

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.006.01 (Д 403.004.01),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ПРОФЕССОРА Н.Е. ЖУКОВСКОГО»
МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ (ДЕПАРТАМЕНТ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16 ноября 2021 г. № 22

О присуждении Сысоеву Вадиму Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка многофункционального всеракурсного приемника воздушных давлений с аэродинамическими характеристиками, независимыми от числа Рейнольдса» по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов (ранее 05.07.01 — «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов») в виде рукописи **принята к защите** 31 августа 2021 года (протокол № 13) диссертационным советом 31.1.006.01 (Д 403.004.01), созданным на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФГУП «ЦАГИ») Министерства промышленности и торговли Российской Федерации (Департамент авиационной промышленности). Адрес организации: 140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1. Приказом Минобрнауки России от 15.02.2013 № 75/нк диссертационному совету 31.1.006.01 (Д 403.004.01) предоставлено право приема к защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание степени доктора наук.

Соискатель Сысоев Вадим Викторович, 22 июля 1976 года рождения.

В 1999 году соискатель окончил Московский физико-технический институт (государственный университет) (в настоящее время: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»), факультет Аэромеханики и летательной техники (ФАЛТ). В 2003 году соискатель окончил заочную аспирантуру Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по специальности 05.07.01 — «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов».

Соискатель работает младшим научным сотрудником в научно-исследовательском отделении «Аэродинамика и динамика вертолетов, штопор и аэродинамика самолетов на больших углах атаки» Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского».

Диссертация выполнена в научно-исследовательском отделении «Аэродинамика и динамика вертолетов, штопор и аэродинамика самолетов на больших углах атаки» Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского».

Научный руководитель: кандидат технических наук Ефремов Андрей Александрович, заместитель начальника научно-исследовательского отделения Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный

аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского».

Официальные оппоненты:

Кусюмов Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева - КАИ, профессор кафедры аэрогидродинамики;

Аникин Виктор Андреевич, доктор технических наук, Главный конструктор Акционерного общества «Национальный центр вертолетостроения им. М.Л. Миля и Н.И. Камова»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации», г. Москва — в своём **положительном** заключении, подписанном Киселевым Михаилом Анатольевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» МГТУ ГА и Бородкиным Сергеем Филипповичем, кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» МГТУ ГА, и утверждённом Воробьевым Вадимом Вадимовичем, доктором технических наук, профессором, проректором МГТУ ГА по научной работе и инновациям, **указала, что** диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей существенное значение для науки и практики и связанной с разработкой систем измерения воздушных параметров перспективных летательных аппаратов. Диссертационная работа удовлетворяет критериям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор диссертационной работы, Сысоев Вадим Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов. Диссертация Сысоева В.В. обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Аэродинамика, конструкция и прочность летательных аппаратов» МГТУ ГА 12.10.2021 под руководством М.А. Киселева, по итогам обсуждения подготовлен предоставленный отзыв.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень ВАК российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций опубликовано 3 работы.

Наиболее значимые работы:

1. М.А. Головкин, Е.А. Ефремов, В.В. Сысоев. Квазисферический приемник воздушных давлений // Известия ВУЗов. Авиационная техника – 2018 г. - №2. – С. 112-116.

В работе изложена идея использования пространственного турбулизатора для стабилизации режима обтекания головной части ПВД и изложена методика создания геометрии многогранной головной части. Рассмотрены результаты предварительных испытаний многогранной головной части в аэродинамической трубе Т-105 ЦАГИ. Представлен алгоритм расчета воздушных параметров на основе измеренных ПВД давлений. Личный вклад автора оценивается в 75% и состоит в обсуждении формы головной части предлагаемого ПВД, проведении испытаний, разработке и программной реализации алгоритма расчета воздушных параметров на основе измеренных ПВД давлений.

2. А.В. Вялков, М.А. Головкин, А.А. Ефремов, В.В. Сысоев. Многофункциональные приемники воздушных давлений в современной и перспективной авиационной технике // Полет – 2018 г. - №11. – С.140-152.

В работе рассмотрены вопросы обеспечения высокоточных, надежных и отказобезопасных измерений воздушных параметров полета летательных аппаратов

различного типа с использованием многофункциональных приемников воздушных давлений. Приведены примеры реализации бортовых систем измерения для пассажирских воздушных судов, маневренных самолетов и вертолетов. Личный вклад автора оценивается в 40% и состоит в участии в разработке программного обеспечения для систем измерения СИВПВ-52 и СИВСП-21, оценке их технических характеристик и параметров отказобезопасности.

