

Обоснование выбора статистической теории для расчета ожидаемой шумности транспортных машин

Гришина С. Ю.^{1*}, Иванов Н. И.², Курцев Г. М.³

¹Студентка, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. д. Ф. Устинова, Россия, г. Санкт-Петербург

²Профессор, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. д. Ф. Устинова, Россия, г. Санкт-Петербург

³Профессор, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. д. Ф. Устинова, Россия, г. Санкт-Петербург

Аннотация

В данной статье рассматриваются три теории акустики. Цель данной статьи – обоснование теорий, чтобы в дальнейшем была возможность выбрать теорию, необходимую для расчета ожидаемой шумности в кабине транспортных машин. Отражены основные положения для расчета по всем трем теориям. В статье приведены допущения конкретной теории, по которым можно рассчитать акустическое поле в кабине строительно-дорожной техники. На основе анализа полученных данных установлено, что ожидаемую шумность в кабине строительно-дорожной техники необходимо рассчитывать на основе статистической теории с её допущениями.

Ключевые слова: шум, кабина, акустическое поле, строительно-дорожные машины, ожидаемая шумность.

Substantiation of the choice of the statistical theory for calculating of the expected noise of transport vehicles

Sofia Grishina^{1}, Nickolay Ivanov², Gennadiy Kurzev³*

¹*Student, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia*

²*Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia*

³*Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia*

Abstract

This article discusses three theories of acoustics. The purpose of this article is the substantiation of the choice of the statistical theory for calculating of the expected noise in the cabin of transport vehicles. The article describes the main regulations for the calculation of all three theories. The article presents the suppositions of a particular theory for calculating the acoustic field in the cabin of the construction vehicle. After analysis of the data authors offer to use the statistical theory with some of the suppositions for calculating expected noise level in the cabin of the construction vehicle.

Key words: *noise, cabin, acoustic field, construction vehicles, the expected noise.*

Введение

Для расчета ожидаемой шумности в кабине транспортных машин необходимо составить аналитическую модель. В свою очередь, эта модель должна быть построена на определенной теории акустики. В акустике для расчета ожидаемой шумности используются три теории: волновая, геометрическая и статистическая. Для определения необходимой для расчета ожидаемой шумности на транспортных машинах теории, основы теорий будут описаны и даны допущения к необходимой теории.

*E-mail:gsy62@mail.ru (Гришина С.Ю.)

1. Волновая теория

Основы волновой теории были разработаны Дж. У. Рэлеем и развиты в работах Ф. Морзе, Р. Болта, Л. Кремера и др. Волновая теория рассматривает звуковые процессы как строгую физическую задачу с учётом волновой природы звука. При рассмотрении поведения воздушного объёма помещения со звуковым сигналом отметим, что первый ведет себя как сложная колебательная система. Строгий анализ волновых процессов, протекающих в помещении, позволяет понять, как они влияют на акустические свойства помещения. Волновая теория акустики опирается на строгий математический аппарат, который довольно сложен и громоздок.

Упрощенно сущность волновых методов расчетов можно представить следующим образом:

- составляется волновое уравнение, описывающее изменение звукового давления или колебательной скорости в различных точках среды;
- находится общее решение дифференциального уравнения;
- задаются определенные граничные условия, в которые входят геометрия поверхностей и источника и физические условия звукового поля на границе;
- выполняется решение уравнения относительно звукового давления или скорости.

Волновой метод, несмотря на свою строгость, не во всех случаях может дать решение. Так, например, чрезвычайно сложным становится решение волнового уравнения при случайном характере акустического сигнала, с которым и имеют дело в практике шумозащиты.

2. Геометрическая акустика

Геометрическая теория является предельным случаем волновой, она более проста и наглядна. Эта теория оперирует понятием звукового луча. Звуковое поле представляется в виде лучей, построенных по законам оптики. Методы геометрической акустики применимы, если длина звукового луча (l) больше длины звуковой волны (λ), или равна ей, т. е. $l \geq \lambda$. Они достаточно сложны, не универсальны и применяются в основном для средних и высоких частот. С их помощью описываются звуковые поля в протяженных замкнутых объемах, решаются задачи отражения звука от поверхностей.

Например, плотность отраженной звуковой энергии определяется так:

$$E_{отр} = E_{пад}(1 - \alpha_{пов}), \text{ Дж/м}^3 \quad (1)$$

где $E_{пад}$ – плотность падающей энергии, Дж/м³; $\alpha_{пов}$ – коэффициент звукопоглощения отражающей поверхности.

