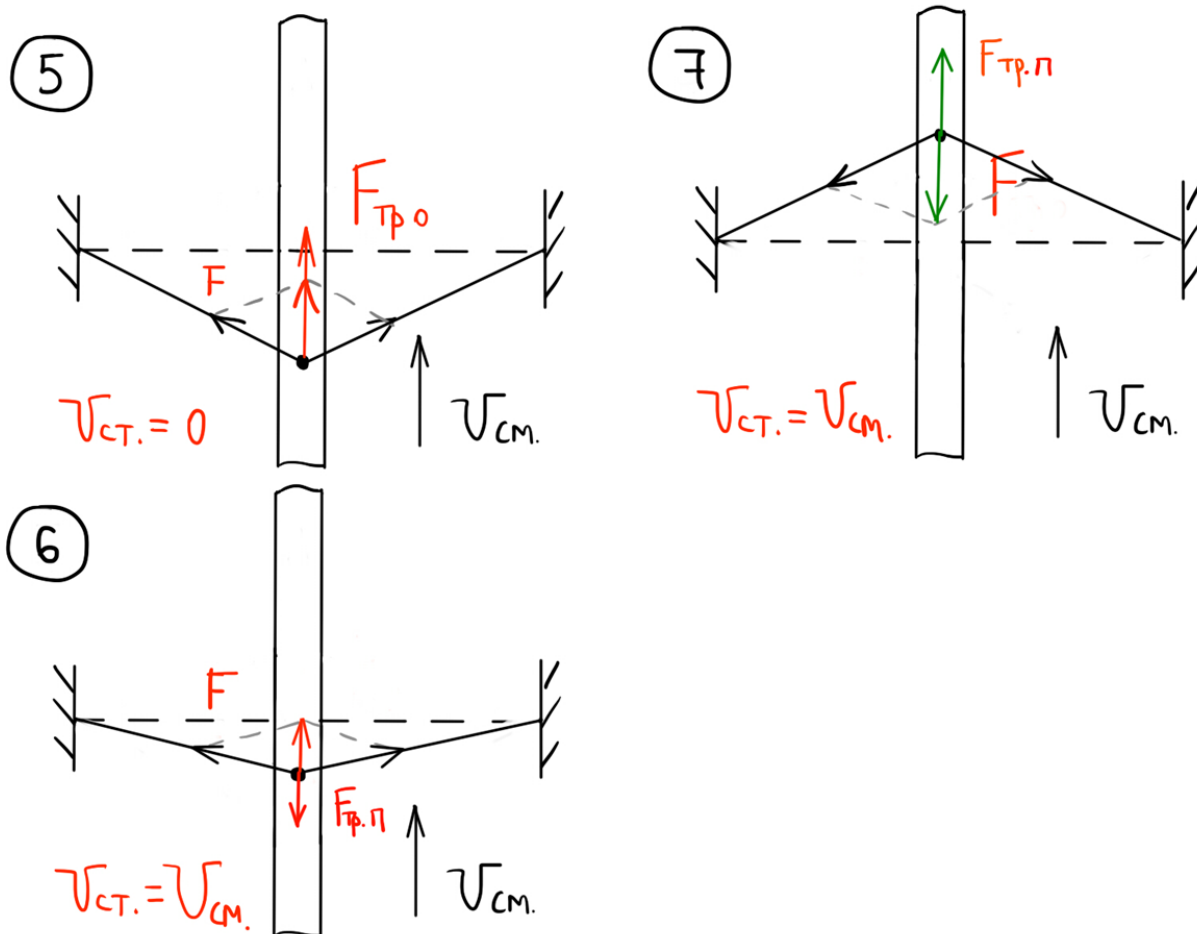
То есть, чем больше сила давления на смычок, тем больше амплитуда колебаний, а значит и громкость звука.

Еще для увеличения силы трения используется канифоль, обладающая большим коэффициентом трения.

Также играть на скрипке нужно не плоской стороной волоса, а ребром, т.к. меньшая площадь поверхности при одинаковом давлении помогает добиться большей силы трения.

2.b Процесс автоколебаний в струне





В процессе колебаний струна либо скользит по смычку, изменяя ее скорость, либо движется вместе с ним с постоянной скоростью.

В начальный момент времени, когда струна находится в положении равновесия, со стороны смычка на нее действует сила трения, отклоняющая ее в сторону движения смычка.