3. М.А. Головкин, А.А. Ефремов, В.В. Сысоев. Экспериментальные исследования обтекания пространственного тела многогранной формы потоком газа (Experimental study of the gas flow around polyhedral spatial body) // Материалы XIX Международной конференции по методам аэрофизических исследований (ICMAR 2018), г. Новосибирск, 2018.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований обтекания многогранной головной части ПВД потоком газа. Представлены картины линий тока на поверхности и в окрестности головной части. Приведено распределение давления и пульсаций давления по поверхности грани при различных углах атаки. Личный вклад автора оценивается в 75% и состоит в проведении экспериментальных исследований обтекания многогранной головной части ПВД потоком газа, анализе и обобщении полученных результатов.

Основные результаты, описанные в публикациях, докладывались автором на российских и международных конференциях.

Соискатель является соавтором 2 изобретений (патент РФ №2542791, United States Patent US 10,073,112 B2) и 1 полезной модели (патент РФ на полезную модель №138000).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов и ведущей организации.

Отзыв официального оппонента А.Н. Кусюмова положительный, замечания следующие.

1. График для C_{p1} на рисунке 2.17 напоминает график для обтекания сферы потоком идеальной жидкости. Как объясняется тот факт, что для данного приемного отверстия не наблюдается области отрыва при больших значениях азимутального угла?

2. Почему нет монотонности при изменении числа Рейнольдса в поведении кривых на рис. 2.18? Поведение кривой при $Re=68493$, $Re=85616$ и $Re=102739$ отличается от поведения всех остальных кривых. Немонотонность по числу Re отмечается также в поведении кривых на рис. 2.19.

3. Непонятно, каким образом решается переопределенная система уравнений (4.2), с учетом обеспечения совместности решения уравнений системы.

4. Непонятно, каким образом матрица 778×12 элементов умножается на столбец из 12 элементов в формуле (4.5) из раздела 4.2.3. Желательно было дать развернутое физическое обоснование методике определения статического давления, предложенной в разделе 4.2.3.

5. В разделе 3.1.3, с. 88, указано: «... аналогично математической модели коэффициентов воспринимаемых ПВД давлений (раздел 3.2),...» (нарушение последовательности изложения). То же относится и к пункту 4.1, где упоминается методика, изложенная в п. 4.2, и к пункту 4.2, где упоминается методика из п.4.3.

6. Работа содержит некоторое количество орфографических ошибок и стилистических нарушений. Например, одно из предложений на стр. 72 содержит более 30 слов (не считая предлоги и математические символы).

Отзыв официального оппонента В.А. Аникина положительный, замечания следующие.

1. В диссертации не исследован вопрос о местоположении ПВД на летательном аппарате, в частности, на вертолете, когда приемник находится в поле турбулентного потока от несущего винта, что в значительной степени определяет

эффективность его работы.

2. Погрешности расчета аэродинамических углов в нулевом приближении представляются неоправданно высокими.

3. Имеются определенные шероховатости в терминологии. Например, «линии отрыва», которыми автор оперирует при анализе материалов визуализации, лучше называть оторвавшимися слоями смещения, а близкое к потенциальному течение нет смысла называть ламинарным.

Отзыв ведущей организации положительный, замечания следующие.

1. В приведенных в тексте диссертации графиках используются разные размерности давления (Па, гПа, мм.вод.ст).

2. В тексте диссертации в полном объеме не раскрыта методика проведения градуировочных испытаний ПВД.

3. В диссертации отсутствуют результаты численного исследования обтекания многогранной головной части ПВД.

4. В диссертации не раскрыт вопрос влияния на результаты вычислений высотно-скоростных параметров потока от несущего винта вертолета.

На автореферат поступили отзывы из организаций, перечисленных ниже.

1. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ».** Отзыв составил доктор технических наук, профессор кафедры Электронного приборостроения и менеджмента качества ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации Солдаткин Владимир Михайлович. Отзыв положительный, замечаний нет.

2. **Акционерное общество «Аэроприбор-Восход», г. Москва.** Отзыв составлен начальником отдела по науке и инновационному развитию, кандидатом технических наук Сорокиным Михаилом Юрьевичем. Отзыв положительный, замечания следующие:

– Из автореферата непонятно, почему для оценки погрешности алгоритма из всего диапазона скоростей и высот выбрана только одна точка, соответствующая высоте 1000 м и скорости 90 м/с.

