

## Соглашение о предоставлении субсидии № 14.628.21.0006

Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы»

Проект: «Развитие и реализация многомикрофонных методов акустических измерений применительно к исследованиям эффекта интеграции силовой установки с планером самолета»

Руководитель проекта: Копьев Виктор Феликсович

### Этап 2. Создание методов и их применение

#### Цели и задачи проекта:

Данное исследование проводится в рамках выполнения совместного научно-исследовательского проекта ASPIRE рамочной программы Европейского Союза «Горизонт 2020», в составе международного консорциума. Проект выполняется совместно со следующими иностранными партнерами:

- Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques (ONERA) (Французский национальный аэрокосмический исследовательский центр), Франция,
- Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) (Германский центр авиации и космонавтики), Германия,
- Stichting Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) (Нидерландская национальная аэрокосмическая лаборатория), Нидерланды.

Целью данного исследования является развитие и реализация многомикрофонных методов акустических измерений применительно к исследованиям эффекта интеграции силовой установки с планером самолета.

Для достижения этой цели необходимо решить ряд задач, составляющих базу для построения теоретико-численных моделей.

- Теоретическая задача о рефракции звука на турбулентном слое смешения спутного потока при проведении испытаний в экспериментальных установках с открытой рабочей частью с целью определения соответствующей коррекции данных, измеренных микрофонами.

- Теоретическая задача о рефракции звука на пограничном слое при проведении испытаний в экспериментальных установках с закрытой рабочей частью с целью определения соответствующей коррекции данных, измеренных микрофонами.

- Разработка модифицированного метода азимутальной декомпозиции, адаптированного для проведения исследований шума взаимодействия струи и крыла, учитывающего наличие спутного потока и позволяющего неравномерное расположение микрофонов.

- Экспериментальная валидация модифицированного метода азимутальной декомпозиции для неравномерно расположенных микрофонов с учетом коррекций на слой смешения или пограничный слой (в зависимости от типа экспериментальной установки).

- Экспериментальные исследования модальной структуры шума взаимодействия струи и закрылка, проводимые с помощью модифицированного метода азимутальной декомпозиции, позволят впервые определить структуру источника шума взаимодействия.

#### Ожидаемые результаты проекта:

1. Метод учета рефракции звука на турбулентном слое смешения, включающий учет вращения источника звука и эффект уширения тональных компонент (haystack).

2. Метод учета рефракции звука на пограничном слое, включающий учет вращения источника и кривизны поверхности, на которой располагается пограничный слой.

3. Метод азимутальной декомпозиции, адаптированный для измерения шума взаимодействия струи с крылом и использующий результаты 1-2.

4. Модифицированный метод азимутальной декомпозиции для измерений шума взаимодействия микрофонами, установленными в потоке.

5. Экспериментальный прототип измерительной системы и программный комплекс обработки результатов измерений, реализующие разработанный метод азимутальной декомпозиции (результаты 3-4)

6. Полученные с помощью созданной измерительной системы (результат 5) уникальные экспериментальные данные измерений азимутальной структуры шума взаимодействия струи и

крыла (некоммерческая геометрия) при наличии спутного потока, которые будут использоваться для построения теоретических моделей шума взаимодействия и могут служить основой разработки методов снижения этого источника шума.

#### **Перспективы практического использования:**

Разработанные методы могут быть использованы при проведении аэроакустических экспериментов в научно-исследовательских организациях и компаниях, располагающих соответствующей экспериментальной базой (заглушенные камеры, решетки микрофонов) для решения экологических проблем перспективной гражданской авиационной техники.

Ожидается, что по аналогии с разработкой успешного способа снижения шума шасси самолета, знание азимутальной структуры шума взаимодействия струи и крыла для конкретных геометрий существующих и перспективных отечественных самолетов позволит сформулировать эффективные способы снижения этого источника шума и обеспечить конкурентоспособность этих самолетов на мировом рынке. Как следствие, основными потребителями разрабатываемых методов и подходов являются институты и предприятия авиационной промышленности. Тем не менее, результаты данной работы могут быть применены и в смежных областях – в частности, применительно к автомобильному и железнодорожному транспорту для исследования возникающих там аэродинамических источников шума.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 20.05.2016 г. № 14.628.21.0006 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» на этапе № 2 в период с 01.01.2017 по 31.12.2017 выполнялись следующие работы:

- 1) Проведение дополнительных патентных исследований в соответствии с ГОСТ 15.011-96.
- 2) Разработка технической документации по экспериментальному прототипу системы измерения азимутальной структуры шума взаимодействия струи и крыла с помощью найденных решений.
- 3) Создание экспериментального прототипа.
- 4) Создание программы экспериментов по валидации разработанного метода азимутальной декомпозиции.
- 5) Экспериментальные исследования, валидирующие разработанный метод азимутальной декомпозиции путем сравнения полученных с его помощью результатов с результатами классического метода азимутальной декомпозиции (с равномерным расположением микрофонов) для модельной задачи.
- 6) Создание программы экспериментов по исследованию структуры шума взаимодействия струи и крыла.
- 7) Экспериментальные исследования структуры шума взаимодействия струи и крыла для имеющейся некоммерческой геометрии.
- 8) Обобщение результатов исследований, проверка их соответствия Требованиям к работам и их результатам, оценка результативности исследований и эффективности результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем. Проведение работ по подготовке предложений и рекомендаций по реализации результатов исследований.
- 9) Разработка метода внесения поправок на рефракцию звука на турбулентном слое смешения с учетом эффекта уширения тональных компонент (эффект *haystacking*).
- 10) Разработка метода учета влияния державок микрофонов на результаты измерений микрофонов, установленных в поток.
- 11) Подготовка предложений и рекомендаций по применению полученных результатов.

Работы в рамках задач (1)-(8) проводились Получателем субсидии за счет средств субсидии, а в рамках задач (9)-(11) – Иностранцами партнерами за счет внебюджетных средств.

В ходе работ, выполненных в течение этапа 2 проекта, были получены следующие результаты:

- Разработана техническая документация по экспериментальному прототипу системы измерений шума взаимодействия струи и крыла с помощью найденных решений, включающая эскизную конструкторскую документацию на аппаратный объект и эскизную программную документацию на программный комплекс обработки измеренных данных. Изготовлен

экспериментальный прототип системы измерения азимутальной структуры шума с помощью неравномерно расположенных микрофонов. Составлен акт изготовления экспериментального прототипа.

- Разработана программа экспериментов по валидации разработанного метода азимутальной декомпозиции. Проведены экспериментальные исследования, валидирующие разработанный метод азимутальной декомпозиции путем сравнения полученных с его помощью результатов с результатами классического метода азимутальной декомпозиции (с равномерным расположением микрофонов) для модельной задачи.

- Разработана программа экспериментов по исследованию структуры шума взаимодействия струи и крыла. Проведены экспериментальные исследования структуры шума взаимодействия струи и крыла для имеющейся некоммерческой геометрии.

- Проведено обобщение результатов исследований, проверка их соответствия Требованиям к работам и их результатам, оценка результативности исследований и эффективности результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем. Должны быть проведены работы по подготовке предложений и рекомендаций по реализации результатов исследований.

Таким образом, в ходе работ по второму этапу проекта была выполнена экспериментальная проверка (валидация) разработанного на первом этапе метода измерения азимутальных мод шума, который затем был применен к исследованию источника шума взаимодействия крыла с турбулентной струей.

Для этого был спроектирован и изготовлен экспериментальный прототип измерительной системы, реализующий разработанный метод измерения азимутальных мод. Экспериментальный прототип представляет собой микрофонную решетку, которую можно передвигать вдоль оси струи и которая включает в себя 8 неравномерно расположенных микрофонов, подключенных к системе сбора и обработке акустических данных.

С помощью данной измерительной системы в уникальной научной установке «Заглушенная камера с потоком АК-2 ЦАГИ» были выполнены экспериментальные исследования азимутального состава шума известного акустического источника – холодной изолированной струи, истекающей из одиночного круглого профилированного сопла. Полученные результаты сравнивались с данными по направленности и амплитуде азимутальных мод шума струи, полученными с помощью классического метода азимутальной декомпозиции, и было получено хорошее соответствие между этими результатами.

Далее разработанный метод был применен к измерению азимутальных мод шума взаимодействия струи и пластины, моделирующей крыло. Впервые в мировой практике были измерены амплитуды и направленности азимутальных мод шума взаимодействия струи и пластины как в отсутствие спутного потока, так и при его наличии.

Эксперименты показали, что для рассматриваемой геометрии установленной конфигурации и умеренной полосы частот ( $St \sim 0.1 \dots 0.3$ ), соответствующей спектральному максимуму, эффект установки существенно не влияет на источники шума самой струи, поскольку почти все значительные азимутальные моды остаются практически неизменными:  $a_0$ ,  $b_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$  (было показано, что изменение моды  $a_0$  обусловлено неопределенностями в расположении измерительной системы). Влияние установки в основном локализовано в нечетных косинус-модах  $a_1$  и  $a_3$ . Исходя из этого, было сделано предположение, что для низких и умеренных чисел Струхала шум установленной конфигурации можно разложить на две некоррелированных компоненты: изолированный шум струи и дополнительный шум установки, связанный с рассеянием гидродинамических возмущений на задней кромке крыла.

На основании полученных результатов были сформулированы предложения и рекомендации по использованию разработанного научно-технического задела.

Таким образом, план работ, проводимых Получателем субсидии, выполнен полностью.