Постепенно равнодействующая сил натяжения увеличивается (1)-(2) и тормозит струну. В момент остановки струны (струна отклонилась на амплитудное x_{01}) сила F больше силы трения скольжения, струна начинает двигаться в противоположном направлении (3). Когда сила F станет по модулю меньше силы трения скольжения, струна опять начнет замедляться. Пройдя положение равновесия (4) и дойдя до амплитудного положения x_{02} ($x_{02} < x_{01}$, потому что

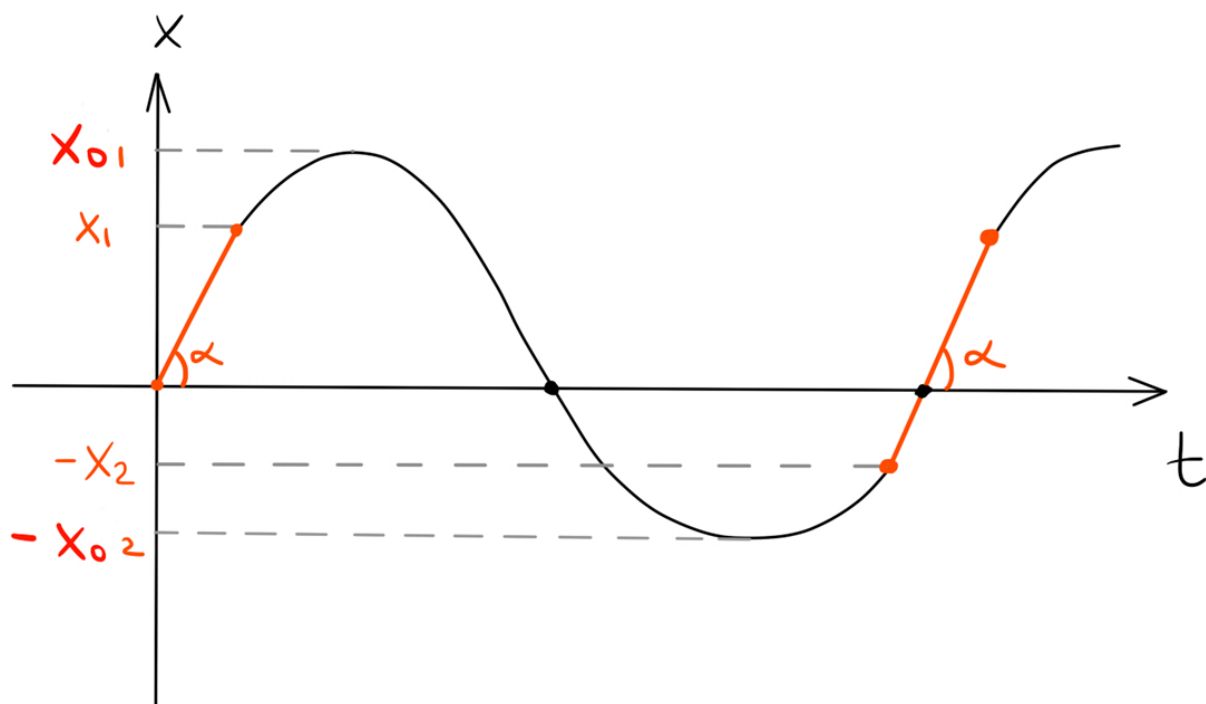
при движении струны в промежутке времени (4)-(5) нет силы, сонаправленной с движением струны => торможение происходит быстрее), струна остановится и развернется (5). Настанет момент (7), когда струна разгонится до скорости смычка, тогда скольжение прекратится, струна будет продолжать движение с постоянной скоростью, потому что силы, действующие на нее, будут скомпенсированы (т.к. в промежутке 6-7 сила $F \leq F_{тр. Покоя}$ => $F_{тр}$ принимает значение, равное по модулю F).

Движение с постоянной скоростью продлится до момента, когда сила трения превысит значение силы трения покоя, тогда опять начнется торможение струны силой F .

