

Проект,

выполняемый по соглашению № 075-11-2021-075 от 24.09.2021 с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации на предоставление гранта в области науки в форме субсидии из федерального бюджета на обеспечение проведения научных исследований российскими научными организациями и (или) образовательными организациями высшего образования совместно с организациями из стран-членов ЕС в рамках многостороннего сотрудничества в программе «Горизонт-2020», включая инициативы ЭРА-НЕТ, в рамках обеспечения реализации программы двух- и многостороннего научно-технологического взаимодействия

Название проекта: «Экспериментальные и теоретические исследования обледенения внутренних каналов и вращающихся поверхностей летательных аппаратов при полете в условиях переохлажденных капель, ледяных кристаллов и смешанных фаз».

Руководитель проекта: Миллер Алексей Борисович

Приоритетное направление научно-технологического развития Российской Федерации: 20е - Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики.

Цель проекта: Создание экспериментальных и расчетных методик моделирования обледенения внутренних каналов и вращающихся поверхностей летательных аппаратов при полете в условиях переохлажденных капель, ледяных кристаллов и смешанных фаз для решения задач сертификации в соответствии с актуальными международными нормами.

Назначение и область применения результатов проекта

1) Результаты работы имеют важное практическое значение для обеспечения промышленной безопасности РФ в части производства и сертификации авиационной техники.

2) Созданные в результате работы по проекту методики экспериментальных исследований и программы численного моделирования обледенения внутренних каналов и вращающихся частей ЛА будут использованы для экспериментального и расчетного определения соответствия противообледенительной защиты летательных аппаратов последней редакции международных норм летной годности в условиях кристаллического и смешанного обледенения. Таким образом, будет

обеспечено решение задач проведения испытаний и сертификации ЛА отечественного производства в условиях кристаллического и смешанного обледенения на территории РФ, что не обеспечивается в настоящий момент. Результаты работы, следовательно, имеют важное практическое значение для обеспечения промышленной безопасности РФ в части производства и сертификации авиационной техники.

3) Потребителями результатов проекта с точки зрения проведения испытаний и сертификации продукции являются отечественные предприятия – производители авиационной техники и оборудования, потенциально уязвимых с точки зрения обледенения в кристаллических и смешанных облаках. Обледенению в этих условиях наиболее подвержены бортовые авиационные датчики с внутренними каналами (приемники воздушных давлений, датчики температуры и др.), а также современные турбореактивные двигатели с высокой степенью двухконтурности. Предприятия – потребители результатов, производящие авиационные датчики: АО «Концерн Радиоэлектронные технологии» (КРЭТ), включая АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» (АО «УКБП») и АО «Аэроприбор-Восход». Предприятия – потребители результатов, производящие авиационные двигатели: АО «ОДК-Авиадвигатель».

С точки зрения внедрения разработанной методики для испытаний двигателей в условиях кристаллического и смешанного обледенения потребителем результатов проекта является ФАУ «ЦИАМ имени П.И. Баранова».

Результаты проекта будут доведены до потребителя путем обеспечения испытаний их продукции по разработанным методикам на экспериментальной базе ЦАГИ, а также путем выполнения специалистами ЦАГИ расчетных работ по определению соответствия противообледенительной защиты отечественной авиационной техники международным авиационным нормам в части обледенения.

В рамках международного сотрудничества особое внимание уделено гармонизации методик экспериментального и численного подтверждения эффективности противообледенительных систем летательных аппаратов в нормированных условиях обледенения.

Эффекты от внедрения результатов проекта

Результаты настоящего проекта способствуют формированию необходимого научно-методического задела для создания сертифицированных методик расчетных и экспериментальных исследований обледенения изделий авиационной техники, гармонизированных с вновь введенными нормами летной годности. Создание и внедрение этих методик снизит риски для отечественной авиационной промышленности, связанные с необходимостью сертификации вновь создаваемых летательных аппаратов в соответствии с актуальными международными авиационными правилами, и обеспечит замещение импорта в части проведения испытаний и

сертификации изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях кристаллического и смешанного обледенения.

Партнеры проекта

Партнерами проекта являются организации – члены консорциума проекта MUSIC-haic (трехмерные многодисциплинарные средства моделирования обледенения в полете на больших высотах, вызванного кристаллами льда). Этот проект выполняется с 2018 года в рамках программы HORIZON 2020 созыва 2016-2017 годов «Мобильность для развития» (идентификационный номер созыва H2020-MG-2016-2017) по теме MG-1.3-2017: Поддержание промышленного лидерства в авиации.

