

Свиньина О. А.

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Акустические основы вещания»

Лабораторная работа [FRM]
Исследование эффекта одновременной маскировки

Лабораторная работа «Исследование эффекта одночастотной маскировки» предназначена для изучения таких свойств слухового анализатора человека, как эффект одновременной (частотной) маскировки тонального сигнала широкополосным и узкополосным шумом, а также другими тональными сигналами.

Перед выполнением лабораторной работы необходимо изучить раздел «Слух и восприятие акустических сигналов» [1] и раздел «Слух и восприятие звуковых сигналов» [2].

Лабораторная работа выполняется с использованием персонального компьютера (ПК) установленным бесплатным программным обеспечением **Audacity** (Прил. 1) и головных телефонов.

Содержание

Содержание	2
1. Эффект одновременной (частотной) маскировки	3
2. Формирование маскирующих испытательных сигналов	4
2.1. Формирование шумовых маскирующих сигналов	4
2.2. Формирование узкополосных маскирующих сигналов	5
3. Исследование эффекта одночастотной маскировки	6
3.1. Настройка воспроизводящего оборудования	6
3.2. Методика измерения порога одночастотной маскировки	7
4. Обработка и анализ результатов исследования	8
4.1. Получение результатов измерения ПМ для учебной группы/потока	8
4.2. Обработка результатов проведения измерения ПМ для учебной группы/потока	8
4.3. Построение графиков частотных зависимостей ПМ	9
4.4. Анализ результатов исследования	10
4.5. Требования к содержанию отчета	10
5. Список использованных источников	10
Приложение 1 Программное обеспечение	12
Приложение 2 Таблицы для заполнения протокола и отчета	13

1. Эффект одновременной (частотной) маскировки

При одновременном воздействии на слух двух звуков один из них может не прослушиваться на фоне другого звука. Этот эффект называется **маскировкой**. Маскирующее действие различных звуков выявляется путем определения повышения порога слышимости испытательных тонов $N_{пс}$ относительно абсолютного порога слышимости $N_{апс}$. Понятия порога слышимости и уровня порога слышимости тождественны. **Коэффициент маскировки K_m** рассчитывается в децибелах как разность уровней АПС и порога маскировки:

$$K_m = N_{пс} - N_{апс}. \quad (1)$$

При существенном уровне мешающего сигнала полезный сигнал может быть совсем не слышен. Явление маскировки проявляется по-разному для различных уровней и спектральных характеристик мешающего сигнала. Следует отметить, что при совпадении частот полезного сигнала и помехи порог чувствительности человеческого уха примерно на **4–5 дБ** меньше, чем уровень помехи. Полезный сигнал слышен даже при некотором превышении его помехой.

Различают следующие виды одновременной маскировки:

- маскировка чистым тоном;
- маскировка тональных сигналов узкополосным шумом;
- маскировка тональных сигналов широкополосным шумом;
- маскировка тональных сигналов реальными звуковыми сигналами.

В рамках данной лабораторной работы исследуется эффект маскировки тональных сигналов широкополосным шумом.

Маскировка широкополосным белым шумом

Особенности маскировки тонального сигнала **широкополосным белым шумом** могут быть сформулированы следующим образом:

- вместо уровня интенсивности маскирующего звука для характеристики мощности шума используется уровень спектральной плотности мощности $N_{бш}$;
- до частоты **500 Гц** кривые маскировки идут горизонтально;
- на частотах выше **500 Гц** порог слышимости повышается; это изменение составляет **3 дБ/октаву**.

Такая зависимость объясняется тем, что органы слуха реагируют не на общую мощность, а на мощность шума в критических полосах слуха. Ниже **500 Гц** все критические полосы слуха имеют одинаковую ширину, поэтому порог слышимости от частоты не зависит. В области частот, где ширина критических полос слуха пропорциональна средней частоте, при увеличении частоты **в 10 раз** порог слышимости возрастает **на 10 дБ**.

При маскировке шумом слух расчленяет широкополосный шум на частотные группы и может распознать испытательный тон с частотой f лишь тогда, когда его уровень всего на несколько децибел ниже уровня мешающего шума в частотной группе, где находится тон.

При маскировке тона белым шумом с уровнем спектральной плотности мощности $N_{бш}$ коэффициент маскировки определяется в соответствии с выражением (1).

