

# Комплексное исследование звукоизоляции акустически однородных конструкций на примере газобетонной стены

Щелоков Ю.А.

ООО «Акустические расчеты»

*info@acoustic-services.ru*

**Аннотация:** В работе представлен комплексный подход к изучению звукоизоляционных свойств акустически однородных конструкций на примере газобетонной стены. Приведены результаты исследования газобетонной конструкции в звукомерных камерах ОАО «Центра технологии судостроения и судоремонта». Рассмотрена применимость классических методов расчета подобных систем. Проведено сравнение экспериментальных данных с расчетами по методике СП-23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» и в программе SoundFlow. Продемонстрирована возможность замены лабораторных измерений изоляции воздушного шума моделированием процесса измерения звукоизоляции с помощью численных методов в программном комплексе Comsol Multyphysics.

**Ключевые слова:** Численные методы, триангулярная сетка, изоляция воздушного шума, реверберационная камера.

В истории науки важнейшим методом познания явлений остается экспериментальное исследование.

Наибольшую популярность для определения звукоизоляционных характеристик материалов и конструкций получил стандартизованный метод смежных реверберационных камер. Испытываемая конструкция помещается в испытательный проем между двумя помещениями - камерой высокого уровня (КВУ) и камерой низкого уровня (КНУ). В указанных помещениях в широком диапазоне частот должно формироваться диффузное акустическое поле. Поэтому помещения КВУ и КНУ делают разной формы и размеров с хорошо отражающими ограждающими поверхностями. Суть метода заключается в определении разницы уровней звукового давления между звукомерными камерами в третьоктавных полосах частот при возбуждении в КВУ широкополосного «белого шума», либо тональных сигналов.

В качестве исследуемого объекта была выбрана стенка из газобетонных блоков, плотностью  $600 \text{ кг/м}^3$  и толщиной 150 мм.

На рис. 1 представлены результаты измерений изоляции воздушного шума газобетонной стенки в звукомерных камерах ОАО «Центра Технологии Судостроения и Судоремонта».

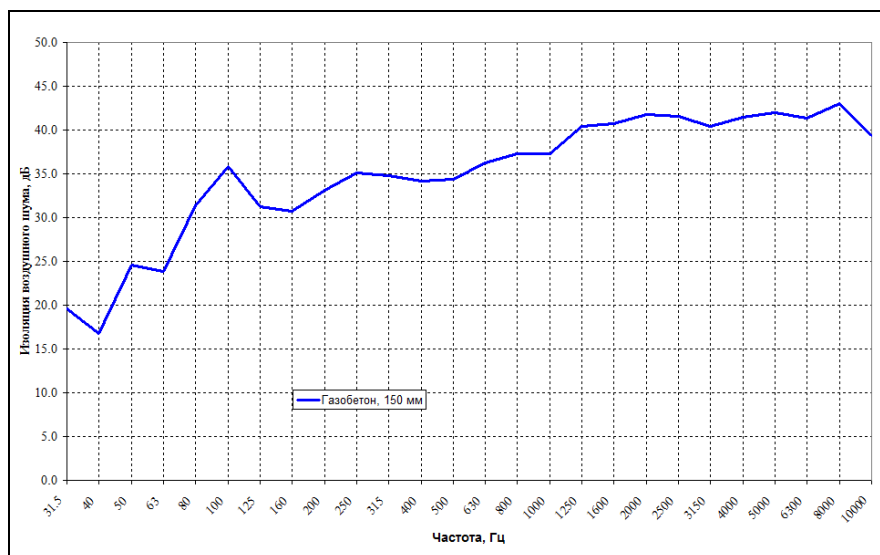


Рис. 1. Результаты измерений звукоизоляции газобетонной стены в лабораторных условиях

Для подтверждения данных полученных измерительным путем было принято решение провести акустический расчет изоляции воздушного шума методом, изложенным в Своде Правил СП 23-103-2003 “Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий” [1].

На рис. 2 представлен график сравнения результатов расчета и эксперимента.

