

Исследование особенностей распространения звука в каналах при наличии слабо меняющегося импеданса ЗПК применительно к учету эффекта нелинейности граничных условий при высоких уровнях звукового давления

А.М. Соленов^{1,2}, А.Ф. Соболев¹, Н.Н. Остриков²

¹Московский физико-технический институт
(государственный университет)

²Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского

Звукопоглощающие конструкции (ЗПК) являются наиболее эффективным средством снижения шума вентиляторов современных авиадвигателей. При работе ЗПК в условиях высоких уровней звукового давления, характерных для современных ТРДД, может реализовываться эффект нелинейности граничных условий. Данный эффект характеризуется зависимостью импеданса от уровня и спектрального состава звука и может реализовываться для широкого класса ЗПК при высоких уровнях звукового давления вблизи вентилятора ТРДД. Например, для классических сотовых ЗПК данный эффект начинает оказывать влияние на импеданс при уровнях шума более 110 дБ благодаря появлению интенсивных вихрей, возникающих при протекании газа через отверстия перфорированных листов ЗПК под воздействием акустических пульсаций давления (реальный уровень шума вблизи вентилятора может достигать 160 дБ). К настоящему времени для некоторого класса ЗПК разработаны полуэмпирические модели, описывающие зависимость их импеданса от уровня и спектрального состава пульсаций звукового давления, однако применение таких ЗПК на практике сдерживается отсутствием робастных математических моделей распространения звука в потоке при наличии нелинейных граничных условий характерных для ЗПК.

Данная работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию нелинейного эффекта работы ЗПК при больших уровнях звукового давления.

Главная особенность экспериментов состояла в том, что испытуемый образец ЗПК имел отделимую перфорированную панель от сотового наполнителя. Это позволяло поворачивать на произвольный угол перфорированную панель по отношению к сотовому наполнителю при закреплении образца в интерферометре. Тем самым, в экспериментах варьировалось расположение отверстий перфорированной панели по отношению к ячейкам сотового наполнителя. Основная цель исследований состояла в сравнении экспериментальных результатов извлечения импеданса двухмикрофонным методом при различном расположении перфорированной панели к сотовому наполнителю со значениями импеданса, вычисляемого расчетным способом согласно полуэмпирической модели, предложенной А.Ф. Соболевым в работе [1]. При этом особенность состоит в том, что полуэмпирическая модель предполагает идеальное расположение отверстий по отношению к ячейкам наполнителя - одно отверстие на одну ячейку и острые края каждого отверстия далеко располагаются от вертикальных стенок ячеек, что могло как соблюдаться, так и нарушаться в экспериментах в зависимости от взаимного расположения перфорированной панели и сотового наполнителя. Таким образом, в экспериментах проводится исследование влияния предположений, заложенных в полуэмпирическую модель, на комплексное значение импеданса однослойного образца ЗПК.

Показано, что мнимая часть импеданса однослойной ЗПК практически не зависит от взаимного расположения отверстий перфорированной панели и ячеек сотового наполнителя и надежно предсказывается с помощью полуэмпирической модели при любых уровнях звукового давления, исходя из основных геометрических параметров ЗПК, в то время как действительная часть импеданса, описывающая диссипативные свойства ЗПК, сильно зависит от взаимного расположения отверстий перфорированной панели и ячеек сотового наполнителя. При этом в случае центрального расположения отверстий перфорированной панели по отношению к ячейкам наполнителя наблюдается наименьшее значение реальной части импеданса и наблюдается хорошее совпадение между экспериментальными данными и предсказанием полуэмпирической теории.

Основная цель теоретических исследований в настоящей работе состояла в проверке возможности использования аналитических решений, полученных в 1980-1990-ых годах в Акустическом отделении ЦАГИ для случая распространения звуковых волн в плавно неоднородных каналах с потоком при наличии плавно неоднородного импеданса облицовок стенок канала [2-7], для построения итерационных алгоритмов решения задачи о распространении звуковых мод при наличии нелинейных граничных импедансных условий.

На основе использования асимптотического решения, полученного Е.А. Леонтьевым [2] для случая распространения звуковых волн в цилиндрическом канале при наличии плавно неоднородного импеданса облицовки стенок канала, построен итерационный алгоритм решения задачи о распространении звуковых мод при наличии нелинейных импедансных граничных условий, определяемых с помощью полуэмпирической теории [1].

Литература

1. *Соболев А.Ф.* Полуэмпирическая теория однослойных сотовых звукопоглощающих конструкций с лицевой перфорированной панелью // Акустический журнал, 2007. Т. 53. №6. с. 861-872.
2. *Леонтьев Е.А.* Распространение звука в канале с медленно изменяющимся вдоль оси импедансом стенок. *Аэроакустика* / под ред. А.В. Римского-Корсакова. М.: Наука, 1980. с. 18-33.
3. *Гладенко А.Ф., Леонтьев Е.А.* Распространение акустических возмущений в плавно неоднородном цилиндрическом канале с потенциальным изэнтропическим потоком // Акустический журнал, 1985. Т. 31. № 2. с. 171-177.
4. *Гладенко А.Ф., Леонтьев Е.А.* Метод пограничного слоя в задаче распространения звука в канале переменного сечения с потоком // Акустический журнал, 1987. Т. 33. № 2. с. 212-218.
5. *Гладенко А.Ф., Леонтьев Е.А.* Распространение звука в плавно неоднородном канале с потоком при наличии двух точек поворота // Акустический журнал, 1987. Т. 33. № 6. с. 1008-1013.
6. *Гладенко А.Ф., Соболев А.Ф.* Функция Грина для плавно неоднородного канала с потоком // Акустический журнал, 1993. Т. 39. №6. с. 1037-1042.
7. *Соболев А.Ф.* Функция Грина для плавно неоднородного канала при наличии пограничного слоя с линейным профилем скорости // Акустический журнал, 1995. Т. 41. № 2. с. 301-306.