

## ЭКРАННО-ВЫХЛОПНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЁТА

Белоусов С. Л.<sup>1</sup>, Евдокимов И. Е.<sup>1,2</sup>, Журавлев А. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МАИ (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

<sup>2</sup>НИЦ ОАО «Вертолёт России», п. Томилино, Московская обл., Россия

Разработка эффективных методов снижения теплового излучения сопел самолётов и выхлопных устройств вертолётов является актуальной проблемой повышения энергетической эффективности двигательных установок и оптико-электронных устройств на борту ЛА.

**Целью работы** является создание комплексной методики разработки экранно-выхлопных устройств (ЭВУ), на примере ЭВУ для двигателя вертолёт. Выполнение данной цели обеспечит ускорение разработки новых устройств и улучшение их характеристик, позволит модернизировать уже выпускаемую технику.

Научная новизна проекта обеспечивается следующими составляющими:

1) применение новейших методов расчёта течения газа в трёхмерной постановке, использование предварительно отработанных математических моделей для тестирования способов снижения температур видимых поверхностей;

2) применением специализированных расчётных программ для определения лучистых потоков, формируемых выхлопным устройством как излучателем;

3) контролем изложенной методики на каждом шаге проектирования: от теплового расчёта до последующего применения разработанных программ для расчёта потоков лучистой энергии.

В контексте проектирования ЭВУ, для достижения общей цели необходимо решить следующие задачи:

1. Отбор идей и концепций агрегата, использующих те или иные газодинамические эффекты для успешного функционирования;

2. Разработка эскизов ЭВУ и выбор основных материалов деталей;

3. Газодинамические и тепловые расчёты;

4. Расчёты распределения теплового излучения, сравнение конструктивных вариантов узла;

В ходе работы все вышеперечисленные пункты были выполнены.

Для идентификации наиболее перспективных конструктивных идей использовались модельные задачи, заключающиеся в применении тех или иных принципов к модели авиационного двигателя ТС-21. Кроме того, наличие стенда ТС-21 с простым коническим соплом, позволило дополнительно отработать численные модели теплообмена и доказать возможность применения расчётного комплексавычислительной газовой динамики к решению инженерной задачи расчёта теплообмена в турбулентном потоке горячего газа, натекающем на стенку конструкции. Соответствующее экспериментальное оборудование позволило также проверить расчётные алгоритмы и специально разработанную программу расчёта лучистых потоков на модели авиационного двигателя. Все экспериментальные результаты показали хорошее соответствие с расчётными значениями как температур, так и лучистых потоков, что составило мощную базу разработки перспективных новых устройств и показало надёжность и достоверность используемых алгоритмов.

Разработка эскизов и трёхмерных моделей ЭВУ велась по нескольким направлениям включающим вариацию геометрии излучающих поверхностей (для винтовых линий это был шаг и угол поворота), а также их количество (например, если речь идёт о количестве стоек). Подобие конструктивных вариантов обеспечивало широкий набор исходных данных для определения конструктивных параметров, влияющих на конечный критерий эффективности – суммарные потоки излучения. Возможности используемой программы расчёта излучения позволяли производить расчёт конструкции практически сразу после разработки геометрии.

Газодинамические и тепловые расчёты производились с привлечением пакета ANSYS CFX, с использованием предварительно отработанных методик. Это позволило сильно ускорить процесс решения задачи. Для расчётов использовалась модель турбулентности SST, показавшая хорошее качество расчёта и соответствие расчётных температур экспериментальным в диапазоне  $\pm 15\%$  для модельного двигателя. Причём знак погрешности относится сугубо к теплофизической модели – с учётом радиационного излучения моделью P1 или без учёта, качественно расчётные результаты полностью повторяют экспериментальную неравномерность температуры.

Расчёты распределения излучения производились в специально разработанной авторами программе. Помимо отработки программы на модельном двигателе ТС-21, было проведено широкое тестирование на элементарных излучателях, для которых известны аналитические зависимости силы излучения в зависимости от угла визирования, а также на простом тарельчатом излучателе, для которого известны результаты светового эксперимента (для последнего были выполнены тесты на производительность программы). Несмотря на большой объём исходных данных (для ЭВУ количество рассчитываемых элементарных поверхностей составляло десятки и сотни тысяч), программа позволяла успешно решить задачу в разумное время за счёт привлечения технологий распределённых вычислений.

В рамках проведённых работ решение каждой из инженерных задач было осуществлено в крайне сжатые сроки, что показывает возможность применённой методики в совокупности со специальным программным обеспечением. Алгоритмизация процесса проектирования и выделение независимых этапов, обеспечение связи каждого этапа – являются критически важными особенностями данной работы. Сложность и актуальность отдельных задач, способ и уровень их решения обеспечивают научную новизну частей работы, а соединение этих задач в одной комплексной работе – научную новизну проекта в целом.