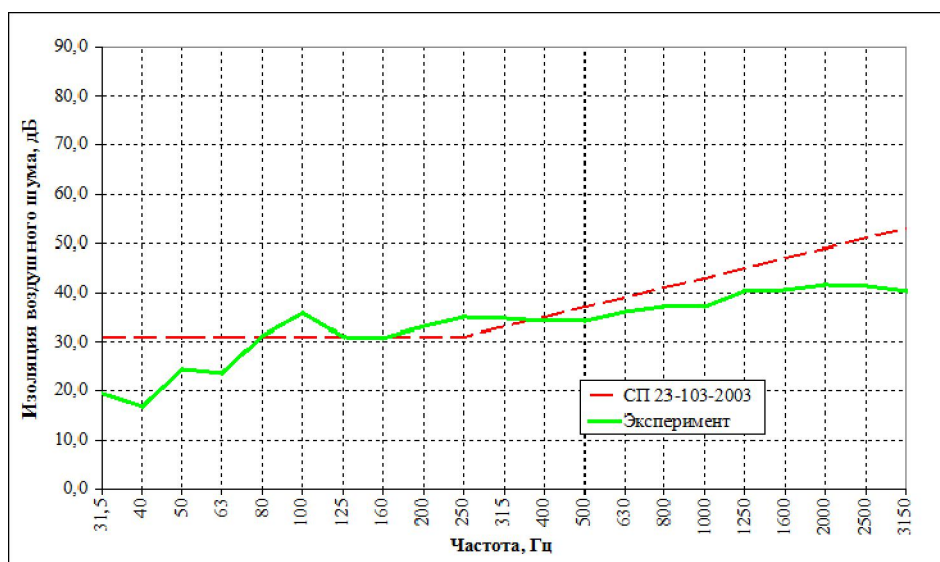


Рис. 2. Сравнение данных эксперимента и расчета по методике СП 23-103-2003

Как видно, из рис.2 кривая полученная экспериментально лежит ниже расчетной кривой на частотах от 31,5 Гц до 80 Гц и начиная с частоты 400 Гц разница между расчетной кривой и данными эксперимента возрастает линейно.

Второй метод, которым мы хотели получить подтверждение экспериментальных данных стал расчет звукоизоляции газобетонной стенки в

программном комплексе SoundFlow компании AFMG (см. Рис.3).

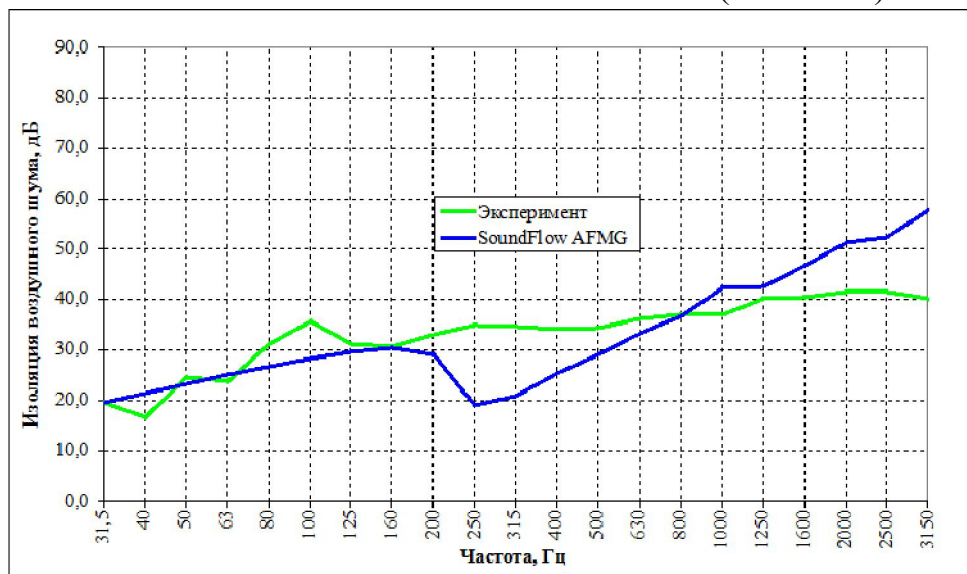


Рис. 3. Сравнение данных эксперимента и расчета в программе SoundFlow

Согласно рис.3 наблюдаются различия результатов расчета в программе SoundFlow с экспериментом: от 200 Гц до 630 Гц наблюдается “провал”, а с частоты 1250 Гц мы видим линейный рост расчетных значений относительно данных эксперимента. При этом стоит отметить, слишком интенсивный рост расчетной кривой после резонансной частоты.