Координатор: французский центр аэрокосмических исследований OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES – ONERA (FR).

Члены консорциума:

Итальянский центр аэрокосмических исследований CENTRO ITALIANO RICERCHE AEROSPAZIALI – CIRA (IT);

Брауншвейгский технический университет TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG – TUBS (DE);

Компания AIRBUS DEFENCE AND SPACE GMBH – ACRT (DE);

Холдинг GENERAL ELECTRIC DEUTSCHLAND HOLDING GmbH – GE (DE);

Компания ROLLS-ROYCE PLC – RR (UK);

Компания DASSAULT AVIATION – DASSAV (FR);

Компания ANDHEO Sarl – ANDHEO (FR).

Выполнение и результаты первого этапа (24.09.2021 – 31.12.2021)

Результаты проекта, полученные на первом этапе

Результаты, полученные ЦАГИ:

1. Обзор научных работ, посвященных экспериментальным и теоретическим исследованиям обледенения внутренних каналов и вращающихся поверхностей.
2. Результаты анализа имеющихся теоретических моделей аккреции и теплообмена переохлажденных капель и кристаллов, срыва льда с вращающихся поверхностей, критерии подобия, основные физические оценки пространственных и временных масштабов характерных процессов.
3. а) Разработана экспериментальная установка для измерений силы адгезии на вращающихся поверхностях различной смачиваемости в условиях натекания малых и крупных переохлажденных капель.
б) Разработана экспериментальная методика для измерений силы адгезии на вращающихся поверхностях различной смачиваемости в условиях натекания малых и крупных переохлажденных капель.
4. а) Разработана экспериментальная модель для моделирования теплообмена и обледенения лопаток ротора и статора турбореактивного двигателя в условиях переохлажденных капель, ледяных кристаллов и смешанных фаз.

- б) Разработана экспериментальная методика для моделирования теплообмена и обледенения лопаток ротора и статора турбореактивного двигателя в условиях переохлажденных капель, ледяных кристаллов и смешанных фаз.
5. Разработана экспериментальная методика исследований процесса обледенения внутреннего канала приемника воздушных давлений в условиях смешанного обледенения.
6. Разработана экспериментальная методика определения температуры и коэффициента плавления кристаллов в рабочей части экспериментальной установки.
7. Разработана экспериментальная методика определения температуры капель в рабочей части экспериментальной установки.
8. Разработана экспериментальная методика определения плотности льда, образующегося на поверхности в смешанных условиях обледенения.
9. Проведена адаптация и наладка экспериментальной аппаратуры для определения размеров, температуры, массовой концентрации и фазового состава частиц в рабочей части экспериментальной установки.
10. Разработаны физико-математическая и численная модели процессов обледенения в канале ПВД в смешанных условиях.
11. Проведена оценка мирового технического уровня и динамики патентования технических решений в области исследований обледенения вращающихся поверхностей и внутренних каналов летательных аппаратов.

Результаты, полученные иностранными партнерами:

12. Трехмерные численные программы, адаптированные для моделирования обледенения внутренних частей двигателя в кристаллических условиях.
13. Результаты численного моделирования экспериментов по аккреции льда на двухступенчатой ротационной установке в условиях, соответствующих полетным, исследования положения, морфологии и размеров льда.
14. Результаты экспериментальных исследований различных физических механизмов срыва льда в смешанных условиях обледенения.

Основные характеристики полученных результатов

Результаты, полученные ЦАГИ:

1. Выполнен обзор не менее 30 научных работ за период с 1980 года по 2021 год, посвященных экспериментальным и теоретическим исследованиям обледенения внутренних каналов и вращающихся поверхностей.
2. Проведен анализ имеющихся теоретических моделей аккреции и теплообмена переохлажденных капель и кристаллов, срыва льда с вращающихся поверхностей, разработанных ведущими мировыми авиационными научными центрами. По результатам анализа выведены критерии подобия и проведены основные физические оценки пространственных и временных масштабов характерных процессов.
3. А) Создана экспериментальная установка для измерений силы адгезии на вращающихся поверхностях различной смачиваемости в условиях натекания малых и крупных переохлажденных капель. Установка состоит из электродвигателя, вращающегося конуса, датчика числа оборотов и

поддерживающих элементов. Двигатель позволяет раскрутить модель конуса до частоты вращения 6 000 об/мин. Проведены пробные испытания модели в условиях обледенения – на максимальных оборотах и без вращения.

