

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ.
ШУМЫ И ВИБРАЦИЯ

УДК 534.83

СНИЖЕНИЕ ШУМА ДОЗВУКОВОЙ СТРУИ ЗА СЧЕТ
ГОФРИРОВАННОЙ ФОРМЫ СОПЛА

© 2013 г. В. Ф. Копьев, М. Ю. Зайцев, Н. Н. Остриков

ФГУП ЦАГИ, Научно-исследовательский Московский комплекс ЦАГИ

105005 Москва, ул. Радио 17

E-mail: aeroacoustics@mktsagi.ru

Поступила в редакцию 27.08.2012 г.

Продемонстрирована возможность понижения уровня шума дозвуковой струи при использовании гофрированной формы сопла. Снижение шума составляет порядка 2 дБ.

Ключевые слова: шум дозвуковой струи, гофрированная форма сопла, число Струхала.

DOI: 10.7868/S0320791913010097

В работе экспериментально исследуется возможность снижения шума дозвуковой турбулентной струи за счет использования гофрированной формы сечения сопла. Звуковое поле дозвуковой струи, истекающей со скоростью 240 м/с из шестилепесткового гофрированного сопла с различной амплитудой гофра сравнивалось со звуковым полем эквивалентной круглой струи. Показано, что увеличение амплитуды гофра приводит к снижению шума в дальнем поле струи в диапазоне чисел Струхала $0.1 < St < 0.7$, содержащем максимум в спектре излучения струи, и незначительному увеличению шума в области высоких частот. Снижение шума при использовании гофрированного сопла составляет 2.3 дБ по сравнению с круглым соплом при одинаковой площади выходного сечения обоих сопел.

Управление шумом дозвуковой струи за счет гофрированной кромки сопла было впервые предложено в [1], где задача рассматривалась на языке резонансного взаимодействия волн неустойчивости круглой струи, связанных за счет слабо гофрированной формы сопла. Управлению волной неустойчивости в дозвуковых струях и их прямой диагностике посвящены работы [2, 3]. Для сверхзвуковых струй акустические характеристики гофрированных течений рассматривались в [4]. Имеется большое количество работ по влиянию загромождений сечения струи, называемых “тэбами” [5], а также влиянию шевронов на шум струи (например, [6], где влияние устройств снижения шума рассматривается на языке порождения продольной завихренности). Однако, насколько известно авторам, влияние слабой синусоидальной гофрировки сопла на шум дозвуковой струи рассматривается впервые.

Измерение шума турбулентной струи проводилось в акустической заглушенной камере АК-2 ЦАГИ. Рабочий диапазон частот составлял 0.16–25.6 кГц. Использовались два полудюймовых микрофона Briel & Kjaer тип 4189С, установленных под углом 90° и 60° к оси струи на расстоянии 2 м (42 диаметра от оси струи). Кроме акустических измерений в каждом эксперименте измерялся массовый расход газа с помощью трубы Вентури. В качестве основы для автоматизированной системы определения расхода воздуха была выбрана плата NI USB 6009 – универсальный многоканальный аналогово-цифровой преобразователь сигнала для персонального компьютера. Для измерения перепада давления между входом в трубу и рабочей частью использовался датчик ИКД6Дф-0.1.