Полученные результаты, показали, что, несмотря на наличие известных методов расчета звукоизоляции конструкций с их помощью нельзя в полной мере обеспечить требуемую точность. Этому может способствовать как неравномерность акустического поля в помещении, так и способы закрепления конструкции, и ее размеры.

Поэтому, даже сегодня при проектировании ограждающих конструкций быть полностью уверенным в характеристиках изоляции воздушного шума нельзя. Трудоемкость экспериментальных исследований материалов и конструкций в звукомерных камерах не позволяет получать результаты в сжатые сроки. При этом выбор наилучшей конструкции требует математического обоснования.

Широкое применение получили численные методы на основе математического моделирования методом конечных элементов.

Для решения задачи моделирования процесса измерения звукоизоляции конструкций в программном комплексе Comsol Multyphysics была построена точная 3D модель реверберационных камер ОАО “ЦТСС” (см. Рис.4).

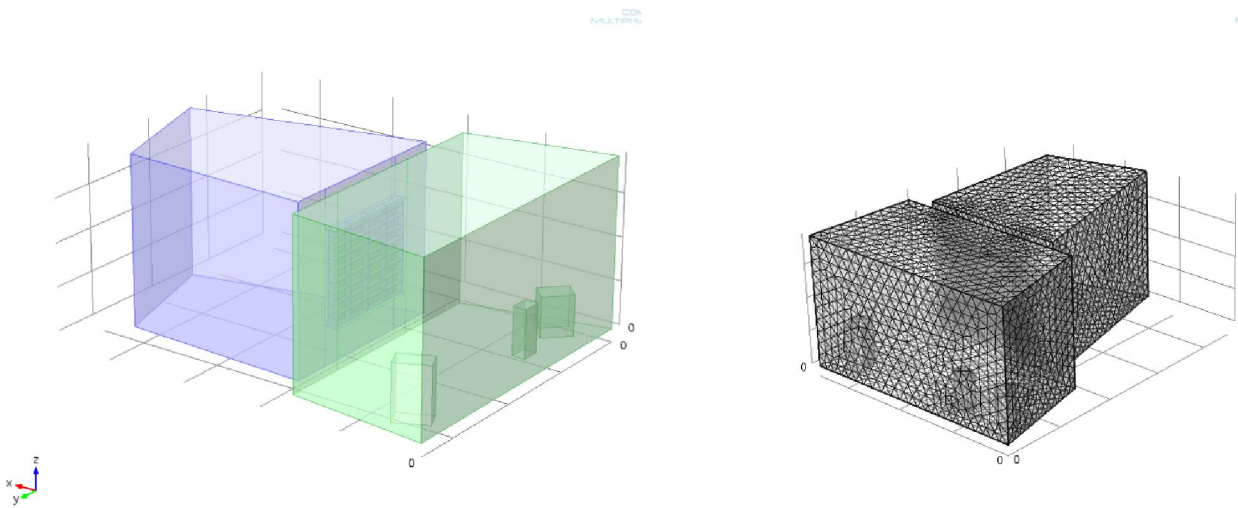


Рис. 4. 3D модель звукомерных камер ОАО “ЦТСС” и триангулярная сектка

Моделирование акустических полей в звукомерных камерах было проведено двумя методами:

- 1) с помощью встроенного программного модуля Pressure Acoustics. В основе модуля лежит решение уравнения Гельмгольца [2,3]:

$$\nabla \cdot \frac{1}{\rho_c} (\nabla p_t - \mathbf{q}_d) - \frac{k_{eq}^2 p_t}{\rho_c} = Q_m, \quad (1)$$

где  $p_t = p + p_b$  - звуковое давление,  $k_{eq}^2 = \left( \frac{\omega}{c_c} \right)^2$  - эффективное волновое число;  $c_c = \frac{\omega}{k}$  - скорость звука в среде;  $k = \frac{\omega}{c} - i \ln(10) \frac{\alpha}{20}$  - волновое число, с учетом затухания звука в воздухе;  $\rho_c = \frac{\rho c^2}{c_c^2}$  - плотность среды;  $\rho$  - плотность невозмущенной среды;  $\omega$  - круговая частота;  $Q_m$  - монопольный источник.

