

ИССЛЕДОВАНИЯ ПУТЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА В БЛИЖНЕМ ПОЛЕ ИСТЕЧЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ С ЩЕЛЕВЫМ ВЫРЕЗОМ РАЗНОЙ ДЛИНЫ

В.А. Кисловский, А.Ю. Мельников

*Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН
630090, Новосибирск, Россия*

Шум сверхзвуковой струи, вызванный в результате быстрого перемешивания высокоскоростного газа и окружающей относительно неподвижной среды, является одним из основных источников акустического шума, например при сбросе технических газов, на предприятиях. Сильное акустическое воздействие, возникающее в результате истечения сверхзвуковой струи, наносит серьезный ущерб наземным объектам и здоровью персонала. Это приводит к значительному снижению уровня безопасности эксплуатации технически объектов. Поэтому задача снижения акустического шума при истечении сверхзвуковой струи является актуальной.

В качестве оптимальных способов снижения интенсивности акустического излучения, генерируемого истечением сверхзвуковой струи рассматриваются множество вариантов. К ним относятся, экранирование струи газовым экраном [1], секторные сопла, многотрубчатые насадки, применение периодических электрических разрядов, впрыск жидкости в поток основной струи, использование генерации продольных вихрей при помощи дольчатых смесителей, шевронов и других активных методов [2].

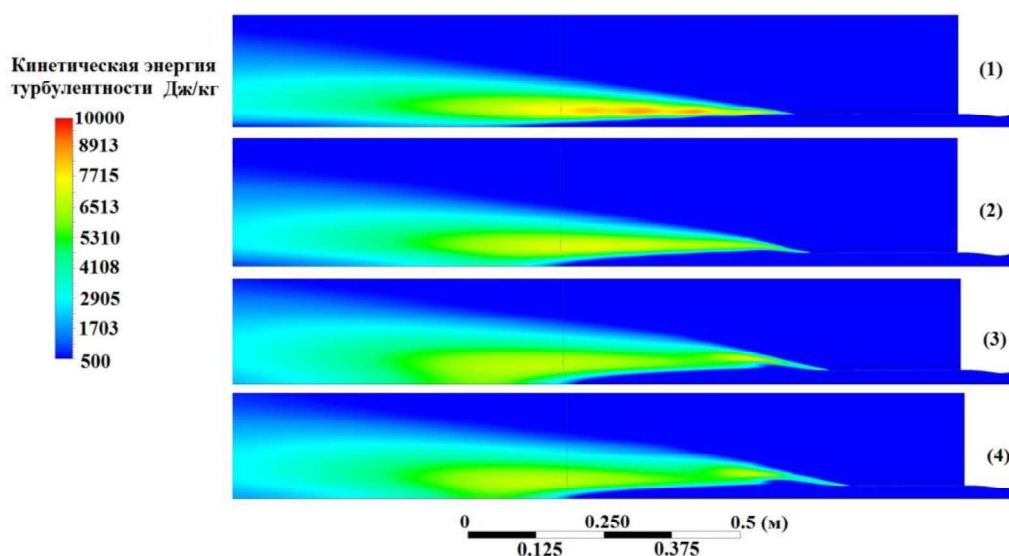
В работе [3] рассматривалось истечение струи из двухконтурного сопла. Было получено снижение турбулентного шума, используя различные шевронные конфигурации. Мехмед и др. [4] в своей работе в качестве генераторов продольных вихрей использовались также шевроны и восемь микроструй. Каждый случай рассматривался в отдельности, применительно к струе, истекавшей с числом Маха на срезе сопла $M = 0.9$. Шевроны показали большую эффективность по снижению акустического шума в низком диапазоне частот, однако, увеличивая амплитуды в высокочастотном диапазоне. В работе [5] экспериментально была доказана существенная эффективность впрыска воды для изменения спектра акустического излучения высокоскоростных струй. Было установлено, что увеличение расхода впрыска жидкости оказывает положительный эффект на акустические излучения. В работе [6] рассматривалось применение дольчатых смесителей. Их применение позволило уменьшить акустический шум струи на 10 дБ. В работах [7, 8] были исследованы экспериментально и путем численного моделирования основные особенности сверхзвуковой струи при наличии шевронов на срезе сопла. Было показано образования крупномасштабных грибовидных структур на начальном участке струи вследствие взаимодействия истекающего потока с элементами вихрегенерации. В [9] был разработан численный метод для моделирования шума струи с помощью программного пакета ANSYS Fluent. Путем численного моделирования был проведен анализ влияния различных геометрических характеристик сопел на интенсивность акустического излучения.