– В автореферате не приведено влияние количества граней на характер обтекания и не приведено обоснование выбора именно 192 граней, 12 отверстий для восприятия давлений и диаметра описанной сферы 250 и 50 мм.

– В автореферате не приведено обоснование выбора кубической сплайн-интерполяции для вычисления коэффициентов давлений в промежуточных точках.

– Из автореферата непонятно, влияет ли диаметр приемных отверстий на воспринимаемые давления и характер обтекания.

3. **Акционерное общество «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения», г. Ульяновск.** Отзыв составлен начальником ТРБ-1, кандидатом технических наук Семёновым Алексеем Владимировичем. Отзыв утвержден Первым заместителем генерального директора – директором по инновационному развитию АО «УКБП» Деревянкиным Валерием Петровичем. Отзыв положительный, замечания следующие:

– Не указано, как должна решаться задача защиты неподвижного ПВД от обледенения, попадания влаги и пыли в условиях реальной эксплуатации.

– Не рассмотрено влияние числа Маха на значения коэффициентов воспринимаемых ПВД давлений.

– Не приведены результаты расчетных исследований.

4. **Акционерное общество «Уральский завод гражданской авиации», г. Екатеринбург.** Отзыв составлен начальником отдела аэродинамики Инженерного центра АО «УЗГА», кандидатом физико-математических наук Владимировой Натальей

Алексеевской. Отзыв положительный, замечания следующие:

– Из текста автореферата не совсем понятно, на основании каких критериев выбрано число граней головной части (именно 192). Рассматривались ли еще какие-либо варианты?

– Желательно уточнить, всегда ли режим обтекания предложенной многогранной головной части не зависит от числа Рейнольдса, или это справедливо в каком-либо ограниченном диапазоне?

– В автореферате не отражено, для чего в таблицы базы данных математической модели включены таблицы пульсаций давления.

5. Государственный научный центр Российской Федерации АО «Летно-исследовательский институт им М.М. Громова». Отзыв составлен главным научным сотрудником НИЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова» Пушкиным Сергеем Георгиевичем, заместителем начальника НИО-9 НИЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова» Ясенком Андреем Васильевичем, ведущим инженером по экспериментальным работам и летным испытаниям систем воздушных судов НИО-9 НИЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова» Ловицким Лаврентием Лаврентьевичем. Отзыв утвержден первым заместителем генерального директора по науке – начальником НИЦ АО «ЛИИ им. М.М. Громова» Деевым Константином Валерьевичем. Отзыв положительный, замечания следующие:

– При поставленной задаче разработки ПВД для вертолета не обозначены ожидаемые условия работы приемника, особенности измерений воздушных параметров полета винтокрылого аппарата. Недостаточно полно показано сравнение предлагаемого технического решения с известными решениями, например на основе применения трубок Пито-Прандтля, Вентури и др. (в работах КАИ и АО «УКБП»).

– В алгоритмах определения воздушных параметров (стр. 14) не учитывается сжимаемость газа. В представленных на рис. 8 характеристиках значения скорости до 150 м/с влияние будет существенным.

– Непонятно изложены материалы на стр. 14-17, требуют пояснения:

а) Полученные большие ожидаемые значения погрешностей определения воздушной скорости применением упрощенного метода расчета скоростного напора;

б) Вывод о независимости инструментальной погрешности определения барометрической высоты (за счет погрешности датчиков абсолютного давления) от высоты полета;

в) Понятие «рабочего диапазона скоростей» вертолета.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями, компетентностью, наличием публикаций в данной сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработана** геометрия головной части всеракурсного приемника воздушных давлений, режим обтекания которой не зависит от числа Рейнольдса;

– **получены** градуировочные зависимости коэффициентов воспринимаемых разработанным ПВД давлений от значений аэродинамических углов;

– **разработана** (на основании полученных градуировочных зависимостей) математическая модель коэффициентов воспринимаемых разработанным ПВД давлений;

– **разработан** алгоритм расчета воздушных параметров на основании воспринятых приемником давлений, **выполнена** его программная реализация.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

предложен и обоснован метод затягивания положения глобального отрыва и расширения области безотрывного обтекания головной части многофункционального

всеракурсного ПВД с помощью размещения на ее поверхности пространственного турбулизатора в виде распределенных по поверхности ребер;

получены результаты экспериментальных исследований обтекания многогранной головной части потоком газа;

получены зависимости коэффициентов воспринимаемых ПВД давлений от значений аэродинамических углов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующим.

