

УДК 534.32

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОФИЗИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК СЛУХА СТУДЕНТОВ  
ДГТУ**

*Рогов И. Е., Аржановский А. Ю.,  
Барсан Е. В., Зубова Т. А.,  
Ткаченко А. С.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[igorro@rambler.ru](mailto:igorro@rambler.ru)

[Arzhanovskiy-Anatoliy@yandex.ru](mailto:Arzhanovskiy-Anatoliy@yandex.ru)

[mix7382@gmail.com](mailto:mix7382@gmail.com)

[zubova.tan59@gmail.com](mailto:zubova.tan59@gmail.com)

[alya.tkachenko.98@list.ru](mailto:alya.tkachenko.98@list.ru)

Содержатся итоги экспериментального исследования верхней частотной границы слуха у студентов второго курса ДГТУ. Исследование проводилось методом слепого теста в диапазоне частот от 13 до 23 кГц и при уровнях громкости от 90 до 110 дБ. Приведены статистически обработанные результаты измерений. Выявлено, что статистически значимая часть участников эксперимента имеет верхнюю границу слухового диапазона выше частоты 20 кГц. Следовательно, значительная часть молодых людей способна слышать ультразвук в его низкочастотном диапазоне. Обнаружено различие слуховых способностей юношей и девушек.

**Ключевые слова:** слуховой порог, частотная граница слуха, психоакустика, акустические измерения, слепой тест.

**Введение.** По количеству обрабатываемой информации слух находится на втором месте после зрения, но у слуха есть значительно отличие от зрительной системы: если глазами мы видим только то, на что смотрим, то слышим мы все звуки, независимо от того, хотим мы этого или нет. Эта особенность используется, например, в системах тревожной сигнализации, в клаксонах автомобилей и т.п.

Одной из разновидностей звука является ультразвук — колебания с частотой выше 20 кГц. Развитие техники приводит к повышению количества ультразвука в окружающей среде. Существует ультразвуковая очистка инструментов и приборов. Ультразвук используется в медицине: в хирургии, дерматологии и других областях. Такие источники ультразвука локализованы, их вредное влияние на человека подлежит контролю, и принимаются меры к его снижению. А вот широкое распространение импульсных блоков питания приводит к тому, что мы оказываемся окруженными множеством источников ультразвука в повседневной жизни.

При разработке подобных устройств считается, что ультразвук, излучаемый ими, для человека не слышен. Такой подход основывается на данных, что верхняя частотная граница слуха человека равна 20 кГц [1, 2]. Однако это значение является среднестатистическим, поэтому

UDC 534.32

**THE STUDY OF BIOPHYSICAL  
CHARACTERISTICS OF DSTU STUDENTS  
HEARING**

*Rogov I.E., Arjanovsky A.J.,  
Varsan E.V., Zubova T.A.,  
Tkachenko A.S.*

Don State Technician University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[igorro@rambler.ru](mailto:igorro@rambler.ru)

[Arzhanovskiy-Anatoliy@yandex.ru](mailto:Arzhanovskiy-Anatoliy@yandex.ru)

[mix7382@gmail.com](mailto:mix7382@gmail.com)

[zubova.tan59@gmail.com](mailto:zubova.tan59@gmail.com)

[alya.tkachenko.98@list.ru](mailto:alya.tkachenko.98@list.ru)

The paper includes the results of the experimental study of the upper frequency limit of hearing of DSTU second-year students. The study has been conducted by blind test in the frequency range from 13 to 23 kHz and at volume levels from 90 to 110 dB. The statistically processed results of measurements are given. It is revealed that the statistically significant part of the experiment participants has the upper limit of the auditory range above the frequency of 20 kHz. Consequently, a significant part of young people is able to hear ultrasound in its low-frequency range. The difference of auditory abilities of boys and girls is revealed.