Равномерно маскирующий шум

Шум, который осуществляет одинаковую маскировку тональных звуков во всем звуковом диапазоне частот, называется **равномерно маскирующим**. Спектральная плотность мощности этого шума $N_{рмш}$ до частоты **500 Гц** такая же, как у белого шума. Выше **500 Гц** спектральная плотность мощности $N_{рмш}$ уменьшается пропорционально частоте, как у розового шума. Расчет коэффициента маскировки производится в соответствии с выражением (1).

Отчасти условию равномерной маскировки удовлетворяют розовый и коричневый шумы, имеющие зависимость спектральной плотности мощности пропорциональную $1/f$ и

$1/f^2$ соответственно. Именно по этой причине данные шумы относят к разряду равномерно маскирующих.

2. Формирование маскирующих испытательных сигналов

2.1. Формирование шумовых маскирующих сигналов

Расчет уровня маскирующего шума

Исследование порогов маскировки проводится для нескольких значений уровня мешающего шума: **10, 20, 30, 40 dBSPL**.

Переход от значения уровня цифрового сигнала к значению уровня звукового давления, создаваемого громкоговорителем или головными телефонами, является относительным и зависит от передаточной функции цифро-аналогового преобразователя (ЦАП), а также от чувствительности воспроизводящего оборудования¹.

В рамках выполнения лабораторной работы переход между значениями уровней в указанных шкалах будет определяться равенством:

$$0 \text{ dBSPL} \equiv N_{FS}(2000 \text{ Гц}) \text{ dBFS} \quad (2)$$

где $N_{FS}(2000 \text{ Гц})$, **dBFS** — порог слышимости тонального сигнала с частотой **2000 Гц** при отсутствии мешающего шума. Например, уровень звукового давления **10 dBSPL** будет соответствовать уровню цифрового сигнала $(N_{FS}(2000 \text{ Гц}) + 10) \text{ dBFS}$ в шкале **Full Scale**. Цена деления обеих шкал одинакова.

Рассчитайте значения уровня $N_{\text{шм } FS}, \text{ dBFS}$, и амплитуды $A_{\text{шм}}$ шумовых маскирующих сигналов, соответствующие значениям уровня $N_{\text{мш}} \text{ 10, 20, 30, 40 dBSPL}$ в соответствии с выражениями:

$$N_{\text{мш } FS} = N_{FS}(2000 \text{ Гц}) + N_{\text{мш}}, \quad (3)$$

$$A_{\text{мш}} = 10^{\frac{N_{\text{мш } FS}}{20}}. \quad (4)$$

Результаты занесите в табл. П.2 отчета (Прил. 2).

Примечание. Значения уровня и амплитуды маскирующих сигналов определяются для каждого из членов бригады *индивидуально*, т. к. зависят от индивидуально полученных значений $N_{FS}(2000 \text{ Гц})$.

Формирование сигналов белого шума

Запустите ПО **Audacity** (Прил. 1). Откройте диалоговое окно настроек ПО **Audacity** с помощью пункта меню **Edit — Preferences**. В разделе настроек **Interface** установите диапазон измерителя уровней от **0** до **минус 120 дБ**. Сохраните настройки, нажав кнопку **Ok**.

Откройте проект «АНТ_FadeUp», сформированный в ходе выполнения п. 2 лабораторной работы «Тональная пороговая аудиометрия по воздушной проводимости» и содержащий 24 монофонические дорожки с тональными испытательными сигналами с частотами от **100 Гц** до **16 кГц**.

¹ Подробные пояснения об установлении соответствия между уровнем цифрового сигнала и уровнем звукового давления смотрите в п. 3.1 методических указаний к лабораторной работе «Тональная пороговая аудиометрия по воздушной проводимости».

С помощью пункта меню **File — Save Project — Save Project As** создайте копию проекта, дав ей имя «**FRM**».

Откройте проект «**FRM**». Убедитесь, что частота дискретизации проекта (опция **Project Rate (Hz)** на панели **Selection Toolbar**) установлена равной **48000 Гц**. Создайте дополнительную монофоническую дорожку с помощью пункта меню **Tracks — Add New — Mono track** или нажав клавиши **Ctrl+Shift+N**. С помощью меню **Audio Track** на панели управления дорожкой установите разрешение квантования равным **32 бит/отсчет**.

С помощью пункта меню **Transport — Cursor to — Project Start** установите курсор в начало временной оси проекта.