Б) Разработаны две экспериментальные методики для измерений силы адгезии на вращающихся поверхностях различной смачиваемости в условиях натекания малых и крупных переохлажденных капель. Одна методика основана на измерении сдвигового усилия, другая на измерении крутящего момента, достаточных для сдвига фрагмента льда, вырезанного на обледеневшей поверхности при помощи теплового ножа. Определен состав оборудования и материалов, необходимых для практической реализации методик.

4. А) Разработана экспериментальная модель для моделирования теплообмена и обледенения лопаток ротора и статора турбореактивного двигателя в условиях переохлажденных капель, ледяных кристаллов и смешанных фаз. Предложена компоновочная схема экспериментальной модели на основе экспериментального компрессора К-97, оснащенного дополнительными удлинительной (для моделирования плавления кристаллов в тракте двигателя), измерительной (с оборудованием, необходимым для определения характеристик аэродисперсного потока) и экспериментальной секции, в которой располагается дополнительный венец статических лопаток для моделирования процессов аккреции и срывов льда. Максимальная частота вращения ротора – 16 000 об/мин. Модель размещается в рабочей части аэрохолодильной трубы сезонного действия АХТ СД.

Б) Разработана экспериментальная методика для моделирования теплообмена и обледенения лопаток ротора и статора турбореактивного двигателя в условиях переохлажденных капель, ледяных кристаллов и смешанных фаз, включающая методику испытаний по определению характеристик аэродисперсного потока за компрессором и методику испытаний по аккреции льда на лопатках компрессора и в экспериментальной секции. Первый тип испытаний производится с целью определения характеристик кристаллов (размеры, концентрация, скорость и температура) до входа в компрессор и на выходе из него при различных параметрах набегающего потока и режимах работы компрессора. Второй тип испытаний проводится с целью определения зон отложения льда, его положения внутри компрессора или в экспериментальной секции в виде отдельного венца статических лопаток, присоединяемой к удлинительной секции, при различных параметрах набегающего потока и режимах работы компрессора. Определен состав экспериментального оборудования для испытаний, обеспечивающий точность измерений, указанную в требованиях к проводимым работам.

5. Разработана экспериментальная методика исследований процесса обледенения внутреннего канала приемника воздушных давлений в условиях смешанного обледенения, включающая методику испытаний по определению времени закупорки канала бортового ПВД и методику испытаний по определению зон аккреции кристаллов внутри канала прозрачной модели ПВД. Для экспериментов предложено изготовить модель

ПВД из прозрачного термостойкого материала с аналогичной бортовому ПВД формами и размерами воспринимающей части, внутреннего канала, камеры восприятия давления. Предложены варианты обеспечения обогрева внутреннего канала приемника, соответствующие по величине плотности теплового потока и ее распределению вдоль оси канала обогреву внутреннего канала бортового приемника.

6. Разработана экспериментальная методика определения температуры и коэффициента плавления кристаллов в рабочей части экспериментальной установки. Рассмотрено два варианта реализации контактного датчика измерения температуры кристаллов: на основе прямого измерения температуры кристаллов, улавливаемых в заглушенную камеру датчика типа «изокинетическая проба» и на основе измерения мощности, необходимой для плавления кристаллов в заглушенной камере. Показано, что с точки зрения обеспечения необходимой чувствительности предпочтительным является первый вариант.

7. Для определения температуры переохлажденных капель в АХТ выбран метод индуцированной лазером двухкомпонентной флуоресценции люминофоров, добавленных в воду. Для осуществления метода были подобраны люминофоры и их концентрации, длина волны возбуждения. Для сбора сигнала предполагается использовать две ПЗС-камеры. Подобраны оптические фильтры к камерам для разделения каналов. Было выяснено, что чувствительность метода по температуре для крупных капель зависит от размера капель. Получена погрешность измерения в зависимости от размера капель. При выбранных концентрациях люминофоров без поправки на размер капель можно измерять температуру капель диаметром до 100 мкм. Пробные пуски в малой АХТ всесезонного действия показали, что с лазером мощностью 500мВт получение достаточного сигнала возможно только вдоль луча (диаметром 1.2 мм).