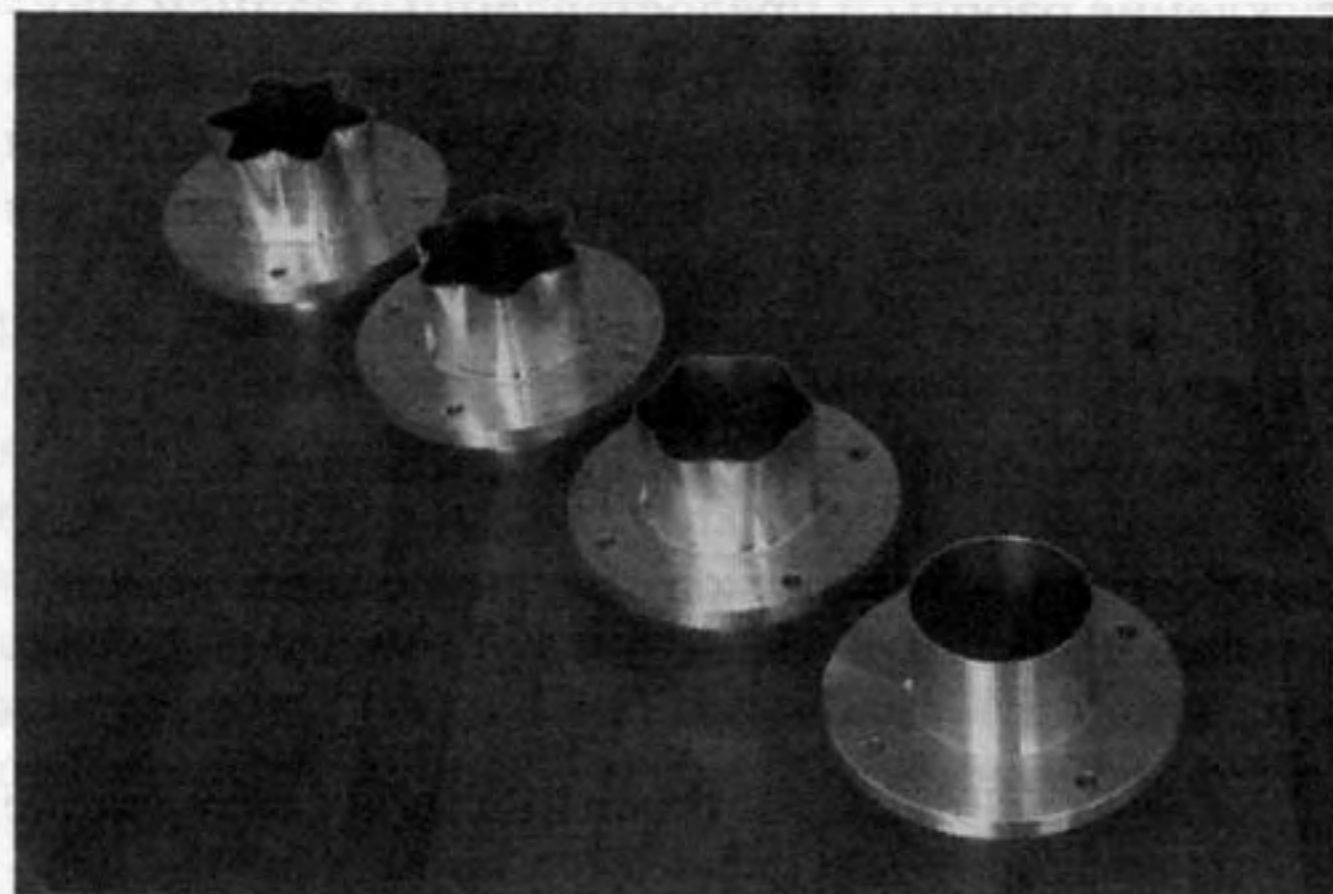


Рис. 1. Фотографии гофрированных сопел и эквивалентного по площади выходного сечения круглого сопла (таблица).