Сформируйте испытательный сигнал **белого шума** с уровнем **10 dB SPL** с помощью пункта меню **Generate — Noise**; установите следующие параметры шумового сигнала:

- тип шумового сигнала: **White**;
- амплитуда: **$A_{\text{ш}}$** , соответствующая уровню $N_{\text{ш}} = 10 \text{ dB SPL}$;
- длительность: **30 с**.

С помощью меню **Audio Track — Name** на панели управления дорожкой задайте имя дорожки: «**Color Level**», где **Color** соответствует типу шума, а **Level** — уровню шума в **dB SPL**, например, «**White 10**».

Аналогичным образом создайте на отдельных звуковых дорожках испытательные сигналы белого шума с уровнем **20, 30, 40 dB SPL** (итого четыре испытательных шумовых сигнала).

***Примечание.** Шумовые маскирующие сигналы формируются **отдельно** для каждого из членов бригады.*

Сохраните полученный проект с помощью пункта меню **File — Save Project — Save Project** или нажав клавиши **Ctrl+S**.

2.2. Формирование узкополосных маскирующих сигналов

Исследование эффекта маскировки тональных сигналов узкополосным шумом проводится для трех сигналов белого шума, ширина полосы которых равна одной критической полосе слуха:

- от **258 до 430 Гц**, центральная частота критической полосы: $f_{\text{кр ц}} = 344 \text{ Гц}$;
- от **947 до 1119 Гц**, центральная частота критической полосы: $f_{\text{кр ц}} = 1033 \text{ Гц}$;
- от **3876 до 4478 Гц**, центральная частота критической полосы: $f_{\text{кр ц}} = 4177 \text{ Гц}$;

а уровень составляет $F_{\text{уш}} = 40 \text{ dB SPL}$.

Перед началом выполнения работы получите у преподавателя указанные испытательные сигналы в формате **WAV (32-bit float)**.

Рассчитайте значения уровня $N_{\text{уш FS, dBFS}}$, и амплитуды A_{NRB} тональных маскирующих сигналов, соответствующие значению $F_{\text{уш}} = 40 \text{ dB SPL}$, используя выражения (3) и (4).

Результаты занесите в табл. П.2 отчета (Прил. 2).

***Примечание.** Значения уровня и амплитуды маскирующих сигналов определяются для каждого из членов бригады **индивидуально**, т. к. зависят от индивидуально полученных значений $N_{\text{FS}}(2000 \text{ Гц})$.*

Откройте проект «**FRM**». Убедитесь, что частота дискретизации проекта (опция **Project Rate (Hz)** на панели **Selection Toolbar**) установлена равной **48000 Гц**.

С помощью пункта меню **File — Import — Audio** импортируйте в проект испытательные сигналы узкополосного шума. Убедитесь, что частота дискретизации дорожек с импортированными сигналами равна **48000 Гц**, а длительности сигналов составляет ровно **30 с**. С помощью меню **Audio Track — Name** на панели управления дорожкой задайте имя дорожки: «**F Hz**», где **F** соответствует центральной частоте критической полосы, например, «**344 Hz**».

Уровень узкополосного шума для всех трех испытательных сигналов составляет **–13 dBFS**. Если полученное значение $N_{уш FS, dBFS}$ составляет менее **–13 dBFS**, рассчитайте, на сколько дБ необходимо ослабить испытательные сигналы для получения уровня $N_{уш FS, dBFS}$, в соответствии с выражением:

$$a_{уш} = N_{уш FS} + 13. \quad (5)$$

Отрицательное значение коэффициента $a_{уш}$ соответствует ослаблению сигнала.

Выделите дорожку «**344 Hz**». С помощью пункта меню **Effects — Amplify** выполните ослабление сигнала. Установите следующие значения параметров инструмента:

- **Amplification (dB)**: $a_{уш}$, дБ;
- **Allow clipping**: отключено.

Аналогичным образом выполните ослабление сигнала на дорожках «**1033 Hz**» и «**4177 Hz**». С помощью пункта меню **Analyze — Measure RMS** убедитесь, что среднеквадратический уровень испытательных сигналов узкополосного шума соответствует $N_{уш FS, dBFS}$.

***Примечание.** Ослабление сигналов узкополосного маскирующего шума выполняется отдельно для каждого из членов бригады.*

Сохраните полученный проект с помощью пункта меню **File — Save Project — Save Project** или нажав клавиши **Ctrl+S**.