8. Выполнена разработка экспериментальной методики определения плотности льда, образующегося на поверхности в смешанных условиях обледенения. Рассмотрены варианты рентгеноскопического анализа льда, ультразвуковой метод, метод определения плотности в мерной емкости и калориметрический метод. С точки зрения практической реализации в экспериментах выбраны два последних метода, ультразвуковой метод рассматривается как резервный, так как требует создания и калибровки соответствующего оборудования.

9. В рамках адаптации и наладки экспериментальной аппаратуры для определения параметров частиц в рабочей части экспериментальной установки была собрана теневая измерительная система и испытана в АХТ СД. Получена гистограмма распределения капель по размерам в измерительном объёме. Полученный размер капель (около 20 мкм) хорошо согласуются с данными фазового доплеровского анализатора частиц. Для полной автоматизации обработки результатов измерения размеров капель требуется модернизация осветительной системы и доработка программного обеспечения.

10. На основе эйлерова – эйлерова и эйлерова – лагранжева подходов к описанию движения и тепломассопереноса в двухфазной среде в канале построены соответствующие физико-математические и численные модели для расчета процессов аккреции льда в канале ПВД. Для корпуса приемника решается задача сопряженного теплообмена. Движение частиц в канале учитывается введением специальной «подъемной силы» и взаимодействием (обмен массой и энергией) кристаллов со стенкой. Уравнения Навье-Стокса и теплопроводности будут решаться методом конечных элементов (базисные функции для скоростей, давления и температуры будут функции Лагранжа первого порядка, что даст наибольшую устойчивость для решения). Дифференциальные уравнения для расчета траекторий частиц будут решаться методом Рунге-Кутты.

11. По результатам проведенных патентных исследований по теме «Исследование обледенения вращающихся поверхностей и внутренних каналов летательных аппаратов» можно сделать следующие основные выводы. Ведущими странами на сегодняшний день в данной тематике являются Россия и США – как страны, имеющие наибольшее количество запатентованных технических решений. Основной организацией, развивающими данную тематику и направление в России является ЦИАМ, за рубежом такой организацией является Rolls Royce PLC (США). Наиболее часто используемые рубрики МПК при подаче и патентовании технических решений относятся к тематике средств защиты от обледенения двигателя; аэродинамическим испытаниям и устройствам, связанным с аэродинамическими трубами, а также к тематике удаления или предотвращения образования льда на внешних поверхностях самолета. Из 26 выявленных патентных документов выбраны 4 наиболее перспективных технических решения.

Результаты, полученные иностранными партнерами:

12. Модели НАИС для сопротивления ледяной частицы, таяния и соударения внедрены в 3D программы расчета траекторий ONERA, CIRA, DASSAV, GE и RR. Расширенная модель MESSINGER проекта НАИС для обледенения в режиме смешанных фаз и кристаллического (включая эффекты эрозии) внедрены в 3D решатель CIRA для расчета обледенения, а также в два 3D решателя ONERA (FILM из комплекта CEDRE и MESSINGER3D, который планируется сопрячь с комплектами для расчета обледенения разработки DASSAV и Airbus). В некоторые средства внедрены новые сопряжения: 3D решатель ONERA для теплопередачи связан с 3D решателем ONERA для обледенения (FILM) с использованием итерационной процедуры типа алгоритма Шварца; взаимная процедура связи внедрена между 3D траекторным решателем SS02 разработки RR и программой расчета поля течения в Hydra. Проведены успешные численные тесты, подтверждающие, что все эти разработки правильно выполняются и получаемые результаты согласуются с ожидаемыми.

13. Зарубежным партнером ANDHEO выполнено численное моделирование нарастания кристаллов льда на экспериментальной испытательной установке

компрессора MACR Национального исследовательского совета Канады. Поток газа, траектории кристаллов льда и столкновение последовательно определяются для расчета нарастания льда с использованием поверхностного решателя. Моделирование включает недавно разработанные модели эрозии и пористости и впервые применяется для практических расчетов случая, соответствующего реальному авиационному двигателю. Рассматриваются три экспериментальные рабочие точки с повышением температуры по влажному термометру: от отрицательных до положительных значений и соответственно отсутствие аккреции, умеренная и значительная аккреция. Сравнение результатов моделирования с экспериментами для этих трех случаев показывает хорошее согласие с точки зрения возникновения, местоположения и поверхностной протяженности аккреционных явлений.

