

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.18
по диссертации Калюлина Станислава Львовича
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертация: «Расчетно-экспериментальное моделирование процессов обледенения элементов авиационных двигателей при вибрациях» по научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов принята к защите «28» июня 2023 г. (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.18, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «5» октября 2022 г. № 93-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель Модорский Владимир Яковлевич, доктор технических наук, доцент, декан аэрокосмического факультета, директор Центра высокопроизводительных вычислительных систем федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Официальные оппоненты:

Косинов Александр Дмитриевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией волновых процессов в сверхзвуковых течениях федерального

государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск),

Амелюшкин Иван Алексеевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отделения аэротермодинамики гиперзвуковых летательных аппаратов и объектов ракетно-космической техники федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (г. Жуковский).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (г. Москва) (отзыв ведущей организации утвержден 15.09.2023 г. проректором по науке и цифровому развитию МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктором экономических наук, профессором Дрогвозом Павлом Анатольевичем, диссертационная работа рассмотрена на заседании кафедры «Прикладная математика», протокол №8 от 31.08.2023 г., отзыв подписан заведующим кафедрой «Прикладная математика», доктором технических наук, профессором Кувыркиным Георгием Николаевичем и профессором кафедры «Прикладная математика», доктором физико-математических наук, доцентом Марчевским Ильей Константиновичем).

Отмечено, что диссертация «Расчетно-экспериментальное моделирование процессов обледенения элементов авиационных двигателей при вибрациях» соответствует требованиям «Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также требованиям Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденного приказом ректора ПНИПУ №4334В от 9 декабря 2021 г., и ее автор, Калюлин Станислав Львович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается областью их компетентности и научной деятельностью, связанной с исследованиями обледенения элементов авиационной техники с использованием численных и экспериментальных методов, в том числе в части

разработки математических моделей в области обледенения и проведения физических экспериментов по обледенению на аэродинамических трубах.

На автореферат и диссертацию поступило 6 отзывов:

Ахмедзянов Дмитрий Альбертович, д-р техн. наук, проф., декан факультета авиационных двигателей, энергетики и транспорта, профессор кафедры авиационных двигателей ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»; Кириллов Валерий Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Двигатели летательных аппаратов» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»; Баркалов Константин Александрович, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры математического обеспечения и суперкомпьютерных технологий Института информационных технологий, математики и механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ); Мингазов Билал Галавтдинович, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры реактивных двигателей и энергетических установок ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»; Яновский Леонид Самойлович, д-р техн. наук, проф., начальник отдела ФАУ «Центральный институт авиационного двигателестроения им. П.И. Баранова»; Левихин Артем Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Все полученные отзывы положительные, указанные недостатки не являются определяющими и не снижают высокой оценки работы. Во всех отзывах отмечено, что диссертационная работа является полным, законченным исследованием, соответствует установленным требованиям к кандидатским диссертациям, а ее автор, Калюлин Станислав Львович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

По теме диссертации соискателем опубликовано шестнадцать научных трудов, включая восемь научных статей в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, и пять научных статей в изданиях, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, одну монографию. В диссертации отсутствуют недостоверные

сведения об опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Калюлин, С.Л. Численное моделирование обледенения при вибрациях аэродинамического профиля / С.Л. Калюлин, В.Я. Модорский // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2023. – № 72. – С. 100–110. URL: http://vestnik.pstu.ru/aero/archives/?id=&folder_id=11430.

2. Kalyulin S.L., Modorskii V.Y., Cherepanov I.E. Numerical modeling of the influence of the gas-hydrodynamic flow parameters on streamlined surface icing // AIP Conference Proceedings. 2018. V. 2027. No. 1. Art. 030180. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2027/1/030180/928246/Numerical-modeling-of-the-influence-of-the-gas>.

3. Kalyulin S.L. et al. Computational and experimental modeling of icing processes by means of PNRPU high-performance computational complex // Journal of Physics: Conference Series. 2018. – V. 1096. No. 1. Art. 012081. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1096/1/012081/meta>.

4. Kalyulin S.L., Modorskii V.Y., Maksimov D.S. Physical modeling of the influence of the gas-hydrodynamic flow parameters on the streamlined surface icing with vibrations // AIP Conference Proceedings. 2018. V. 2027. No. 1. Art. 040090. URL: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2027/1/040090/928302/Physical-modeling-of-the-influence-of-the-gas>.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая методика численного моделирования процесса обледенения с учетом изменения скорости, давления, температуры воздуха, угла атаки аэродинамического профиля, влажности потока, экспозиции в потоке с учетом вибраций конструкции;

предложены зависимости скорости, давления, температуры, влажности набегающего газодинамического потока, угла атаки, экспозиции и вибрации от коэффициента аэродинамического сопротивления, коэффициента подъемной силы, аэродинамического качества и массы льда, которые могут быть применимы в рассмотренном диапазоне для оценки параметров обледенения;