3. Исследование эффекта одночастотной маскировки маскировки

Выполните настройку воспроизводящего оборудования в соответствии с методикой, изложенной в п. 3.1.

Выполните измерение порогов маскировки (ПМ), т. е. порогов слышимости тонального сигнала на фоне маскирующих сигналов широкополосного и узкополосного белого шума, сформированных в ходе выполнения п. 2, в соответствии с методикой, изложенной в п. 3.2.

Результаты измерений занесите в табл. П.3 отчета (Прил. 2).

3.1. Настройка воспроизводящего оборудования

Подключите к компьютеру головные телефоны.

В ПО **Audacity** на панели управления устройствами ввода/вывода **Device Toolbar** выберите головные телефоны в качестве основного устройства вывода для ПО **Audacity**.

Откройте проект «**FRM**».

С помощью пункта меню **View — Mixer Board** откройте окно микшера. Для повышения точности измерения уровня сигнала разверните окно микшера на весь экран.

Найдите в окне микшера дорожку с наименованием «**2000 Hz**», содержащую испытательный сигнал с частотой **2000 Гц**. Для прослушивания только одной звуковой дорожки «**2000 Hz**» нажмите на панели управления этой дорожкой кнопку **Solo**; при этом все остальные дорожки будут отключены, что соответствует нажатию кнопки **Mute** на панели управления каждой из дорожек.

С помощью пункта меню **Transport — Cursor to — Project Start** установите курсор в начало временной оси проекта.

Наденьте головные телефоны. Запустите воспроизведение испытательного сигнала, нажав кнопку **Play** на панели **Transport Toolbar** или клавишу «пробел». При появлении первых признаков слышимости звукового сигнала остановите воспроизведение, нажав кнопку **Pause** на панели **Transport Toolbar** или клавишу **P**.

Пользуясь шкалой измерителя уровня на дорожке «**2000 Hz**», определите уровень $N_{FS}(2000 \text{ Гц})$, **dBFS**, который сигнал имел в момент выключения. Убедитесь, что уровень

$N_{FS}(2000 \text{ Гц})$ составляет не менее **минус 70 дБ** и не более **минус 60 дБ**. Если полученное значение $N_{FS}(2000 \text{ Гц})$ выходит за пределы указанного диапазона, то необходимо изменить уровень сигнала звуковой картой в настройках операционной системы и драйвера звуковой карты или положение регулятора уровня на устройстве воспроизведения и повторить измерение. Необходимо добиться того, чтобы значение ПС, получаемое для частоты **2000 Гц**, лежало в диапазоне **от –70 до –60 dBFS**.

***Примечание.** При выполнении дальнейших измерений не изменяйте уровень сигнала в настройках операционной системы или драйвера звуковой карты, а также положение регулятора уровня на устройстве воспроизведения!*

3.2. Методика измерения порога одночастотной маскировки

Откройте проект «**FRM**». Убедитесь, что испытательные сигналы на всех дорожках начинаются в нулевой момент времени, а регуляторы относительных уровней дорожек установлены на **0 дБ** (нет дополнительной регулировки уровней).

Найдите в окне микшера дорожку, содержащую маскирующий сигнал, например, «**White 10**». Нажмите на панели управления дорожкой кнопку **Solo**.

Найдите в окне микшера дорожку с наименованием «**100 Hz**», содержащую испытательный сигнал с частотой **100 Гц**. Нажмите на панели управления дорожкой кнопку **Mute**; при этом все остальные дорожки проекта останутся отключенными, а при воспроизведении одновременно будут звучать маскирующий сигнал и тональный сигнал с частотой **100 Гц**.

С помощью пункта меню **Transport — Cursor to — Project Start** установите курсор в начало временной оси проекта.

С помощью пункта меню **View — Mixer Board** откройте окно микшера. Для повышения точности измерения уровня сигнала разверните окно микшера на весь экран.

Наденьте головные телефоны. Запустите воспроизведение испытательных сигналов, нажав кнопку **Play** на панели **Transport Toolbar** или клавишу «пробел». При появлении первых признаков слышимости тонального сигнала на фоне маскирующего сигнала остановите воспроизведение, нажав кнопку **Pause** на панели **Transport Toolbar** или клавишу **P**.