**Keywords:** auditory threshold, frequency range of hearing, psychoacoustics, acoustic measurements, blind testing.

существуют люди, у которых верхняя граница слуха лежит выше среднего значения. Они могут слышать ультразвук, издаваемый техническими устройствами. Слуховая система таких людей перегружается, что приводит к излишней утомляемости, снижению внимания и работоспособности. Звук, который издают блоки питания, с точки зрения теории никто не должен слышать. Однако некоторые студенты этот звук слышат, причем довольно интенсивно. Поэтому цель данной работы — исследовать слуховую границу в области высоких частот у студентов ДГТУ, сравнить их слуховые способности с общемировыми, определить количество людей, у которых верхняя граница частотного диапазона слуха лежит выше 20 кГц, чтобы пересмотреть при необходимости стандарты и рекомендации по разработке технических устройств, работа которых сопровождается излучением звука. Основная задача данного исследования — выявление индивидуальных особенностей восприятия высокочастотного звука и измерение значения верхней границы слухового диапазона у достаточно большого количества людей.

**Громкость звука** — это индивидуальное субъективное качество. Она характеризует ощущение слушателя, и поэтому не может быть измерена прямыми методами. В настоящее время оценки ощущения громкости получают методом субъективных экспертиз. Последние очень трудоемки, требуют проведения большого количества экспериментов и накопления статистических данных, поэтому исследования все время продолжаются, постоянно появляются публикации об уточнении полученных результатов [3]. «Установление пределов возникновения слуховых ощущений, называемых слуховыми порогами, является в настоящее время одной из самых актуальных проблем в аудиотехнике» [4]. Следовательно, проведенные здесь исследования являются актуальными.

**Кривые равной громкости и слуховые пороги.** Уровни громкости определяются с помощью следующих экспериментов: выставляется уровень звукового давления эталонного звука на частоте 1000 Гц, например, 40 дБ, затем испытуемому предлагается прослушать сигнал на другой частоте, например, 100 Гц, и отрегулировать его уровень таким образом, чтобы он казался равно громким эталонному. Если проделать это для разных частот и отложить полученные значения звукового давления, которое требуется для сигналов разной частоты, чтобы они были равно громкими эталонному сигналу, то получится кривая. Семейство таких кривых для различных уровней громкости показано на рис.1 [2, 5].

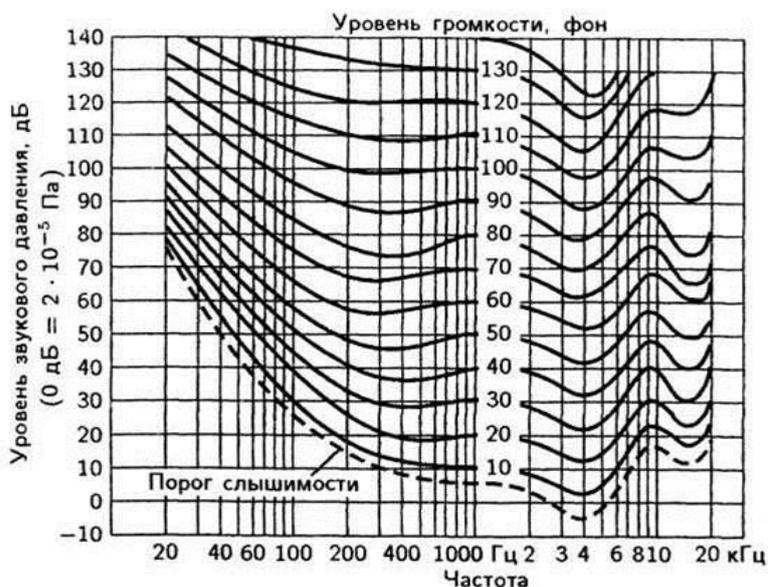


Рис. 1. Кривые равной громкости

Если проанализировать эти кривые, то видно, что при малых уровнях звукового давления уровень громкости очень сильно зависит от частоты. Слух менее чувствителен к низким и высоким частотам, на них требуется создать гораздо большие уровни звукового давления, чтобы звук стал равногромким эталонному на частоте 1000 Гц. При больших уровнях кривые выравниваются, т.е. при больших уровнях низкие, средние и высокие звуки оцениваются по уровню громкости более равномерно.

Абсолютный порог слышимости — это минимальный уровень звукового давления (в дБ), при котором еще возникает слуховое ощущение. Звуки меньшей интенсивности человек не слышит.