В представленной работе рассматривается влияние насадки со щелевыми вырезами на величину излучения акустического шума сверхзвуковой струи. Исследование проводилось путем численного моделирования. Теоретические и аналитические уравнения определяющие мощность струи были взяты, как справедливые для значения чисел Маха на срезе сопла 1.5 – 2 [10,11].

В данной работе был проведен оценочный анализ, поэтому не было необходимости

в применении ресурса затратных методов, таких как LES с применением SGS модели турбулентности. Выполнялось трехмерное моделирование истечения сверхзвуковой струи в затопленное пространство с учетом вязкости газа, как молекулярной, так и турбулентной. Для проведения численного моделирования использовался коммерческий пакет программного обеспечения ANSYS Fluent. Общий подход состоит в использовании усредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса (RANS) с подходящей моделью турбулентности для замыкания системы уравнений. В качестве модели турбулентности использовалась SST $k-\omega$ модель.

Рассматривалось влияние длины щелевого выреза на величину акустического шума. Ширина щели во всех случаях была одинаковая и составляла 1 см. Рассматривалось истечение струи из сопла с условиями соответствующими $M = 2$ при наличии насадки длиной 30 см в покоящуюся среду. Диаметр среза сопла 50 см.



На рисунке выше показаны контуры кинетической энергии турбулентности для нескольких случаев в сечении вдоль щелевого выреза: (1) – истечение струи из насадки без щелевого выреза; (2) – истечение струи из насадки с щелевым вырезом 3 см; (3) - истечение струи из насадки с щелевым вырезом 6 см; (4) - истечение струи из насадки с щелевым вырезом 9 см.

Из приведенных случаев видно, что увеличение длины щелевого выреза приводит к увеличению зоны смешения на границы истекающей струи и к снижению градиента интенсивности смешения в ближнем поле истечения. Эта картина течения в зоне смешения схожа в некотором приближении со случаем применения шевронов. Как и в случае применения шевронов, данное изменение предполагает более быстрое затухание смешения струи и как следствие снижения акустического излучения при ее истечении в дальнем поле.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках проекта 19-48-543003\19.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мунин А. Г., Самохин В. Ф., Шипов Р. А. и др.** *Авиационная акустика, ч. 1. Шум на местности дозвуковых пассажирских самолетов и вертолетов*, М: Машиностроение, 1986.
2. **Peake N., Crighton G.** Active control of sound // *Annu. Rev. Fluid Mech.* 2000. Vol. 32, P. 137—164.
3. **Sayed N., Mikkelsen K., Bridges J.** Acoustics and thrust of quiet separate-flow high-bypass-ratio nozzles // *AIAA J.* 2003. Vol. 41, No 3, P. 372—378.
4. **Mehmet B. Alkislal, Krothapalli A., Butler W. G.** The effect of stream-wise vortices on the aeroacoustics of a Mach 0.9 jet // *J. Fluid Mech.* 2007. Vol. 578, P. 139—169.
5. **Запрягаев В.И., Киселев Н.П., Губанов Д.А.** Экспериментальное исследование влияния вихрегенераторов и подвода жидкости на шум высокоскоростных струй // *Ученые записки ЦАГИ.* 2012. Т. XLIII, №4, С. 57 – 68.
6. **James Bridges, Mark P.** Cross-stream PIV measurements of jets with internal lobed mixers // *NASA/TM — 2004-213106.* 2004.
7. **Запрягаев В. И., Кавун И. Н., Киселев Н. П.** Структура течения на начальном участке сверхзвуковой струи, истекающей из сопла с шевронами // *ПМТФ.* 2010. Т. 51, № 2, с. 71—80.
8. **Бойко В. М., Достовалов А. В., Запрягаев В. И., Кавун И. Н., Киселев Н. П., Пивоваров А. А.** Исследование структуры сверхзвуковых неизобарических струй // *Ученые записки ЦАГИ.* 2010. Т. 41, № 2, с. 44—58.
9. **Sipatov A.M., Usanin M.V., Chuhlantseva N.O.** Applying fluent software for jet noise generation modeling. *AIAA 2010-3843.*
10. **Кузнецов В. М.** *Основы теории шума турбулентных струй.* М: Физматлит, 2008.
11. **Крашенинников С. Ю., Миронов А. К.** Экспериментальное исследование влияния условий истечения на акустомеханический КПД турбулентной струи // *Акустический журнал.* 2008. Т. 54. № 3, С. 451—458.