***Примечание.** Будьте внимательны! В области высокой чувствительности слуха (от 500 Гц до 5 кГц), где порог слышимости минимален, воспроизведение испытательного сигнала с уровнем, близким к –15...0 dBFS, может привести к чрезмерному возрастанию уровня громкости и возникновению неприятных ощущений в ушах! Остановите воспроизведение испытательного сигнала, не допуская возрастания громкости более, чем в два раза по сравнению с порогом слышимости (т. е. возрастания уровня сигнала не более, чем на 10 дБ)!*

Пользуясь шкалой измерителя уровня в микшере на дорожке «**100 Hz**», определите уровень $N_{м\text{бш}}(100 \text{ Гц})$, **dBFS**, который сигнал имел в момент выключения. Занесите полученное значение в табл. П.3 отчета (Прил. 2) в соответствующую ячейку столбца «Порог маскировки».

Аналогично повторите измерения значения порога маскировки для всех частот испытательных тональных сигналов.

В случае, если лабораторную работу выполняют несколько студентов, повторите измерения порога маскировки для остальных членов бригады. Число снятых частотных зависимостей порога слышимости должно соответствовать числу студентов, выполняющих данную лабораторную работу.

4. Обработка и анализ результатов исследования

Переведите полученные значения порогов маскировки из **dBFS** в **dB SPL**, пользуясь равенством:

$$N_M(f) = N_{MFS}(f) - N_{FS}(2000 \text{ Гц}), \quad (6)$$

где $N_{FS}(2000 \text{ Гц})$, **dBFS** — порог слышимости тонального сигнала с частотой **2000 Гц** при отсутствии мешающего шума

***Примечание.** Уровень 0 dB SPL определяется только один раз по результатам измерений, выполненных в ходе выполнения п. 3.1 и при обработке результатов измерения не изменяется.*

Результаты расчета занесите в табл. П.4 отчета (Прил. 2) в соответствующие ячейки.

4.1. Получение результатов измерения ПМ для учебной группы/потока

Для получения достоверных результатов измерения ПМ, соберите со всех студентов Вашей группы/потока полученный во время выполнения данной лабораторной работы статистический материал, т. е. частотные зависимости значений ПМ, полученные каждым студентом.

Полученный статистический материал необходимо занести в табл. П.5 (Прил. 2) для выполнения их последующего усреднения.

4.2. Обработка результатов проведения измерения ПМ для учебной группы/потока

Выполните обработку результатов измерений частотных зависимостей порогов маскировки в соответствии с методикой, описанной ниже.

Рассчитайте среднее значение порога маскировки $N_{MCP}(f)$, **dB SPL**, на основании данных табл. П.5 отчета для всех исследуемых значений частоты тонального сигнала.

Для этого сначала из полученного ряда значений порога маскировки для каждой частоты отбросьте крайние значения:

- для случая, когда в испытаниях принимают участие 4–6 слушателей, отбросьте максимальное и минимальное из полученных значений;
- для случая, когда в испытаниях принимают участие 10 и более слушателей, отбросьте по 2–3 наименьших и наибольших значений (в зависимости от общего количества оценок).

Для оставшихся значений рассчитайте среднее арифметическое значение по формуле (7) [7]:

$$N_{MCP}(f) = \frac{\sum_{i=1}^n N_{Mi}(f)}{n} \quad (7)$$

где: $N_{Mi}(f)$ — значение порога маскировки тонального сигнала с частотой f , **Гц**, отдельного слушателя; n — количество усредняемых значений (после исключения наименьших и наибольших значений); $N_{MCP}(f)$ — среднее арифметическое значение порога маскировки тонального сигнала с частотой f , **Гц**.

1) Для полученных усредненных значений $N_{CP}(f)$ рассчитайте среднеквадратическое отклонение $\sigma(f)$ по формуле (8), где $\tilde{D}(f)$ — дисперсия, рассчитываемая по формуле (9) [7]:

$$\sigma(f) = \sqrt{\frac{\tilde{D}(f)}{n}} \quad (8)$$

$$\tilde{D}(f) = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - N_{cp})^2}{n - 1} \quad (9)$$

2) Принимая гипотезу, что распределение статистического материала является нормальным, при доверительной вероятности $\beta = 0,9$ из следует, что значение величины $t_\beta = 1,643$. Величина t_β определяет для нормального закона число среднеквадратических отклонений, которое нужно отложить вправо и влево от центра рассеивания для того, чтобы вероятность попадания в полученный участок была равна β .