Существует ограничение и со стороны громких звуков. Громкость в 140 дБ причиняет боль и называется болевым порогом. Кривые, соответствующие максимальному и минимальному порогам слышимости, приведены на рис. 2. Они ограничивают область слухового восприятия человека [2, 6].

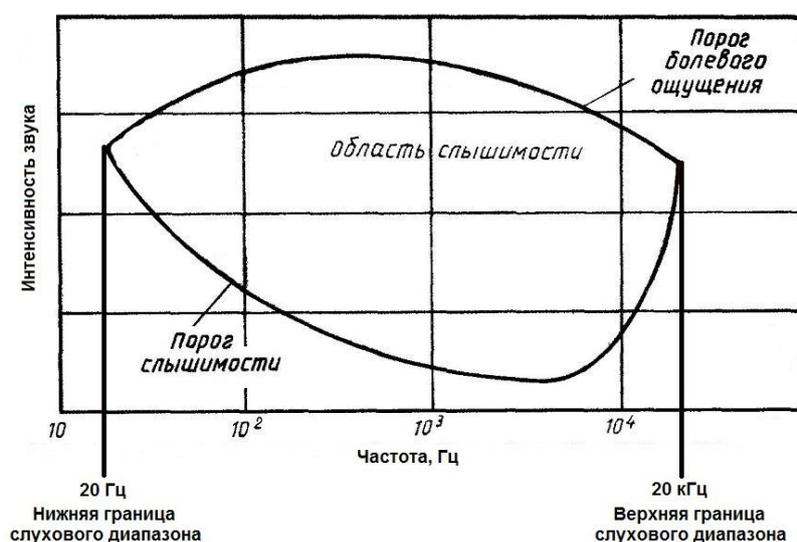


Рис. 2. Максимальный и минимальный пороги слышимости

Если продолжить кривые минимального и максимального порогов, то они пересекутся, т.е. на самых низких и самых высоких частотах, чтобы достичь порогов слышимости, требуются уже настолько высокие уровни звукового давления, что они совпадают сразу с болевыми порогами, не создавая ощущения звука. Это и будут частотные границы слухового диапазона (рис. 2) [4, 7].

**Проведение экспериментальных исследований.** Исследовались возможности слуха на частотах 13–23 кГц с шагом 1 кГц и уровнями 90, 100 и 110 дБ. Для этого привлекались студенты в возрасте 20–21 года, как юноши, так и девушки. Всего в эксперименте участвовало 34 человека.

Схема эксперимента показана на рис. 3. Генератор 1 создает тестовый синусоидальный сигнал нужной частоты, который через аттенюатор 2 поступает на усилитель 3. Аттенюатор позволяет плавно настраивать уровень начального сигнала и ступенчато изменять его с шагом 10 дБ при проведении эксперимента. Усиленный усилителем сигнал излучается громкоговорителями 4. В экспериментальной установке использовались высококачественные громкоговорители с верхней рабочей частотой, равной 30 кГц. Два громкоговорителя создают большее звуковое давление и более равномерное звуковое поле. Для настройки уровня звука использовался шумомер 6, располагаемый непосредственно возле уха участника теста 5. Звук, образующийся во время измерения, контролировался микрофоном 7 и отображался осциллографом 8. Такой

контроль по конечному результату исключал возможные технические ошибки. Испытуемый не видел осциллографа, поэтому его показания не могли повлиять на результаты эксперимента.

