

**Программа магистерской дисциплины  
«Архитектурная и музыкальная акустика»**

**Лектор:** доцент, канд. физ.-мат. наук П.Н.Кравчун

1. Акустические свойства помещений. Уравнения динамики вязкой теплопроводящей жидкости. Граничные условия. Линеаризация системы. Задачи акустики вязкой жидкости как сингулярно возмущенная задача. Механизм поглощения звуковой энергии в помещении с акустически жесткими стенками. Акустический пограничный слой. Профиль колебательной скорости в пограничном слое. Поглощение в объеме помещения. Роль частотного фактора.
2. Статистическая теория реверберации. Уравнение баланса энергии. Диффузное поле. Формулы Сэбина и Эйринга.
3. Локально реагирующий импеданс. Коэффициенты звукопоглощения плоской локально реагирующей поверхности при падении плоской волны под углом и в диффузном поле. Формула Пэриса. Невозможность полного поглощения диффузного поля локально реагирующим импедансом.
4. Основы волнового подхода к описанию акустики помещений. Аксиальные, тангенциальные, косые моды, время реверберации для мод разного типа.
5. Основные критерии акустического качества помещений. Стандартное время реверберации ( $RT_{60}$ ), время реверберации по раннему спаду (EDT), индекс прозрачности ( $C_{80}$ ), время задержки первого полезного отражения (ITDG), индекс разборчивости речи (RASTI), критерии LF, G и др. Ранние боковые отражения, рефлектограмма. Удельный объем на слушателя.
6. Зависимость оптимальных значений критериев акустического качества от назначения и объема зала. Тенденции изменения оптимальных значений со временем, их причины. Залы с трансформируемой акустикой.
7. Основные методы расчета и измерения акустических характеристик помещений. Акустическое компьютерное моделирование.
8. Общая характеристика активных методов изменения акустики помещений (методы «электронной архитектуры»), пример применения в России (ММДМ).
9. Общая характеристика современной музыкальной акустики, ее составные части: теория строев, инструментоведение (органология), психофизиологические аспекты, создание электронных инструментов и др.
10. Музыкальные строи, краткая история их формирования. Строй Пифагора, комма. «Волчьих» тона. Чистый строй. Равномерно темперированный строй.
11. Высота строя. Камертон в разные исторические эпохи. Chorton, Kammerton, Tiefkammerton. Современный камертон.
12. Тембр звучания инструмента, спектр звука. Переходные процессы (атака звучания, завершение). Роль атаки в идентификации инструмента слушателем. Продолжительность атаки и ее связь с оптимальным ITDG в помещении. Стационарный участок звучания. Негармоничность обертонов. Флуктуации звучания, их влияние на восприятие звука инструмента. Спектр стационарного участка. Форманты. Шумовые призвуки.
13. Тремоло, вибрато. Комбинационные тоны (унтертоны), «акустический бас», влияние нелинейных свойств слуха.
14. Классификация музыкальных инструментов по механизму звукообразования (хордофоны, аэрофоны, идиофоны, мембранофоны, электрические инструменты).
15. Хордофоны. Возбуждение звука щипком, ударом, смычком. Фортепиано. Особенности многострунных хоров.
16. Аэрофоны. Лабиальный и язычковый механизмы возбуждения звука. Аэрофоны как автоколебательные системы. Роль резонатора (трубы). Орган.

17. Электрические и электронные музыкальные инструменты. Имитаторы и инструменты с новыми принципами звучания и управления. Терменвокс, терпситон. Принципы синтеза звука и сэмплирования.
18. Влияние психо-физиологических факторов на оценку музыкальных инструментов и их звучания. Перенос игровых качеств инструмента на оценку их звуковых качеств.

**Предусмотрены следующие возможные формы текущего контроля успеваемости:**

1. Домашнее задание;
2. Контрольная работа;
3. Доклады;
4. Коллоквиум;
5. Обсуждение.

*Примерный список вопросов для проведения текущей и промежуточной аттестации:*

Основные акустические характеристики помещений.

Уравнение баланса звуковой энергии в помещении.

Уравнения акустики вязкой жидкости и граничные условия для помещений с жесткими стенками. Акустический пограничный слой.

Диффузное поле. Локально реагирующий импеданс. Коэффициент звукопоглощения.

Особенности звукопоглощения поверхностью с локально реагирующим импедансом.

Формула Сэбина. Полное поглощение.

Волновой подход к описанию акустического поля в помещении. Время реверберации мод разных порядков.

Основные критерии акустического качества залов.