доказано, что вибрации конструкции могут оказывать существенное влияние на ее обледенение, в ходе вычислительного эксперимента показано, что существуют режимы, при которых масса льда возрастает;

введено понятие коэффициента K_v , который равен отношению скорости набегающего газодинамического потока к виброскорости аэродинамического профиля.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **доказана** возможность численного моделирования воздействия вибраций на конструкцию воздухозаборника авиационного двигателя при обледенении с учетом набегающего газодинамического потока;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы ресурсы высокопроизводительного вычислительного комплекса ПНИПУ и программные расчетные комплексы для численного моделирования обледенения при вибрациях;

изложены механизмы образования льда при вибрациях для различных отношений скорости набегающего потока к виброскорости аэродинамического профиля;

раскрыты механизмы нарастания льда на аэродинамическом профиле при различных амплитудах и частотах колебаний, условия и области преобладания присоединения и отрыва капель;

изучены факторы, оказывающие наибольшее влияние на форму и массу льда при вибрациях и без учета вибраций;

проведена модернизация методики численного решения задачи об обледенении в части появления этапа перемещения поверхности обтекаемого профиля по гармоническому закону для явного учета вибраций.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена совокупность методик моделирования обледенения воздухозаборника авиационного двигателя с противообледенительной системой на предприятии авиастроительной отрасли;

определены количественные зависимости параметров обледенения при вибрациях для различных отношений скорости набегающего потока к виброскорости аэродинамического профиля;

создана модельная климатическая аэродинамическая труба ($P < 2$ кВт) для исследования процессов обледенения при вибрациях;

представлены результаты численных и физических экспериментов по обледенению воздухозаборника авиационного двигателя при вибрациях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ верификацию результатов, полученных на созданной модельной климатической аэродинамической трубе, с данными физических экспериментов NASA, при этом относительная погрешность по приведенной массе не превысила 13%;

для численного моделирования использовалось лицензионное программное обеспечение FENSAP ICE 3D в трехмерной нестационарной постановке и верифицированные методики расчета обледенения без учета вибраций;

теория построена на газогидродинамических моделях и моделях обледенения в рамках эйлерово-лагранжева подхода с использованием метода конечных объемов, дополненных этапом перемещения конструкции аэродинамического профиля по гармоническому закону;

идея базируется на том, что исследование действия вибраций аэродинамического профиля на обледенение позволит на этапе проектирования, при необходимости, изменить диапазон собственных и вынужденных частот элементов конструкции, а так же рассмотреть возможность замены существующих импульсных противообледенительных систем ударного типа на системы с гармоническими колебаниями;

использовано сравнение результатов автора и данных, полученных другими исследователями по тематике обледенения аэродинамических профилей;

установлено, что комплекс разработанных методик может быть применим к решению практических задач по обледенению.

Личный вклад соискателя состоит в:

выполнении обзора научно-технической литературы по вопросам обледенения элементов конструкции авиационных двигателей при физическом эксперименте в аэродинамических трубах и численном моделировании, вычислительных экспериментов процессов обледенения без вибраций и при вибрациях;

разработке методики численного решения задачи об обледенении аэродинамического профиля при вибрациях с учетом изменения скорости, давления, температуры газа, угла атаки, влажности потока, экспозиции в газодинамическом потоке, модельной климатической аэродинамической трубы с верификацией полученных результатов, механизмов образования льда при вибрациях для различных отношений скорости набегающего потока к виброскорости аэродинамического профиля;

обработке результатов экспериментов, проведенных на базе высокопроизводительного вычислительного комплекса и на модельной климатической аэродинамической трубе;

участии в проектировании модельной климатической аэродинамической трубы, расчетно-экспериментальных исследованиях процессов обледенения при вибрациях.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 с учетом дополнений от 26.09.2022 г., соответствует требованиям раздела 2 «Порядка присуждения ученых степеней в ПНИПУ» утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09.12.2021 г. № 4334-В: в ней изложены и научно обоснованы технические решения, определены механизмы и количественные зависимости параметров обледенения модельного воздухозаборника от характеристик вибраций, что имеет важное значение для авиадвигателестроения и обеспечения безопасности полетов.

На заседании «05» октября 2023 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.18 принял решение присудить Калюлину Станиславу Львовичу ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 9).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, проголосовал: «за» присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – 0.

Председательствующий на заседании
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.18,

заместитель председателя диссертационного совета

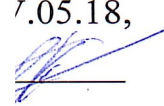
д-р техн. наук, пр


Карманов Вадим Владимирович

Ученый секретарь
диссертационного

д-р техн. наук, пр

7.05.18,


Нихамкин Михаил Шмерович

«09» октября 2023