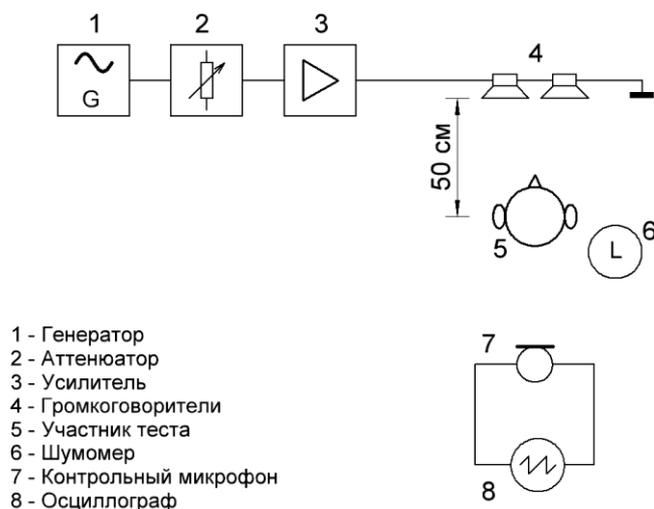


Рис. 3. Схема проведения исследования свойств слуха

Исследования проводились по правилам проведения субъективных испытаний [7–9]. Тест был слепым, то есть испытуемый ничего не знал о том, какой сигнал в данный момент включен. Также он не знал о том, включен сигнал на самом деле или нет. Для исключения «ложных срабатываний» использовался следующий прием: имитировалось включение звука, но на самом деле звук не включался. Испытуемый при этом говорил, что ничего не слышит.

В ходе теста испытуемому предлагались непрерывные сигналы определенной частоты, начиная обычно с 17 кГц (эту частоту слышат практически все). Если человек этот сигнал слышал, то частота увеличивалась. Так происходило до тех пор, пока испытуемый не переставал слышать сигнал. Значит, граница частотного диапазона достигнута. После этого уровень громкости увеличивали и процесс повторяли. Результаты заносились в специальный бланк.

**Анализ результатов.** Статистически обработанные результаты исследований показаны на рис. 4–6.

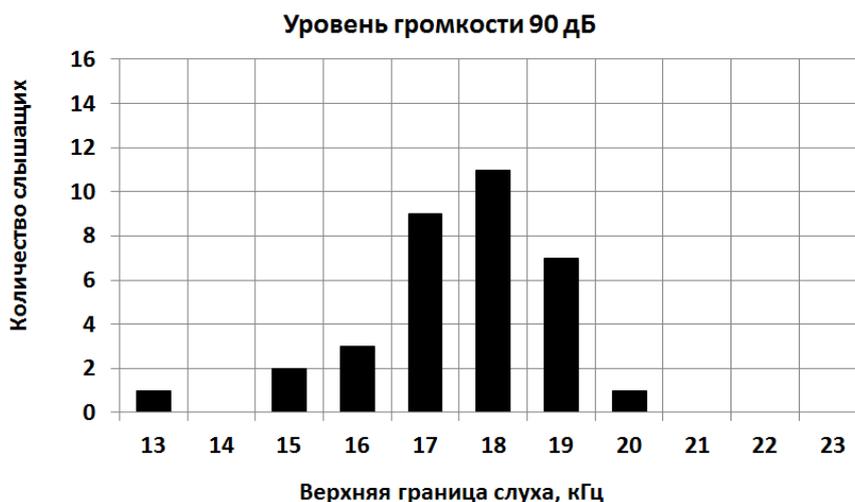


Рис. 4. Распределение верхней частотной границы слуха при уровне громкости 90 дБ

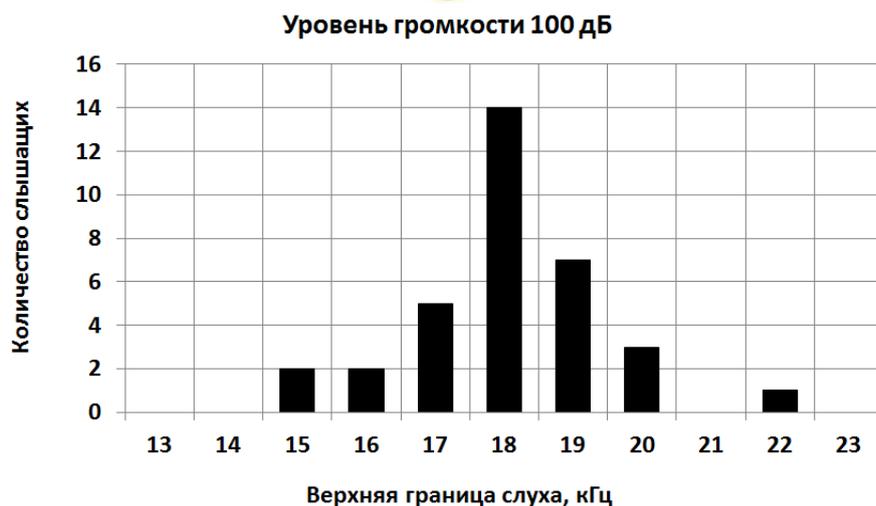


Рис. 5. Распределение верхней частотной границы слуха при уровне громкости 100 дБ