Модуль не предполагает оценку воздействия акустического давления на помещенные в это поле твердые тела.

- 2) с помощью встроенного модуля Acoustic-Solid Interaction.

Данный модуль позволяет учитывать деформацию стенки при воздействии на нее акустического поля в заданном частотном диапазоне.

Решение в воздушном объеме ищется также из уравнения Гельмгольца (1), а для испытываемой стенки формируется линейная модель, в которой учитывается связь между тензором напряжения и тензором деформации. Уравнение упругой волны в стенке получают решением второй закон Ньютона:

$$-\rho \omega^2 \mathbf{u} - \nabla \sigma = \mathbf{F}_v e^{i\phi}, \quad (2)$$

где  $\nabla$  - оператор Лапласа;  $\sigma$  - тензор напряжений;  $\mathbf{u}$  - вектор скорости,  $\mathbf{F}_v$  - сила, воздействующая на твердое тело;

В результате моделирования измерительного процесса звукоизоляции газобетонной стенки с помощью модуля Pressure Acoustics была получена следующая частотная характеристика изоляции воздушного шума (см. рис. 5)

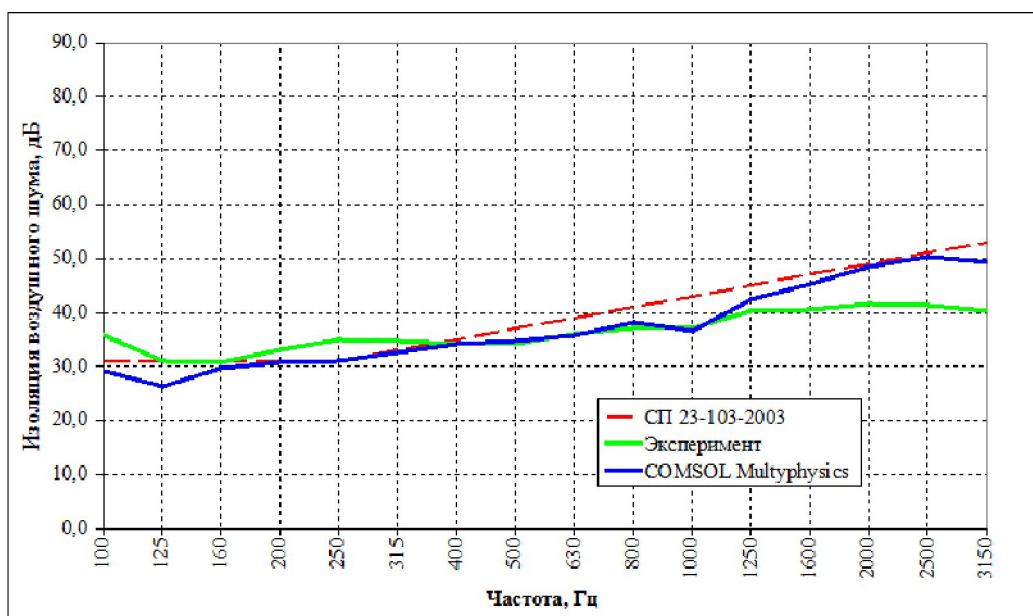


Рис. 5. Результат моделирования с помощью модуля Pressure Acoustics

Из рис. 5 видно, что полученная кривая звукоизоляции в большей степени сопоставима с результатом расчетов по методике свода Правил СП 23-103-2003 и на частотах выше 1250 Гц лежит выше экспериментальной кривой на 3-10 дБ.

Результаты применения модуля Acoustic-Solid Interaction представлены на рис. 6 и рис.7.

