

**Сведения о ходе выполнения проекта  
по Соглашению о предоставлении субсидии № 075-11-2021-080 от  
«24» сентября 2021 г.,  
субсидируемого Министерством образования и науки Российской Федерации**

**Название проекта:** «Моделирование на суперкомпьютере обтекания гражданского самолёта в условиях завихренной атмосферы регионального аэропорта с применением результатов прямого численного моделирования LES/DNS»

**Цель выполнения исследования:** Разработка принципиально нового подхода к расчету отрывных турбулентных течений, который заключается в том, что в пристенных областях течения расчет проводится при помощи модели турбулентности класса DRSM (SSG-LRR-w), а в ядре турбулентного течения моделирование осуществляется вихреразрешающим подходом LES. Настройка модели DRSM осуществляется на данных высокого разрешения DNS, получаемых от иностранных партнеров. Практическая цель заключается в решении важной проблемы моделирования обтекания самолета при заходе на посадку в условиях сильной турбулентности, образуемой вихревой пеленой взлетающих и находящихся в зоне посадочного круга самолетов.

**Задачи проекта:**

1) Обзор литературы по методам моделирования крупных вихрей (LES) и отсоединенных вихрей (DES), ориентированных на практическое применение. Обзор тестовых случаев, используемых для настройки этих методов. Анализ применимости методов LES и DES для решения задачи движения самолета в вихревом следе в региональном аэропорту

2) Организация тесного взаимодействия с иностранными партнерами, которые предоставят данные моделирования методом DNS нескольких типов отрывных течений, полученные на суперкомпьютерах сверхвысокой мощности в Болонье (Италия) (URL: <https://www.cineca.it/en/>) и Барселоне (Испания) (URL: <https://www.bsc.es/>).

3) Настройка принципиально новой модели турбулентности класса DRSM и метода расчёта отрывных течений класса IDDES. Обеспечение использования разработанной в данном проекте модели турбулентности класса DRSM в пристенной области аэродинамического течения и вихреразрешающего метода LES в зоне развитого турбулентного течения.

4) Разработка «закона стенки», увеличивающего вычислительную эффективность расчётного метода с моделью класса DRSM.

5) Апробация генератора синтетической турбулентности (STG) для возможности перехода от моделирования турбулентности к моделированию крупных вихрей в рамках одной математической модели

6) Проведение предварительных валидационных расчётов программного компонента на базе разработанного метода, в т.ч. с использованием генератора синтетической турбулентности STG.

7) Расчет обтекания самолета при заходе на посадку в условиях сильной турбулентности, образуемой вихревой пеленой взлетающих и находящихся в зоне посадочного круга самолетов. Численное моделирование пролёта самолёта в посадочной конфигурации через вихревой след другого самолёта с определением безопасной вихревой дистанции.

8) Подготовка изобретения, дающего возможность стабилизировать обтекание профиля крыла в условиях сильно завихренного потока и подача заявки на регистрацию патента в «Федеральной службе по интеллектуальной собственности».

9) Разработка образовательной программы и практикума по моделям и методам моделирования отрывных турбулентных течений.

#### **Полезные эффекты при использовании научно-технических результатов:**

– достижение результатов высокого уровня при выполнении международного проекта;

– получение доступа к зарубежной научной (научно-технической) инфраструктуре;

– получение значимых научных результатов, позволяющих переходить к созданию новых видов научно-технической продукции.

#### **Партнеры проекта**

1. Numerical Mechanics Applications International SA (NUMECA, Бельгия).
2. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR, Германия).
3. Office National d'Etudes et de Recherches Aerospatiales (ONERA, Франция)

**Сфера деятельности** – аэрокосмические центры, разработчики методов и программ.

**Финансовая поддержка партнеров** – средства Еврокомиссии.

#### **Результаты исследовательской работы, полученные в 2021 г.**

1. Выполнены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011 96.
2. Выполнен обзор литературы по методам моделирования крупных вихрей (LES) и отсоединенных вихрей (DES), ориентированным на практическое применение, обзор тестовых случаев, используемых для настройки этих методов, анализ применимости методов LES и DES для решения задачи прохождения самолета через вихревой след в региональном аэропорту с использованием 59 научно-информационных источников за период 2016-2021 г.
3. Выполнена разработка «закона стенки», увеличивающего вычислительную эффективность расчётного метода с моделью DRSM SSG-LRR- $\omega$  с модификацией для расчёта отрывных течений.
4. Проведена предварительная настройка модели турбулентности класса DRSM на основе данных численного моделирования DNS/LES.
5. Выполнена разработка метода расчёта отрывных течений класса IDDES на основе моделей турбулентности SST и DRSM.
6. Выполнена апробация генератора синтетической турбулентности (STG) для возможности перехода от моделирования турбулентности к моделированию крупных вихрей в рамках одной математической модели.

7. Выполнено исследование метода расчёта отрывных течений класса IDDES на основе моделей турбулентности SST и DRSM, в том числе с использованием генератора синтетической турбулентности (STG) на базовых тестах.
8. Выполнено создание расчётной сетки для проведения моделирования отрывного течения на модели самолёта в посадочной конфигурации крыла. Топология сетки должна быть структурированной.
9. Выполнена отладка технологии расчёта, включая настройку расчётной сетки и получение полей газодинамических величин вокруг модели самолёта.

**Иностранцы партнеры разработали:**

- второй набор данных с результатами моделирования DNS и LES высокой точности;
- описание нейронной сети высокой точности для моделирования турбулентности;
- описание подходов к машинному обучению на основе данных LES/DNS для создания дополненных моделей турбулентности.

Проект выполняется совместно с ведущими научными центрами Европейского союза.

**Научный руководитель**

Начальник НИО-2

Волков А.В.