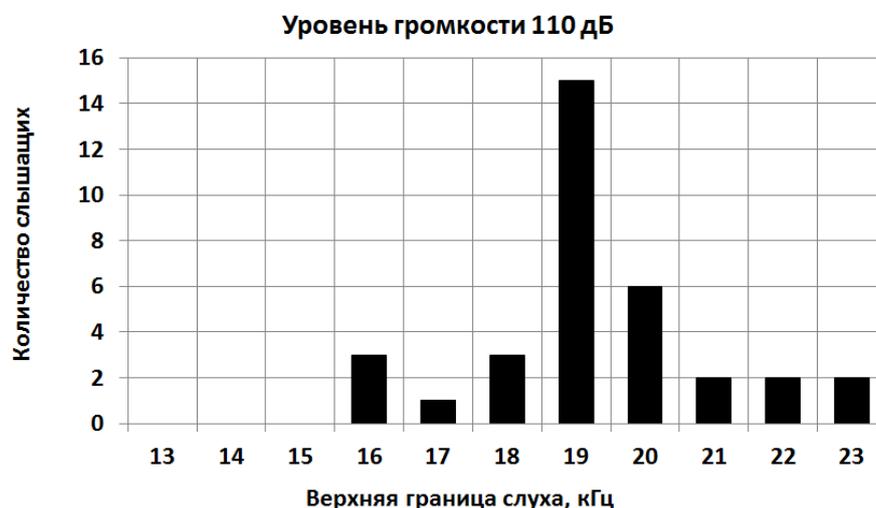


Рис. 6. Распределение верхней частотной границы слуха при уровне громкости 110 дБ

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. При уровне громкости 90 дБ граница частотного диапазона составляет 17–18 кГц, а у нескольких участников теста — даже 19 кГц. Один человек слышит частоту 20 кГц.
2. При уровне 100 дБ максимум уверенно сдвигается на частоту 18 кГц. Частоту 20 кГц уже слышит больше людей.
3. При уровне 110 дБ большинство слышит частоту 19 кГц. Много людей слышат частоту 20 кГц, а некоторые даже больше — до 23 кГц.
4. Таким образом установлено, что с ростом громкости растет и верхняя частота, как и должно быть.
5. Важный момент: 5% обследованных имеют верхнюю границу частотного диапазона 23 кГц, а, возможно, и больше.
6. Зависимости среднего значения и дисперсии высокочастотной границы слуха от уровня громкости показаны на рис. 7. На графике видно, что разброс свойств слуха отдельных людей довольно большой.