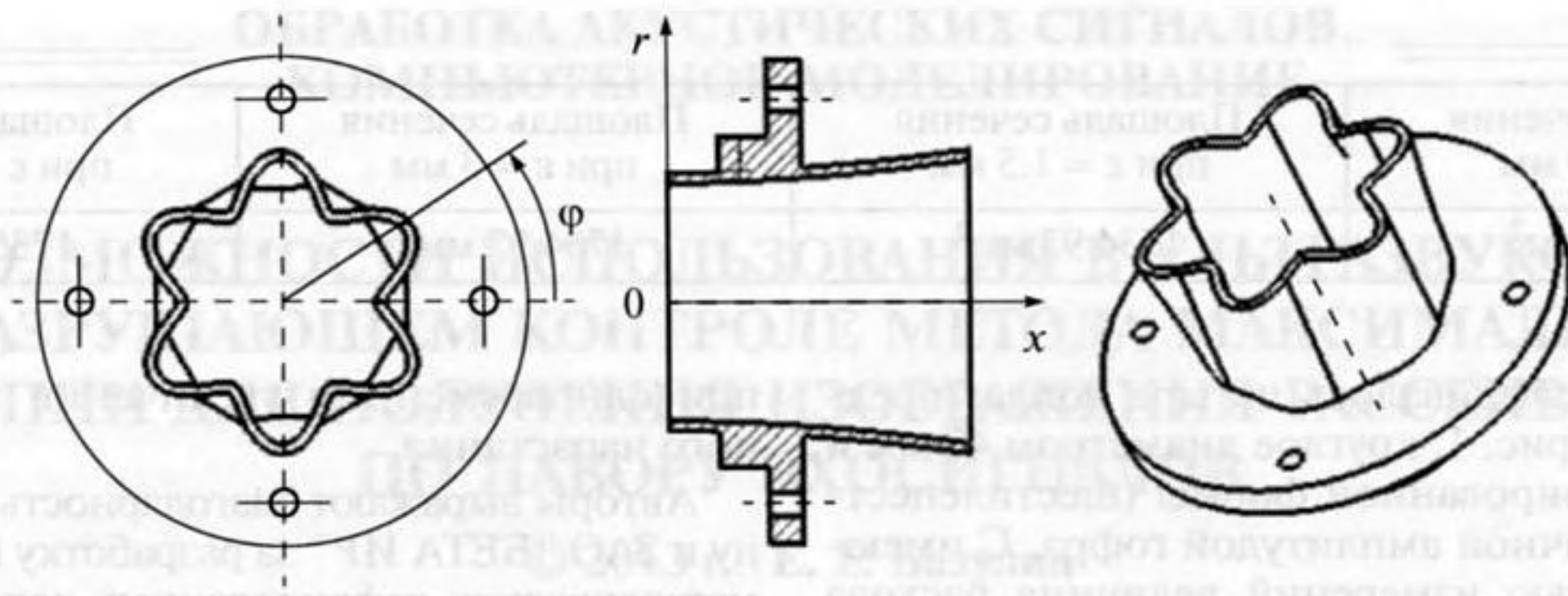


Рис. 2. Эскиз шестилепесткового гофрированного сопла.