2.с Работа силы трения покоя

Колебания не затухают, потому что в системе увеличивается энергия за счет работы силы трения покоя на участках, где по модулю $F_{тр. покоя} = F$ (а значит, зависимость силы трения от отклонения линейная)

График зависимости отклонения струны от времени:

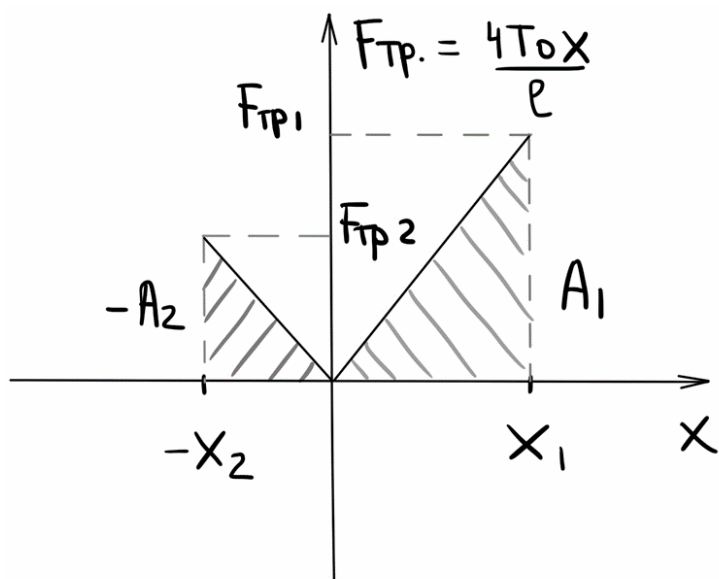


x_{01} , $-x_{02}$ — амплитудные положения

$-x_2$, x_1 — положения (6) и (7), при которых начинается и заканчивается движение с постоянной скоростью

α — угол, при котором тангенс угла наклона касательной к графику равен скорости смычка

Работа силы трения покоя при движении с постоянной скоростью:



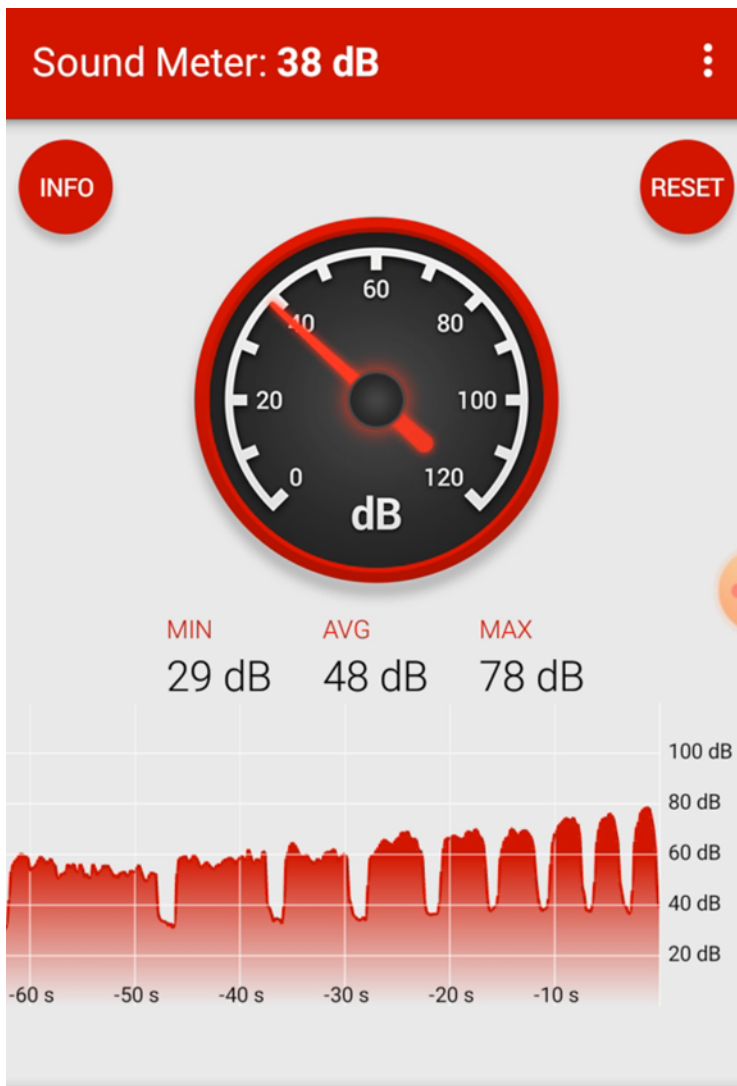
$$A = A_1 - A_2 = \frac{4T_0 x_1^2}{2l} - \frac{4T_0 x_2^2}{2l} = \frac{2T_0 \cdot (x_1^2 - x_2^2)}{l}$$