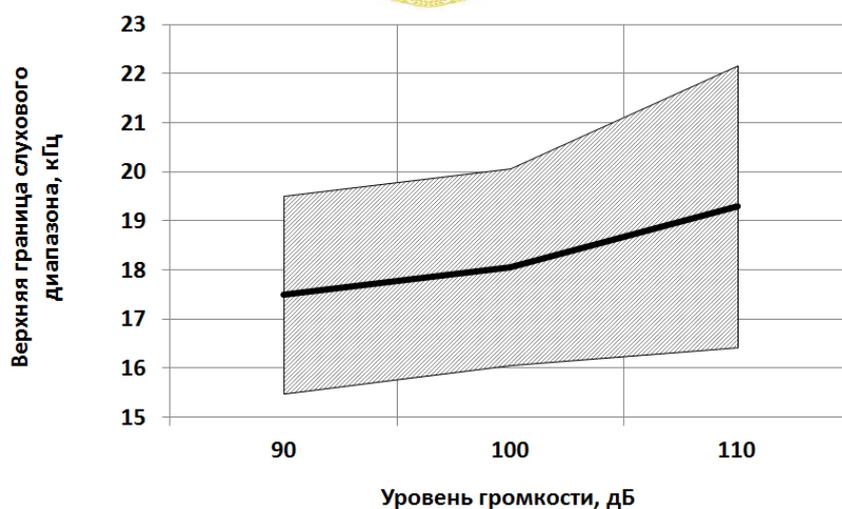


Рис. 7. Среднее значение и дисперсия верхней частотной границы слуха

На рис. 8–10 показаны сравнительные значения верхней частотной границы слуха отдельно для мужчин и женщин. Принципиальных различий нет, но некоторая разница все же присутствует. Например, у женщин выше средние пики гистограммы. Это говорит о том, что у женщин меньше разброс параметров слуха, чем у мужчин.

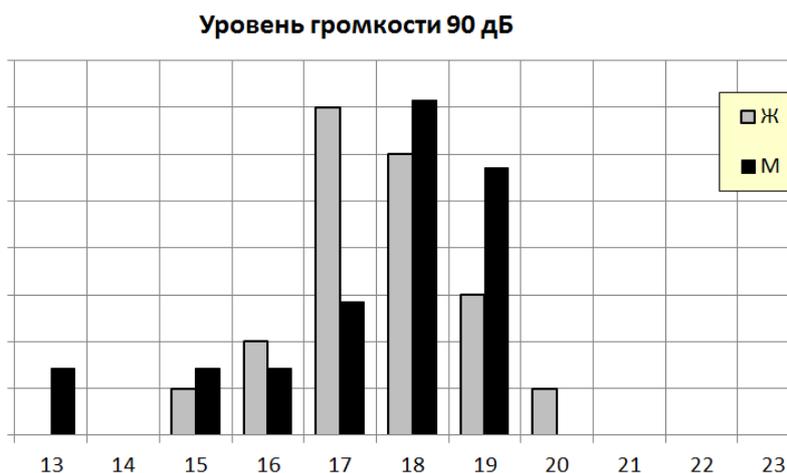


Рис. 8. Распределение верхней частотной границы слуха для юношей и девушек при уровне громкости 90 дБ

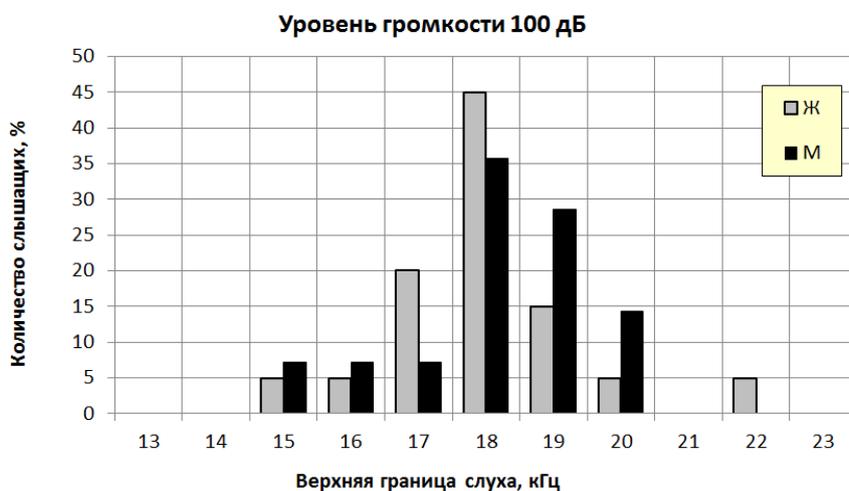


Рис. 9. Распределение верхней частотной границы слуха для юношей и девушек при уровне громкости 100 дБ