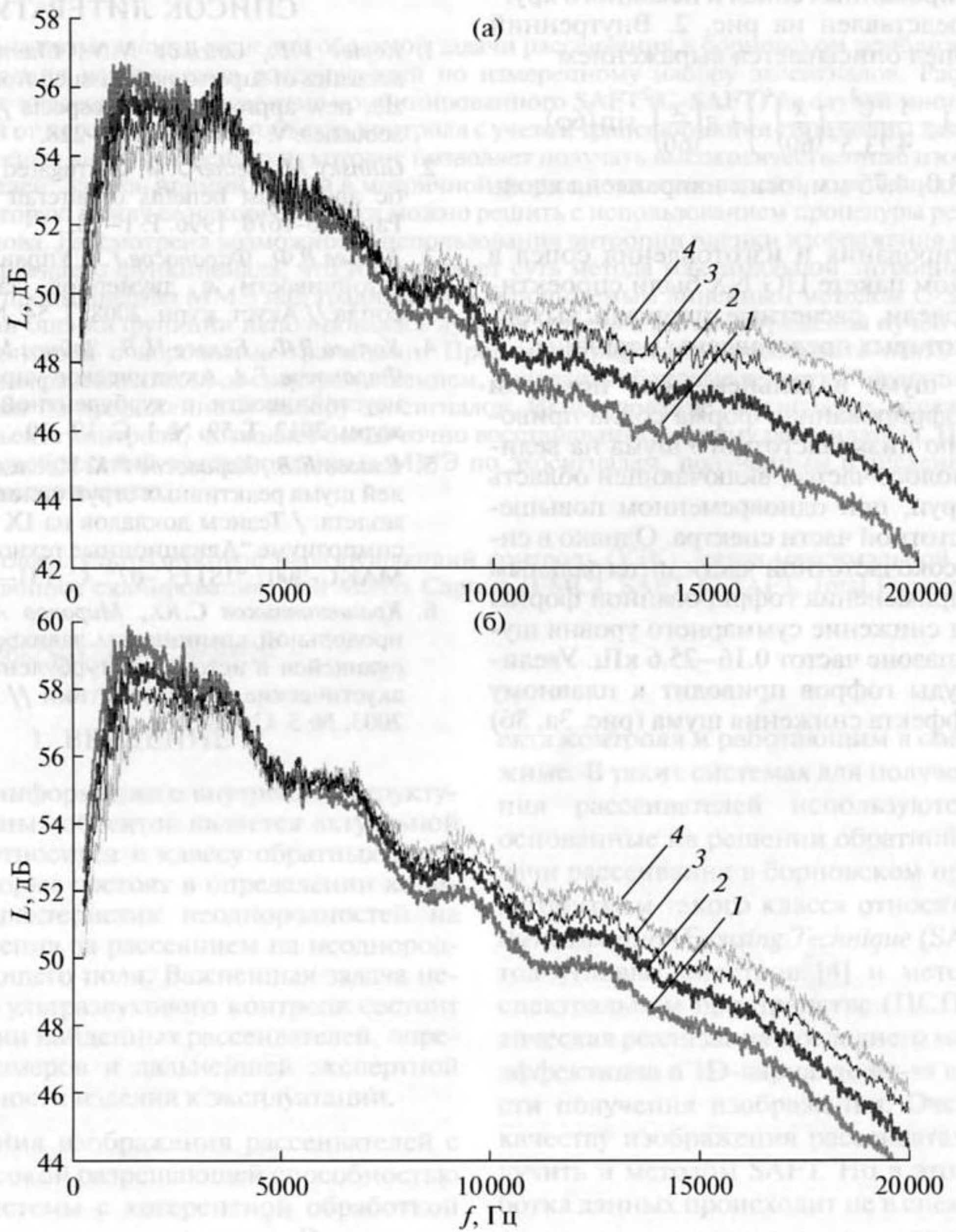


Рис. 3. Спектры шума под углом 90° (а) и 60° (б) к оси струи. 1 – $\epsilon = 0$ мм; 2 – 1.5 мм; 3 – 3.0 мм; 4 – 4.75 мм.

Таблица

Площадь сечения при $\varepsilon = 0$ мм	Площадь сечения при $\varepsilon = 1.5$ мм	Площадь сечения при $\varepsilon = 3$ мм	Площадь сечения при $\varepsilon = 4.75$ мм
1734.94 мм ²	1734.93 мм ²	1734.97 мм ²	1735.12 мм ²

В работе исследовались четыре сопла, представленные на рис. 1: круглое диаметром 47 мм и три сопла гофрированной формы (шестилепестковых), с различной амплитудой гофра. С имеющейся точностью измерений величина расхода оставалась постоянной для различных амплитуд гофра и соответствовала невозмущенному круговому соплу.

Эскиз гофрированных сопел и исходного круглого сопла представлен на рис. 2. Внутренний контур всех сопел описывается выражением

$$r(x) = 23.5 \left(1 - \frac{1}{4} \frac{\varepsilon^2}{23.5^2} \left(\frac{x}{60} \right)^4 \right) + \varepsilon \left(\frac{x}{60} \right)^2 \sin(6\varphi),$$

где $\varepsilon = 0, 1.5, 3.0, 4.75$ мм, ось x направлена вдоль оси сопла.

Для проектирования и изготовления сопел в конструкторском пакете UG NX были спроектированы 3D модели, расчетные площади выходных сечений которых представлены в таблице.

Измерения шума в дальнем поле показали (рис. 3), что гофрированная форма сопла приводит к снижению низкочастотного шума на величину ~ 2 дБ в полосе частот, включающей область максимума струи, при одновременном повышении высокочастотной части спектра. Однако в силу малости высокочастотной части интегральным эффектом от применения гофрированной формы сопла является снижение суммарного уровня шума во всем диапазоне частот 0.16–25.6 кГц. Увеличение амплитуды гофров приводит к плавному нарастанию эффекта снижения шума (рис. 3а, 3б)

при одновременном увеличении высокочастотного нарастания.

Авторы выражают благодарность Д.Ю. Дурицыну и ЗАО “БЕТА ИР” за разработку и изготовление металлических гофрированных сопел. Работа выполнена в рамках скоординированного EU–RF проекта № ACP9-GA-2010-266103 “ORINOCO”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kopyev V.F., Ostrikov N.N., Chernyshev S.A. Aeroacoustics of supersonic jet issued from corrugated nozzle: new approach and prospects // Int. J. of Aeroacoustics. V. 3. № 3. P. 199–228.
2. Gilinsky M., Seiner J.M. Corrugated nozzles for acoustic and thrust benefits of aircraft engines // AIAA Paper 96-1670. 1996. P. 1–18.
3. Копьев В.Ф., Фараносов Г.А. Управление волной неустойчивости в двумерной задаче о кромке сопла // Акуст. журн. 2008. Т. 54. № 3. С. 371–379.
4. Копьев В.Ф., Беляев И.В., Зайцев М.Ю., Копьев В.А., Фараносов Г.А. Акустическое управление волнами неустойчивости в турбулентной струе // Акуст. журн. 2013. Т. 59. № 1. С. 19–30.
5. Власов Е.В., Каравосов Р.К. Исследование глушителей шума реактивных струй силовых установок самолета. / Тезисы докладов на IX Международном симпозиуме “Авиационные технологии XXI века”, МАКС-2007 “ISTEC-07”. С. 131–132.
6. Крашенинников С.Ю., Миронов А.К. Воздействие продольной компоненты завихренности, формирующейся в источнике турбулентной струи на ее акустические характеристики // Изв. РАН МЖГ. 2003. № 5. С. 43–59.