Отметим, что условия диффузности звукового поля в большей степени соблюдаются при расположении источников шума снаружи замкнутого объема. Если источник находится внутри помещения, звуковое поле имеет более сложный характер.

В помещении можно различать прямой звук от источника и отраженный – от ограждающих поверхностей.

Вблизи источника наблюдается спад уровней звукового давления с увеличением расстояния до тех пор, пока отраженный звук не начнет превалировать над прямым.

Учитывая, что геометрическая акустика используется для исследования звуковых полей в несоразмерных помещениях и имеет ряд ограничений, её применение для разработки метода расчета ожидаемой шумности транспортных машин резко ограничено, за исключением метода линейных источников.

3. Статистическая теория

Основы статистической теории акустики были заложены У. Сэбином и развивались Л. Беранеком, Н. И. Ивановым, Е. Я. Юдиным, И. И. Клюкиным, Р. Лайоном и др. Эта теория принципиально отказывается от рассмотрения сложных акустических явлений, допускает определенную идеализацию физических процессов в помещении и полностью отходит от рассмотрения волновой природы звука. Статистическая теория неупорядоченные эргодические процессы основывается на предположении о равновероятном приходе звуковых отраженных волн из любого направления в любую точку помещения. Звуковое поле в помещении идеализировано и рассматривается как изотропное и диффузное. Статистическая теория использует метод энергетического сложения сигналов.

При рассмотрении методами статистической акустики распространяющейся звуковой волны не учитываются мгновенные изменения амплитуды и фаз колебаний, т. е. пренебрегают рассмотрением интерференционной картины звукового поля и координаты точки среды. Одним из основных положений статистической теории является предположение о постоянстве акустической мощности источника в помещении.

Статистическая теория справедлива для помещений, которые характеризуются равномерным распределением звуковой энергии, поэтому она имеет определенные ограничения.

Так как принципы энергетического сложения, положенные в основу статистической теории, позволяют все расчеты свести к логарифмическим, то эта теория является чрезвычайно благоприятной для создания инженерных методов расчета. Поэтому большинство практически применяемых методов расчета ожидаемой шумности основаны на теории статистической акустики, а там, где она не может быть применена – геометрической акустики.

Выше уже отмечалось, что метод статистической акустики имеет ряд ограничений, поэтому основной задачей настоящего рассмотрения является установить возможность применения этих принципов для создания методов расчета ожидаемой шумности для строительно-дорожных машин (далее – СДМ).

Рассмотрим более подробно основные положения статистической теории, и в какой мере эти допущения соответствуют условиям на СДМ.

Основные положения при расчетах ожидаемой шумности:

1. Звуковое поле в помещении диффузное;
2. Импеданс ограждающих поверхностей помещения примерно одинаков;
3. Размеры помещения достаточно велики и как минимум больше длины звуковой волны (λ);
4. Отношение наибольшего размера помещения к наименьшему не превышает $4 \div 5$;
5. Источники звука ненаправленные;
6. Источники звука некогерентны;
7. Акустический сигнал широкополосный;
8. Источники звука ненаправленные и являются точечными источниками сферических звуковых волн.

В первом приближении звуковое поле в замкнутом объеме может рассматриваться как квазидиффузное, если в нем не содержится достаточно большое число собственных колебаний.

По данным ASIM (Американское общество по испытанию материалов) звуковое поле в замкнутом объеме диффузное, если в нем возбуждено не менее 20 собственных

колебаний, а по данным А. С. Никифорова не менее 10 колебаний. Условие Майера для диффузного звукового поля:

$$f_{\text{диф}} \geq 125 \sqrt[3]{\frac{180}{V}}, \text{ Гц} \quad (2)$$

где V – объём помещения, м^3 .

Расчеты по вышеприведенной формуле показывают, что для самых малых объёмов СДМ ($V=3 \text{ м}^3$) значение $f_{\text{диф}}$ составляет $f_{\text{диф}}=500 \text{ Гц}$, а для самых средних объёмов ($V=10 \text{ м}^3$) $f_{\text{диф}} \leq 300 \text{ Гц}$. Таким образом, расчеты ожидаемой шумности СДМ, основанные на статистической теории, могут осуществляться с частоты со среднегеометрическим значением 250 Гц .