14. Иностранном партнером TUBS на их аэрохолодильной трубе с использованием модели подогреваемого аэродинамического профиля NASA0012 выполнены параметрические исследования различных механизмов срывов льда (первого, второго и третьего по принятой консорциумом проекта MUSIC-haic классификации). Варьировались следующие важные параметры: скорость потока, температура смоченного термометра, содержание ледяной воды, содержание жидкой воды, тепловой поток, угол атаки и изучалось их влияние на частоту сброса. Результаты представляют значительный интерес с точки зрения понимания и моделирования процессов срыва льда.

Оценка элементов новизны научных решений, применявших методик и решений

Проблема кристаллического обледенения является многодисциплинарной, ее исследования требуют применения численных методов, методов механики сплошной среды, аэродинамики, тепломассообмена в многофазных системах, механики разрушения, реологии, математики. Для ее исследования на современном уровне требуются обширные данные физических экспериментов, компенсирующие неполноту применяемых в настоящее время физико-математических моделей и недостаточные возможности используемых на практике пакетов прикладных программ. Например, по состоянию на данный момент полностью отсутствуют надежные средства численного определения зон и скорости кристаллического обледенения, массы срываемых кусков льда для элементов тракта двигателя, особенно с учетом влияния свойств поверхности и центробежных сил. Применяемые методы полагаются на весьма ограниченный объем данных, полученных в процессе эксплуатации ЛА, и не принимают в учет физические критерии срыва. Аналогичная ситуация сложилась и для определения критических условий (массовой доли кристаллической фазы в воздухе) нормальной работы приемников воздушных давлений (ПВД). Доступные инструменты численного анализа используют схематизированную модель ПВД и весьма упрощенную модель

кристаллического обледенения при взаимодействии кристаллов с противообледенительной системой ПВД.

В рамках настоящего проекта с учетом задач MUSIC-haic ЦАГИ предстоит выполнить часть экспериментальных исследований теплообмена и явлений аккреции льда в условиях смешанного обледенения, срыва фрагментов льда на статических и вращающихся поверхностях различной смачиваемости.

Реализация первого этапа настоящего проекта привела к:

-получению передовых знаний в области физики взаимодействия облачных кристаллов с внутренними каналами двигателя и датчиков ЛА в условиях кристаллического и смешанного обледенения с учетом действия центробежных сил;

-созданию экспериментальной методики (включая экспериментальные модели) исследований обледенения внутренних каналов двигателя, его вращающихся частей и датчиков ЛА в кристаллических и смешанных условиях, гармонизированной с актуальными международными нормами по обледенению;

- развитию физико-математической модели и расчетной методики исследований обледенения в канале ПВД в смешанных условиях.

Для проведения экспериментальных исследований, помимо штатных измерительных систем стендовой базы и типовых аэродинамических моделей, с учетом специфики условий эксперимента будут применены разработанные дополнительные методики, средства измерений и макеты элементов авиационной техники.

Вышеуказанные результаты крайне важны для решения задач MUSIC-haic в целом, получены впервые, что обуславливает их новизну и актуальность реализации настоящего проекта.

Для Российской Федерации разработка экспериментальных методик и средств моделирования кристаллического и смешанного обледенения внутренних каналов двигателя, его вращающихся частей и датчиков ЛА, гармонизированных с актуальными международными нормами по обледенению, является принципиально новым результатом.

Полученные результаты полностью соответствуют требованиям Приложения № 8 «План работ научного исследования» к Соглашению № 075-11-2021-075 от 24.09.2021.

Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень

Риски, вызванные обледенением, и их возможные последствия при эксплуатации авиационной техники привели к введению новых требований по сертификации летательных аппаратов. В 2015 г. в авиационные правила FAR 33 (США) и CS 25 (Европа) были введены изменения, ужесточающие требования летной годности ЛА в условиях кристаллического и смешанного обледенения, а также обледенения в условиях больших переохлажденных дождевых капель. В настоящее время Авиационным Регистром МАК