Для исследуемого статистического материала рассчитайте значения доверительного интервала по формуле (10) [7]:

$$I_\beta(f) = (N_{cp}(f) - t_\beta \cdot \sigma(f); N_{cp}(f) + t_\beta \cdot \sigma(f)) \quad (10)$$

Таким образом, для каждого исследуемого значения скорости цифрового потока рассчитайте доверительный интервал, в который с вероятностью 0,9 будут попадать значения порога слышимости, получаемые при проведении измерений.

Результаты расчета занесите в табл. П.6 (Прил. 2) отчета.

4.3. Построение графиков частотных зависимостей ПМ

Пользуясь любым доступным программным обеспечением, позволяющим строить графики зависимости одной величины от другой, на основании полученных постройте следующие графики:

График 1²

- частотная зависимость среднего значения ПМ широкополосным белым шумом с уровнем **10 dBSPL**;
- частотная зависимость среднего значения ПМ широкополосным белым шумом с уровнем **20 dBSPL**;
- частотная зависимость среднего значения ПМ широкополосным белым шумом с уровнем **30 dBSPL**;
- частотная зависимость среднего значения ПМ широкополосным белым шумом с уровнем **40 dBSPL**;
- частотная зависимость среднего значения АПС, полученного в ходе выполнения лабораторной работы «Тональная пороговая аудиометрия по воздушной проводимости».

График 2

- частотная зависимость среднего значения ПМ узкополосным белым шумом с центральной частотой критической полосы **344 Гц**;
- частотная зависимость среднего значения ПМ узкополосным белым шумом с центральной частотой критической полосы **1033 Гц**;
- частотная зависимость среднего значения ПМ узкополосным белым шумом с центральной частотой критической полосы **4177 Гц**;
- частотная зависимость среднего значения АПС, полученного в ходе выполнения лабораторной работы «Тональная пороговая аудиометрия по воздушной проводимости».

² Каждый график представляет собой одну координатную плоскость.

Для построения графиков используйте логарифмическую или дробно-октавную шкалу частот и шкалу уровней в **dB SPL**. В заголовке графиков укажите тип маскирующего сигнала; подпишите оси и оформите легенду.

4.4. Анализ результатов исследования

Проанализируйте полученные в ходе выполнения лабораторной работы результаты. Сделайте следующие выводы и обоснуйте их теоретически:

- 1) Соответствуют ли полученные частотные зависимости ПМ широкополосным белым шумом теоретически ожидаемым?
- 2) Чем обусловлены отклонения измеренных ПМ широкополосным белым шумом от теоретически ожидаемых (при их наличии)?
- 3) Чем обусловлена характерная форма кривых ПМ широкополосным белым шумом?
- 4) Соответствуют ли полученные частотные зависимости ПМ узкополосным белым шумом теоретически ожидаемым?
- 5) Чем обусловлены отклонения измеренных ПМ узкополосным белым шумом от теоретически ожидаемых (при их наличии)?
- 6) Чем обусловлен тот факт, что узкополосный белый шум по-разному маскирует тональные сигналы с частотами ниже и выше центральной частоты критической полосы маскирующего шума?

4.5. Требования к содержанию отчета

Лабораторная работа должна быть выполнена студентом самостоятельно. Сдавать на проверку отчет, подготовленный не самостоятельно, недопустимо.

Отчет должен быть оформлен в соответствии с Правилами подготовки и оформления электронных отчетов, сохранен **ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО** в формате **PDF**.

Содержание отчета:

- 1) ФИО студента и номер учебной группы;
- 2) табл. П.2–П.6 (Прил. 2);
- 3) графики, полученные в ходе выполнения п. 4.3;
- 4) выводы по результатам анализа полученных результатов, обоснованные теоретически.

5. Список использованных источников

1. Ковалгин Ю.А. и др. Акустика: Учебник для вузов. Москва: Горячая линия – Телеком, 2009. 660 с.
2. Алдошина И.А. и др. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов. Москва: Горячая линия – Телеком, Радио и связь, 2007. 872 с.
3. ГОСТ Р ИСО 226-2009 Акустика. Стандартные кривые равной громкости. Москва: Стандартинформ, 2010. 20 с.
4. IEC 60645-1 Electroacoustics – Audiometric equipment – Part 1: Equipment for pure-tone audiometry. Geneva: IEC, 2012. 33 p.
5. Kabal P. Audio File Format Specifications [Электронный ресурс] — URL: <http://www-mmsp.ece.mcgill.ca/Documents/AudioFormats/WAVE/WAVE.html> (дата обращения: 06.09.2020).
6. 32-Bit Float Files Explained—Sound Devices [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://www.sounddevices.com/32-bit-float-files-explained/> (дата обращения: 19.03.2023).