Анализ конструкции замкнутых объёмов СДМ (кабин, дизельных помещений и пр.) показывает, что импедансы ограждающих конструкций различаются незначительно, а отношение наибольшего размера к наименьшему не превышает $3 \div 4$.

Анализ взаимного расположения источников на СДМ показывает, что они, как правило, расположены на сравнительно небольших расстояниях друг от друга. Примем, что, если источники звука расположены друг от друга на расстоянии свыше $1/6 \lambda$, то они некогерентны. Наименьшее возможное расстояние между источниками шума на СДМ составляет $0,3-0,5 \text{ м}$. Таким образом, на частотах $f \geq 110-200 \text{ Гц}$ источники звука некогерентны.

Анализ источников, расположенных в помещении (корпус двигателя внутреннего сгорания (далее – ДВС), редуктор, гидромотор, гидронасос и др.) показал, что все источники, как правило, являются ненаправленными источниками.

Вопрос звуковых полей излучателей требует особого рассмотрения. Примем, что на СДМ в ряде случаев имеет место расположение расчетной точки в дальнем звуковом поле излучателя. Это предположение реализуется при условиях:

$$R \geq 2 \frac{l_{\text{max}}^2}{\lambda} \text{ или } R \geq 2l_{\text{max}}, \text{ м} \quad (3)$$

где l_{max} – максимальный размер излучателя, м.

Для абсолютного большинства излучателей звука (редукторы, выхлоп и всасывание ДВС, гидронасосы и пр.) значение l_{max} м, т. е. расчетные точки практически находятся в зоне дальнего звукового поля. Исключение составляет корпус ДВС: некоторые расчетные точки, расположенные на расстоянии менее $1,0 \div 1,5 \text{ м}$, могут попасть в зону ближнего звукового поля в отдельных частотах. В таком случае в расчетах может быть использована поправка на ближнее звуковое поле, полученная Г. Л. Осиповым.

Таким образом, можно утверждать, что статистическая теория может быть использована в качестве теоретической базы для разработки метода расчета ожидаемой шумности на СДМ.

Надежные результаты могут быть получены для шести основных частот нормируемого диапазона, начиная с частоты её среднегеометрического значения 250 Гц .

Таким образом, расчет ожидаемой шумности СДМ производится при следующих предположениях:

- в отдельных случаях излучатели на достаточно близких расстояниях принимаются как излучатели плоских звуковых волн;
- источники звука являются источниками сферических звуковых волн;
- звуковое поле в замкнутых объемах квазидиффузное;
- резонансные явления в замкнутых объемах и других конструкциях СДМ не учитываются;

- источники звука являются источниками некогерентных звуковых сигналов;
- конструкции СДМ приняты идеализированными;
- в расчетах используются эмпирические и полуэмпирические данные;
- ближнее звуковое поле источника в расчетной точке учитывается введением экспериментальной поправки;
- звуковая энергия в расчетной точке может быть получена энергетическим суммированием отдельных составляющих;
- звуковая волна, проходящая вблизи отражающей поверхности, рассматривается как результат действия зеркального мнимого источника, расположенного за отражающей поверхностью на расстоянии, равном расстоянию от излучателя до этой поверхности;
- замкнутый объем характеризуется средним коэффициентом звукопоглощения ($\bar{\alpha}$);
- звуковая мощность одного и того же источника звука при размещении в разных помещениях не меняется.

На более низких частотах, для которых вышеперечисленные условия не соблюдаются, необходимо учитывать резонансные явления, проходящие в замкнутых объемах. Звуковое поле на низких частотах характеризуется интерференционной картиной, т. е. в результате наложения прямых и отраженных звуковых волн образуется стоячая волна. Результаты экспериментов показывают, что неравномерность звукового поля на низких частотах превышает 5-7 дБ. Как показывают данные иных экспериментов, для наибольшего влияния на формирование звукового поля в низкочастотной области оказывает колебание воздушного столба кабины. Эти явления с трудом поддаются расчетам, поэтому они учитываются введением экспериментальных добавок. Для СДМ также получены эмпирические характеристики влияния резонансов в замкнутых объемах (кабинах). Таким образом, расчет ожидаемой шумности по статистической теории может быть выполнен для диапазона частот начиная с 250 Гц. А для частот 63 и 125 Гц необходимо вносить экспериментальные поправки.

Список литературы

1. Иванов Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Логос, 2013. – 432с.
2. Иванов Н. И., Никифоров А. С. Основы виброакустики: Учебник для вузов – СПб.: Политехника, 2000. – 482с.: ил.