разработаны поправки 9 к российским авиационным правилам АП-25, включающие указанные изменения полностью. Отсюда разработка экспериментальных и теоретических методов исследований обледенения изделий авиационной техники в кристаллических и смешанных условиях относится к первоочередным задачам соответствующих производителей во всех странах с развитой авиационной промышленностью. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость создания наземных стендов, экспериментальных методик и вычислительных программ, позволяющих исследовать обледенение изделий в кристаллических и смешанных облаках. Весьма важным является обеспечение моделирования на наземных стендах и при помощи численных программ процессов обледенения, имеющих место в турбореактивных двигателях высокой степени двухконтурности, приемниках воздушных давлений и других бортовых устройств с внутренними каналами. Проведение физического эксперимента и испытаний, дающих детальное представление о процессах в двигателях и приемниках, крайне затруднено. Поэтому создание установок, воспроизводящих процессы в реальных изделиях и позволяющих решить проблему без натурных испытаний двигателя, является крайне актуальным для всех разработчиков и производителей изделий авиационной техники.

Зарубежными организациями производится модернизация ряда установок для создания условий кристаллического и смешанного обледенения, соответствующих изменениям авиационных правил (GKN ATS, Esterline Icing Wind Tunnel, TUBS, DGA). Пока требуемые условия достигнуты частично, и идет интенсивная работа по доработке труб. Для натурных испытаний двигателей используется аэрохолодильная труба Лаборатории двигательных систем Исследовательского центра NASA Glenn PSL 3, США (максимальный диаметр испытываемого двигателя – 1,8 м), Ground Level Icing facility, Виннипег, Канада (максимальный диаметр двигателя – 3,7 м, высота полета не моделируется), стенд Ц-2 ЦИАМ (максимальный диаметр двигателя – 1 м). Таким образом, испытания современных двигателей с характерным диаметром входного отверстия 3 м и более не обеспечиваются и не могут быть обеспечены в ближайшее время. Поэтому возрастает актуальность частичного моделирования реальных процессов на специальных установках (Rotational Rig, NRC, Канада и предлагаемая установка ЦАГИ в виде турбины, устанавливаемой в аэрохолодильной трубе), а также создания достоверных трехмерных численных программ для моделирования процессов в двигателях и приемниках воздушных давлений.

Данный проект является составной частью совместного проекта «3D multi-disciplinary tools for the simulation of in-flight icing due to high altitude ice crystals» (MUSIC-haic), выполняемого международным консорциумом академических, исследовательских организаций (включая ЦАГИ) и промышленных партнеров с целью дальнейшего совершенствования (с существующего технического уровня разработки (TRL) TRL2–TRL4 до TRL6) трехмерных промышленных пакетов программ, моделирующих

обледенение изделий авиационной техники. Финансирование деятельности иностранных партнеров в рамках проекта MUSIC-haic поддержано Еврокомиссией.

В настоящее время Россия не располагает возможностью провести испытания изделий авиационной техники в полном соответствии с изменившимися нормами летной годности. Участие в проекте HAIC и первых годах выполнения проекта MUSIC-haic позволило научному коллективу ЦАГИ разработать стенд и методику для исследований физики процессов обледенения в кристаллических и смешанных условиях (с учетом обсуждаемых с европейскими коллегами в ходе реализации проекта требований к условиям обледенения). В целях формирования необходимой методической и научной базы для создания сертифицированной методики исследований изделий авиационной техники, включая внутренние каналы и вращающиеся части изделий, гармонизированной с вновь введенными нормами летной годности, продолжается взаимовыгодное сотрудничество с ЕС по теме проекта MUSIC-haic.

В рамках настоящего проекта предусмотрен обмен результатами и методиками численного моделирования с такими организациями как ONERA, CIRA, ANDHEO в части трехмерного моделирования процессов обледенения ТРДД и ПВД в кристаллических и смешанных условиях, запланировано сравнение численных результатов на общих тестовых случаях. Это позволит значительно усилить компетенции ЦАГИ в вопросах численного моделирования обледенения, получить доступ к базе данных тестовых случаев для валидации собственных численных программ.

В наблюдательный совет проекта MUSIC-haic входят такие организации как EASA (Европейское агентство авиационной безопасности) и FAA (Федеральная авиационная администрация США). Существующая практика оценки TRL в ходе выполнения проекта позволит закрепить достигнутые ЦАГИ результаты по созданию экспериментальных и численных методов исследований кристаллического и смешанного обледенения на международном уровне. В дальнейшем созданные методики могут быть использованы как база для сертификации отечественных изделий авиационной промышленности в соответствии с актуальными международными авиационными нормами.