$$A > 0$$

3 Эксперимент

3.а Экспериментальная установка и ход работы

Чтобы установить зависимость скорости смычка от громкости, измеряем громкость скрипки (с помощью соответствующей программы на телефоне) при разной скорости проведения смычка. Снимаем процесс на камеру. Чтобы вычислить скорость смычка, предварительно отмечаем на нем область длиной 30 см. При просмотре видео, фиксируем момент, когда первая отметка пересекает линию первой струны, включаем секундомер, фиксируем момент прохождения той же линии второй меткой. Получаем время, за которое смычок прошел расстояние 30 см. Вычисляем скорость смычка. Снимаем с записи показания громкости звука в dB. Также определяем уровень громкости в тихой комнате (31 dB) и вычитаем его из полученных результатов.



3.b Ожидаемые результаты

Чем больше громкость звука, тем больше его интенсивность I (скалярная величина, характеризующая поток звуковой энергии через площадку).

$$I = \frac{p \cdot V}{2} = \frac{V^2 \cdot Z_s}{2}$$

$$p = V \cdot Z_s ,$$

где Z_s – удельное акустическое сопротивление, p – амплитудное значение звукового давления

Следовательно, ожидается прямо пропорциональная зависимость давления звука от скорости

3.c Полученные данные

1) измерения, проведенные при небольшом нажиме на смычок:

Громкость	60	62	64	67	69	69	74	75	78	79	79	79	80	82	82	83	83	83
, dB																		
Время, с	10,3	6	4,4	3,4	2,5	2,1	1,6	1,1	0,9	0,7	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3

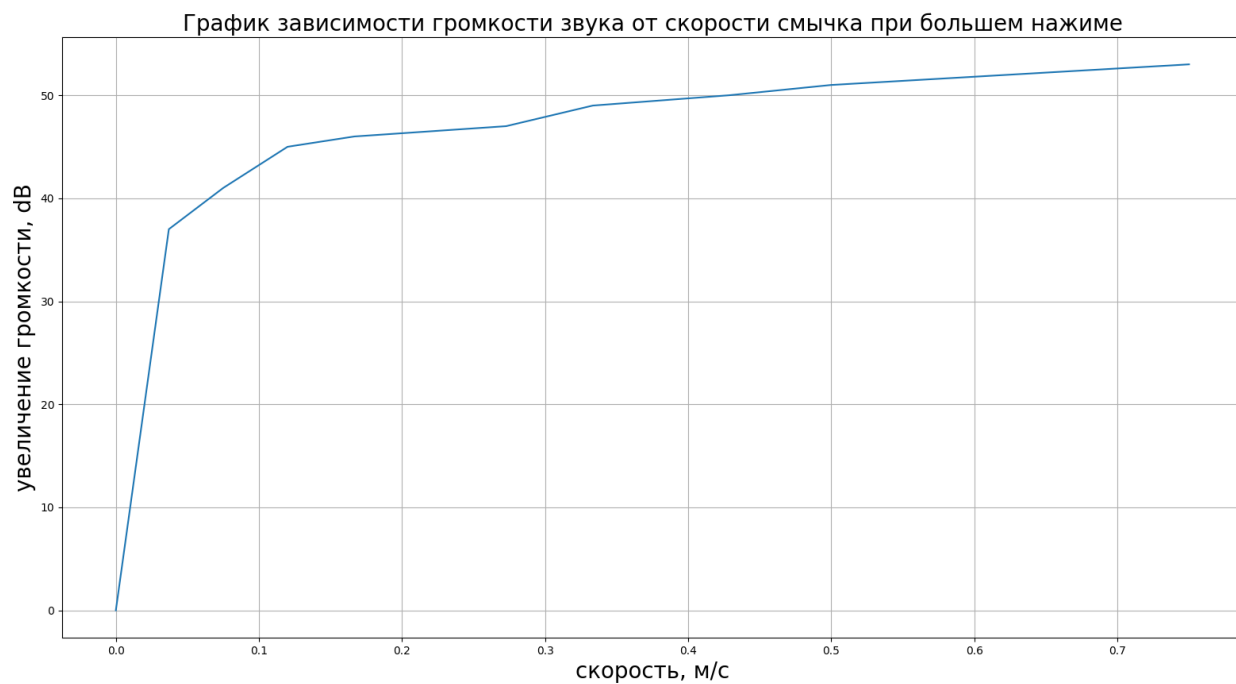
2) измерения, проведенные при увеличенном нажиме на смычок:

Громкость, dB	68	72	76	77	77	77	78	80	81	81	81	82	84
Время, с	8,1	4	2,5	1,8	1,8	1,8	1,1	0,9	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4

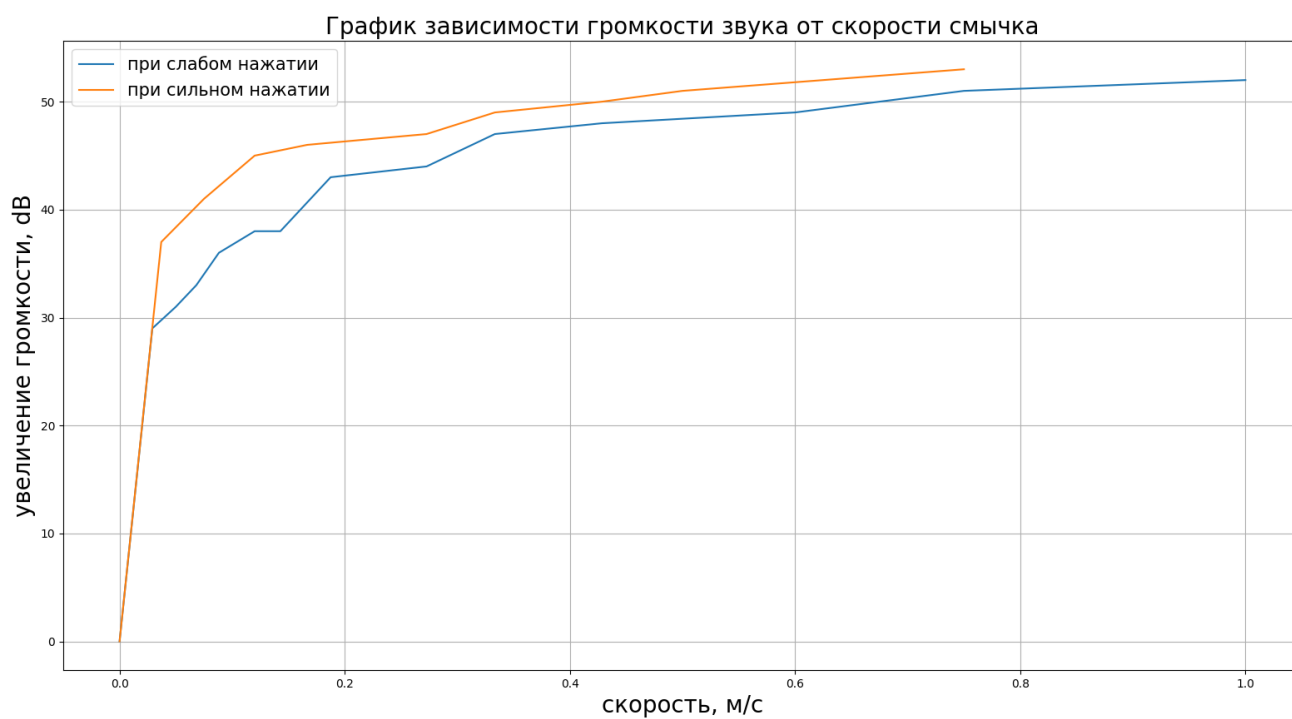
3.d Обработка результатов

Строим графики зависимости увеличения громкости в децибелах от скорости звука





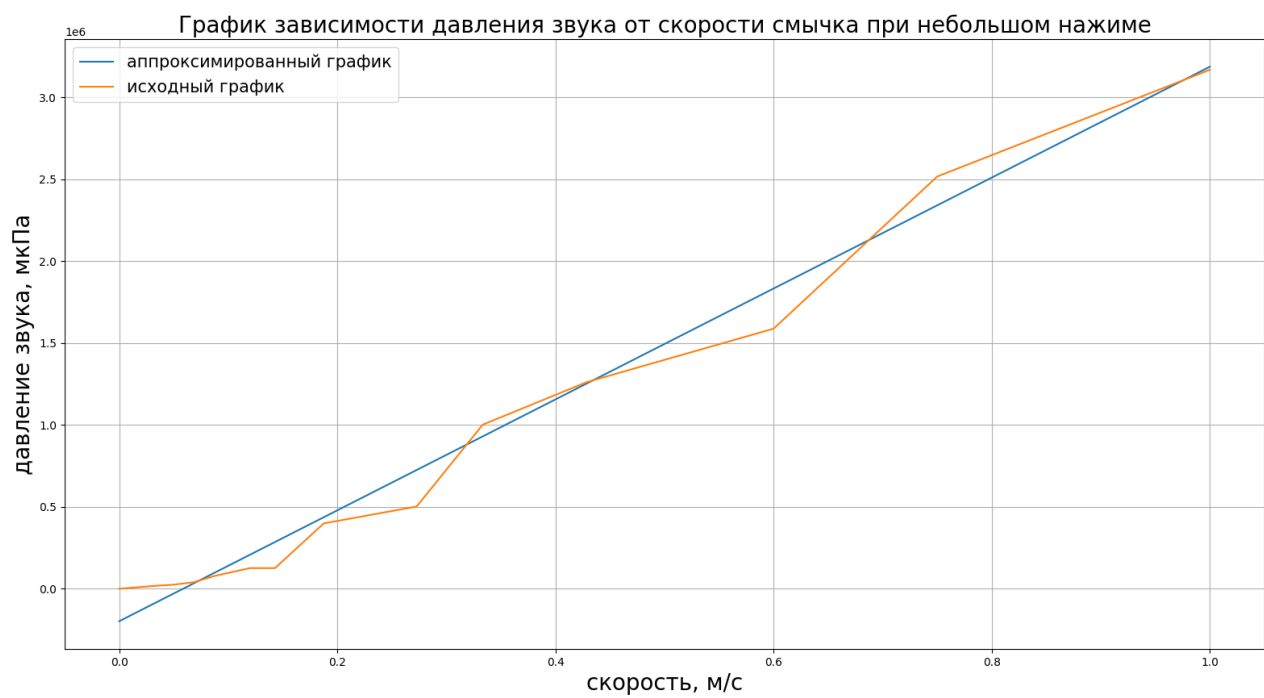
Для сравнения:

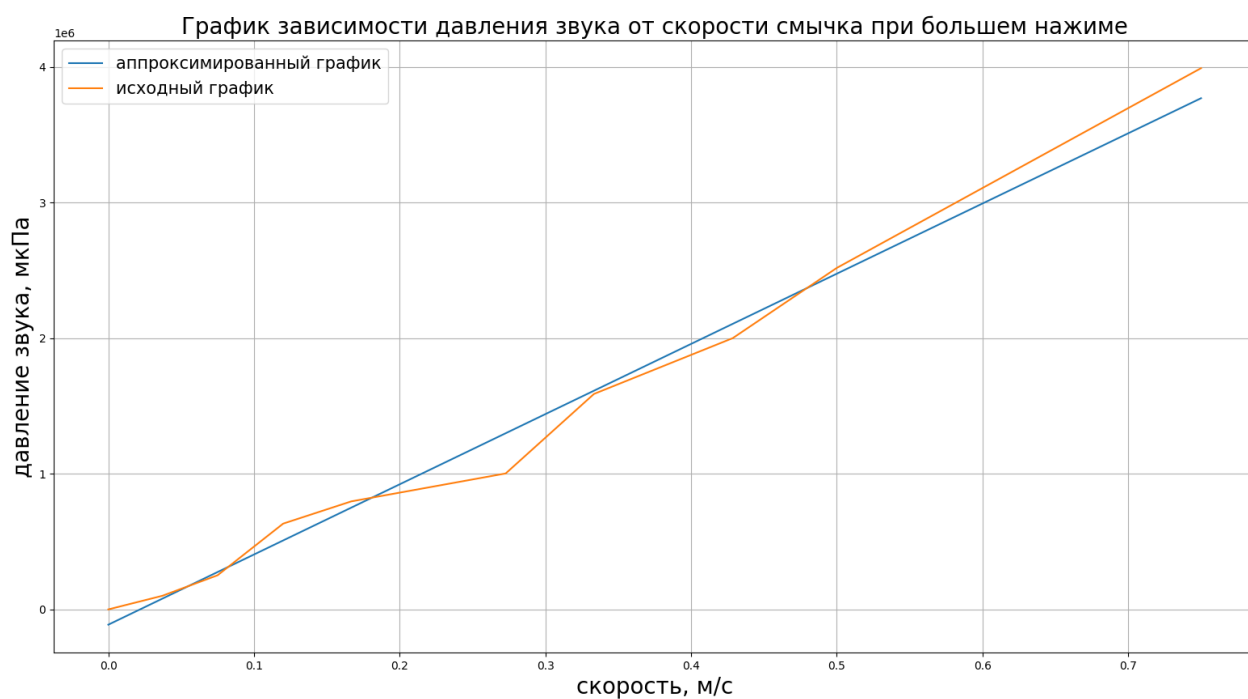


$$dB = 10 \lg \frac{p}{p_0}$$

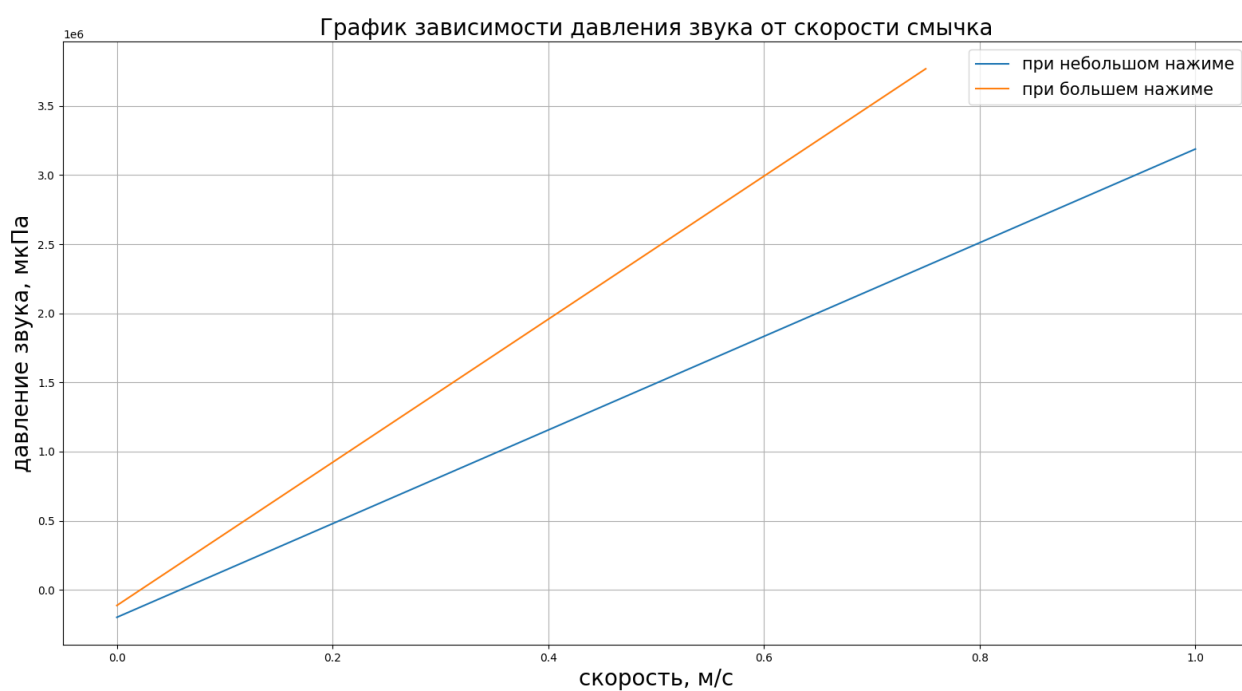
$p = p_0 \cdot 10^{\frac{dB}{10}}$, где $p_0 = 20 \text{ мкПа}$ – минимальный порог слышимости человеком

Преобразуем данные и получаем:





Для сравнения:



3.e Погрешности измерений могут быть связаны с

- Неточностью программы для измерения громкости
- Посторонними шумами с улицы
- Скоростью реакции человека при измерении времени секундомером

4 Выводы

- Благодаря положительной работе силы трения в струне происходят автоколебания
- С увеличением нажима на смычок (в некоторых пределах) увеличивается громкость звука
- С увеличением скорости смычка громкость звука так же возрастает
- Давление звука прямо пропорционально скорости смычка