Разработанная геометрия головной части ПВД, характер обтекания которой не зависит от числа Рейнольдса, **использована** при разработке перспективного приемника воздушных давлений ПВД-М. Данный приемник **используется** в разрабатываемой перспективной системе измерения воздушных параметров СИВПВ-М, предназначенной для установки на модернизируемых современных и перспективных (в том числе скоростных) вертолетах. Применение разработанного алгоритма расчета параметров набегающего на ПВД воздушного потока **позволяет** проводить их вычисление с высокой точностью во всем диапазоне рабочих скоростей (начиная с режима минимальных скоростей) и аэродинамических углов (включая полеты вбок и назад).

Исследования, проведенные в процессе выполнения диссертационной работы, способствовали созданию 2 изобретений и 1 полезной модели.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

предложенный метод затягивания положения глобального отрыва и расширения области безотрывного обтекания головной части многофункционального всеракурсного ПВД **базируется** на анализе известных особенностей обтекания гладкой сферы и многогранного цилиндра;

при выполнении экспериментальных исследований **применялось** высокоточное сертифицированное измерительное оборудование и современные методы обработки экспериментальных результатов;

проведена верификация экспериментальных результатов путём контроля согласованности результатов, полученных для различных моделей на различных экспериментальных установках;

проведена валидация полученных экспериментальных результатов путём контроля их согласованности с хорошо апробированными результатами других авторов в области пересечения;

апробация результатов прошла на российских и международных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в:

научном обосновании метода устранения зависимости характера обтекания головной части приемника воздушных давлений от числа Рейнольдса;

определении характеристик воздушного потока на поверхности головной части и в ее окрестности на основании обработки и анализа результатов экспериментальных исследований;

проведении градуировочных испытаний исполнительной модели многогранного ПВД и в **разработке** математической модели коэффициентов воспринимаемых ПВД давлений;

разработке, программной реализации и тестировании алгоритма расчета параметров потока в точке установки ПВД;

подготовке и выступлении с докладами на российских и международных конференциях, в подготовке публикаций в периодических изданиях.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационное исследование по своему содержанию соответствует заявленной специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов, в частности, следующим пунктам паспорта специальности: п.1 – «Теоретические и экспериментальные исследования обтекания летательных аппаратов и их частей установившимися и неустановившимися потоками

сплошного и разреженного газа», п.2 – «Расчетные и экспериментальные исследования аэродинамических характеристик летательных аппаратов и их элементов», п.4 – «Управление процессами обтекания летательных аппаратов».

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие замечания:

1. Желательно разработать математическую модель обтекания многогранного ПВД для выполнения численных исследований.

2. Нужно более точно определить границы работоспособности предложенного ПВД.

3. Крайне желательно раскрыть вопрос работы ПВД в струе винта вертолета.

Соискатель Сысоев В.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Построение математической модели обтекания многогранного ПВД и выполнение численных исследований обтекания, безусловно, является крайне интересной и сложной задачей. Однако решение практической задачи – разработка приемника воздушных давлений и его программного обеспечения, было осуществлено на базе экспериментальных результатов.

2. Область работоспособности предложенного ПВД – по аэродинамическим углам ограничений нет, за исключением случаев, когда поток набегаёт со стороны державки. По числу Маха набегающего потока – $M < 0.5$.

3. Работа ПВД в струе винта вертолета – очень важный вопрос, который, тем не менее, в работе не рассматривался. Работа посвящена изолированному ПВД.

На заседании 16 ноября 2021 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей важное значение для развития систем измерения воздушных параметров летательных аппаратов различного назначения, присудить Сысоеву Вадиму Викторовичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.12. Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них:

- по специальности 1.1.9. «Механика жидкости, газа и плазмы»
 - 8 докторов физико-математических наук,
 - 1 доктор технических наук,
- по специальности 2.5.12. «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»
 - 5 докторов физико-математических наук,
 - 5 докторов технических наук,
- по специальности 2.5.14. «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»
 - 1 доктор физико-математических наук,
 - 2 доктора технических наук,

участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени — 22, против присуждения учёной степени — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Заместитель председателя диссертационного совета,

д.ф.-м.н., с.н.с.

Сергей Владимирович Ляпунов

Учёный секретарь диссертационного совета,

д.ф.-м.н., доцент

Мурад Абрамович Брутян

16 ноября 2021 года