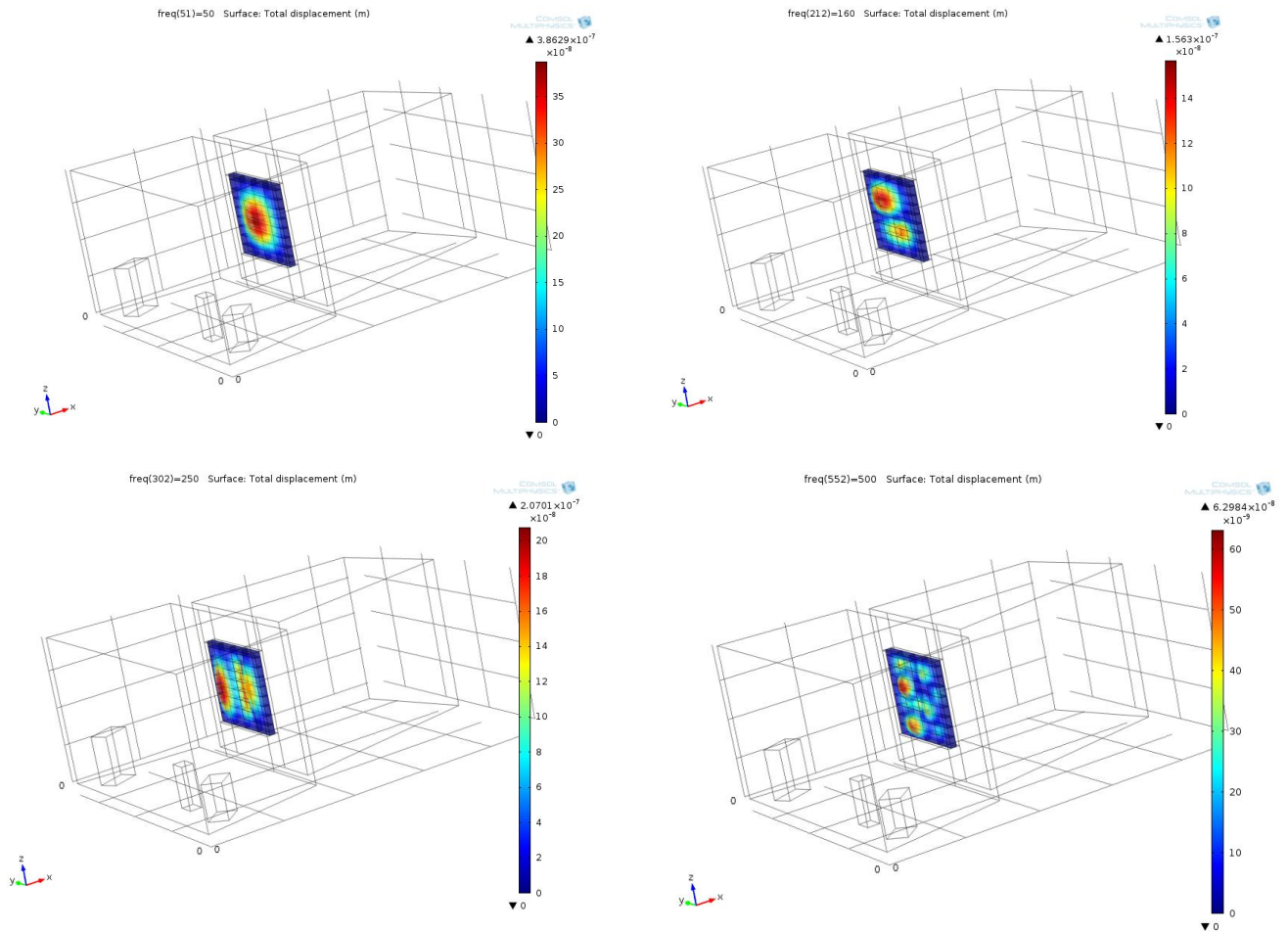


Рис. 6. Форма колебаний конструкции при различных частотах возбуждения

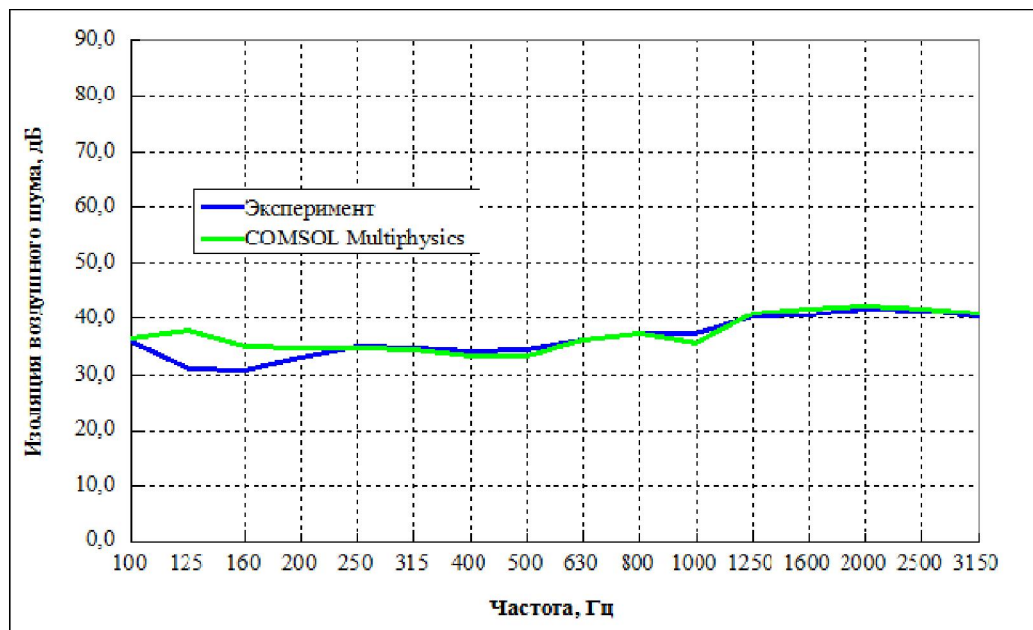


Рис. 7. Сравнение данных эксперимента и моделирования в COMSOL Multyphysics Acoustic-Solid Interaction

В результате численного моделирования процесса измерения звукоизоляционных свойств газобетонной стены в реверберационных камерах с помощью модуля Acoustic-Solid Interaction мы получили важные данные акустического поля внутри КВУ и КНУ, характер колебаний конструкции и ее звукоизоляционную характеристику.

Согласно рис. 7 информация об изоляции воздушного шума газобетонной конструкции более точно описывается при моделировании акустических процессов методом конечных элементов, нежели классическими методами расчетов. При этом, учет размеров преграды и методов ее крепления сильно влияют на результат расчета эффективности звукоизоляции конструкции.

Проведенное исследование показало, что существующие методики пока не дают точной формулы для расчета звукоизоляции преград ограниченных размеров. Применение стандартной методики Свода Правил и программного комплекса SoundFlow дают значительные отклонения от данных полученных экспериментальным путем.

Также показано, что применение методов конечных элементов для решения задач определения звукоизоляции конструкций должно сопровождаться учетом деформации конструкций.

Таким образом, численное моделирование пока остается наиболее точным расчетным способом определения эффективности звукоизоляции конструкций.

Считаем, что, несмотря на решение ресурсоемкой задачи с большими затратами вычислительного времени, использование высокоинтеллектуальных систем моделирования позволит существенным образом увеличить точность проектных решений в области разработки противозумовых конструкций, уменьшить стоимость их разработки и оптимизировать конструкции не прибегая к экспериментальным исследованиям.

### Список литературы

1. *СП 23-103-2003*. Звукоизоляция ограждающих конструкций жилых и общественных зданий. С.-Петербург, 2004.
2. *Ratnieks J., Jakovics A., Klavins J.* / Development of Mathematical Model for Determining Sound Reduction Index of Building Elements // Comsol Conference in Stuttgart, 2011.
3. *Comsol* “Acoustic module user guide”, 2010.
4. *Крейтан В.Г.* Обеспечение звукоизоляции при конструировании жилых зданий, 1980.
5. *Nilsson, A.C.* Reduction index and boundary conditions for a wall between two rectangular rooms // *Acustica* 1972. Vol. 2.
6. *Sewell, E. C.* Transmission of reverberant sound through a single-leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle // *Journal of Sound and Vibration* №12, 1970. PP. 21-32.