Строй Пифагора, проблема его незамкнутости. Комма.

Равномерно темперированный строй.

Классификация музыкальных инструментов по механизму звукообразования.

Роль переходных процессов в формировании восприятия звучания инструментов.

Основные разновидности хордофонов и способы возбуждения звука.

Основные разновидности аэрофонов, способы возбуждения звука. Аэрофоны как автоколебательные системы.

Высота строя, камертон.

*Примерный список заданий для проведения текущей и промежуточной аттестации:*

Найти профиль колебательной скорости вблизи жесткой стенки в вязкой жидкости.

Оценить частоту, выше которой поле в помещении с заданным объемом и временем реверберации является диффузным.

Указать максимально возможный коэффициент звукопоглощения диффузного поля плоской поверхностью с локально реагирующим импедансом.

Вывести формулу Пэриса.

Привести формулы Сэбина и Эйринга и объяснить их отличия и области применимости.

Совершить предельный переход от формулы Эйринга к формуле Сэбина.

Объяснить принцип формирования строя Пифагора и дать определение пифагоровой коммы.

Объяснить принцип формирования чистого строя и указать его несовершенства.

Объяснить принцип формирования равномерно темперированного строя. Вычислить интервальный коэффициент полутона.

Изобразить общий характер рефлектограммы в помещении с хорошей акустикой.

Указать связь оптимального ITDG с характерным временем атаки инструмента.

Объяснить, что такое аксиальные, тангенциальные и косые моды в помещении.

Дать общую характеристику методам трансформируемой акустики и «электронной архитектуры».

Объяснить отличия между идиофонами и мембранофонами.

Сформулировать понятия «тембр» и «спектр», указать их отличия. Что такое стационарный и нестационарный спектры?

Сформулировать понятие атаки звучания и указать признаки важной роли атаки звучания для восприятия и идентификации музыкальных звуков. Привести примеры из акустической практики.

### Литература

1. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1986.
2. Рейхардт В. Акустика общественных зданий. – М.: Стройиздат, 1984.
3. Анерт В., Стеффен Ф. Техника звукоусиления. М., 2003.
4. Качерович А.Н. Акустика зрительного зала. М., 1968.
5. Алексеев С.П. Акустика зрелищных и концертных залов. М., 1969.
6. Архитектурная физика. М., 1998.
7. Ginn K.B. Architectural acoustics. Naerum, 1978.
8. Вахитов Ш.Я., Ковалгин Ю.А., Фадеев А.А., Щевьев Ю.П. Акустика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 660 с.
9. Щевьев Ю.П. Основы физической акустики. – СПб.: Лань, 2017. - 364 с.
10. Алдошина И., Приттс Р. Музыкальная акустика. – СПб: Композитор, 2014. 720 с.
11. Кузнецов Л.А. Акустика музыкальных инструментов: Справочник. – М.: Легпромбытиздат, 1989. 368 с.
12. Тэйлор Ч.А. Физика музыкальных звуков (пер. с англ.). – М.: Легкая индустрия, 1976. – 184 с.
13. Волконский А.М. Основы температуры. – М.: Композитор, 1998. – 91 с.
14. Исакофф С. Музыкальный строй (пер. с англ.). – М.: АСТ, Corpus, 2016. - 280 с.
15. Кокс Т. (Trevor Cox). Книга звука. Научная одиссея в страну акустических чудес (пер. с англ.). – М.: Азбука\_Аттикус, КоЛибри, 2018. – 352 с.
16. Порвенков В.Г. Акустика и настройка музыкальных инструментов. – М.: Музыка, 1990. 192 с.
17. Харуто А.В. Компьютерный анализ звука в музыкальной науке. – М.: Научно-издательский центр «Московская консерватория», 2015. – 448 с.
18. Блацерна П. Теория звука в приложении к музыке (пер. с итал.). – М.: Книжный дом «Либроком», 2015. – 216 с.
19. Галембо А.С. Фортепиано. Качество звучания. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 168 с.
20. Кривицкая Е.Д., Кравчун П.Н. Органы России. Энциклопедия. – М.: Композитор, 2016. – 256 с.
21. Кравчун П.Н. Проблемы создания и реконструкции органных залов // Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрации. Сборник трудов XIII Сессии Российского акустического общества. Т.5. – М.: ГЕОС, 2003. С. 9-20.
22. Benade A.H. Fundamentals of musical acoustics. – N.Y.: Dover Books, 1990.
23. Fletcher N.H., Rossing Th.D. The physics of musical instruments. – New York: Springer Science, 2006.