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Москва: Наука, 1964.

Программное обеспечение

Задание выполняется с использованием персонального компьютера (ПК) с операционной системой **Windows, macOS** или **GNU/Linux**³.

Для выполнения лабораторной работы установите на ПК бесплатный звуковой редактор **Audacity**⁴ (табл. П3). Во избежание проблем с установкой программного обеспечения, следуйте инструкциям разработчиков.

Перед выполнением практического задания рекомендуется ознакомиться с документацией **Audacity** (табл. П3).

Таблица П.1

Программное обеспечение

№	Программное обеспечение и электронный ресурс
1	Audacity (Windows, macOS, GNU/Linux) https://www.audacityteam.org/
2	Документация Audacity https://manual.audacityteam.org/

³ В учебно-методическом пособии изложен порядок выполнения задания на ПК с операционной системой Windows.

⁴ В учебно-методическом пособии изложен порядок выполнения задания в Audacity версии 3.1.3.

Таблицы для заполнения протокола и отчета

Таблица П.2

Результаты расчета значений уровня и амплитуды маскирующего сигнала

Тип шумового сигнала	Уровень сигнала, dBSPL	Уровень сигнала, dBFS	Амплитуда сигнала	Коэффициент усиления, дБ
Широкополосный	10			—
Широкополосный	20			—
Широкополосный	30			—
Широкополосный	40			—
Узкополосный	40		—	

Таблица П.3

Результаты измерения порога слышимости тонального сигнала на фоне маскирующего сигнала (порога маскировки)

№	Частота тонального сигнала f , Гц	Порог маскировки $N_{\text{МБШ}}$, dBFS, широкополосным белым шумом с уровнем, $N_{\text{БШ}}$, dBSPL				Порог маскировки $N_{\text{МУШ}}$, dBFS, узкополосным белым шумом с центральной частотой критической полосы $f_{\text{крц}}$, Гц		
		10	20	30	40	344	1033	4177
1	100							
2	125							
3	160							
4	200							
5	350							
6	315							
7	400							
8	500							
9	630							
10	800							
11	1000							
12	1250							
13	1600							
14	2000							
15	2500							
16	3150							
17	4000							
18	5000							
19	6300							
20	8000							
21	1000							
22	12500							
23	14000							
24	16000							

Результаты измерения порога слышимости тонального сигнала на фоне
маскирующего сигнала (порога маскировки)

№	Частота тонального сигнала f , Гц	Порог маскировки $N_{\text{м бш}}$, dB SPL, широкополосным белым шумом с уровнем, $N_{\text{бш}}$, dB SPL				Порог маскировки $N_{\text{м уш}}$, dB SPL, узкополосным белым шумом с центральной частотой критической полосы $f_{\text{кр ц}}$, Гц		
		10	20	30	40	344	1033	4177
1	100							
2	125							
3	160							
4	200							
5	350							
6	315							
7	400							
8	500							
9	630							
10	800							
11	1000							
12	1250							
13	1600							
14	2000							
15	2500							
16	3150							
17	4000							
18	5000							
19	6300							
20	8000							
21	1000							
22	12500							
23	14000							
24	16000							

Таблица П.5

Результаты измерения АПС в учебной группе/потоке

№	Фамилия ИО студента	Маскирующий сигнал	Порог маскировки, dBSPL, тонального сигнала с частотой сигнала f , Гц																							
			100	125	160	200	350	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	14000	16000
1		ШП БШ, 10 dBSPL																								
		ШП БШ, 20 dBSPL																								
		ШП БШ, 30 dBSPL																								
		ШП БШ, 40 dBSPL																								
		УП БШ, 344 Гц																								
		УП БШ, 1033 Гц																								
		УП БШ, 4177 Гц																								
...																										
n																										

Таблица П.6

Средние значения АПС, полученные при анализе статистического материала для группы/потока

№	Маскирующий сигнал	Параметр, dBSPL	Частота тонального сигнала f , Гц																							
			100	125	160	200	350	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	12500	14000	16000
1	ШП БШ, 10 dBSPL	N_M^{CP}																								
		σ																								
		\tilde{D}																								
		I_Φ																								
...	...																									