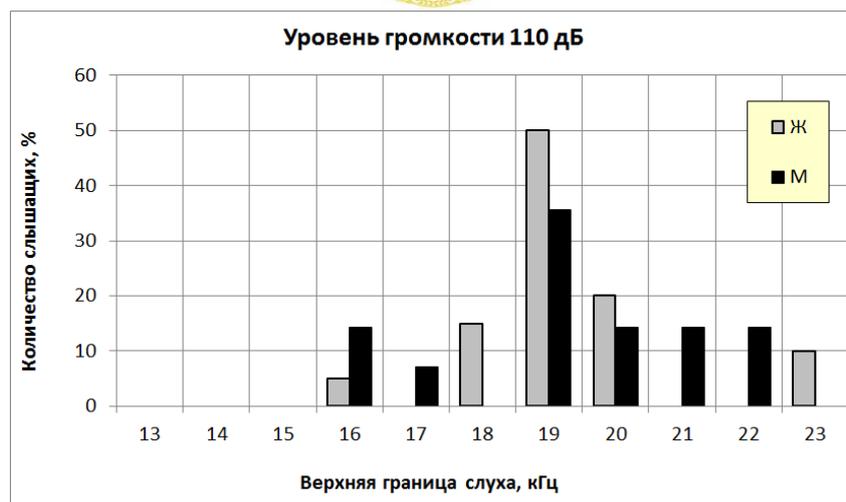


Рис. 10. Распределение верхней частотной границы слуха для юношей и девушек при уровне громкости 110 дБ.

### Выводы

1. Слуховые способности студентов ДГТУ в среднем совпадают с общемировыми.
2. С ростом уровня громкости растет и верхняя граница слухового диапазона, что соответствует стандартным кривым равной громкости, т.е. и здесь нет отличий студентов ДГТУ от других людей.
3. Те числа, которые считаются официально признанными для обозначения границ диапазона частот слуха, действительно являются усредненными. Эти усредненные значения характерны примерно для половины людей. Другая половина имеет границу частотного диапазона как больше, так и меньше официально заданного предела. Причем это отличие существенное — верхняя частотная граница слуха может составлять 23 кГц.
4. Процент людей, у которых верхняя граница частотного диапазона слуха лежит выше 20 кГц, довольно велик. В наших измерениях это 17% принявших участие в эксперименте. Это значит, что следует пересмотреть стандарты и рекомендации по разработке технических устройств, работа которых сопровождается излучением звука — сравнительно большое количество людей способно слышать те звуковые частоты, которые считаются неслышимыми. Эти люди будут испытывать дискомфорт, повышенную утомляемость и другие негативные последствия.
5. Частотные свойства слуха юношей и девушек имеют некоторые различия, которые нужно исследовать более подробно.

### Библиографический список

1. Цвикер, Э. Ухо как приемник информации / Э. Цвикер, Р. Фельдкеллер. — Москва : Связь, 1971. — 255 с.
2. Акустика. Справочник / Под ред. М. А. Сапожкова. — Москва : Радио и связь, 1989. — 336 с.
3. Алдошина, И. А. Музыкальная акустика / И. А. Алдошина, Р. Приттс. — Санкт-Петербург : Композитор, 2014. — 720 с.
4. Алдошина, И. А. Основы психоакустики / И. А. Алдошина. — Москва : Оборонгиз, 2000. — 154 с.
5. Ковалгин, Ю. А. Электроакустика и звуковое вещание / Ю. А. Ковалгин. — Москва : Горячая линия-Телеком, 2007. — 872 с.
6. Hall D. Musical Acoustic. An Introduction / D.Hall. — N.Y.: Wadsworth Publ. - 1980. - 317 с.



7. Психоакустика. Методика измерения слуховых порогов. [Электронный ресурс] / Medbe. Ru/ — Режим доступа: <http://medbe.ru/materials/audiologiya/psikhoakustika-metodika-izmereniya-slukhovuykh-porogov/> (дата обращения: 05.05.17).

8. Слепой метод [Электронный ресурс] / Википедия. — Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%B9\\_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%B9_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4) (дата обращения: 12.04.17)

9. Слуховые тесты [Электронный ресурс] / Audiophile's Software. — Режим доступа: [http://audiophilesft.ru/publ/theory/24\\_192\\_downloads\\_pt4/6-1-0-280](http://audiophilesft.ru/publ/theory/24_192_downloads_pt4/6-1-0-280) (дата обращения: 13.02.17).