

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.347.04,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 07 апреля 2023 протокол № 1

О присуждении Золотухину Алексею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Аэродинамика и теплообмен в каналах с сотовыми поверхностями и вихревыми матрицами» по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, принята к защите 29 декабря 2022 г., протокол № 2, диссертационным советом 24.2.347.04, созданном на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования РФ, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №1343/нк от 24.10.2022 г.

Соискатель Золотухин Алексей Владимирович, «06» сентября 1993 года рождения, гражданин России. В 2017 г. окончил с отличием Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению 24.04.04 – «Авиастроение», присвоена квалификация «Магистр». В 2021 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по

направлению 03.06.01 – «Физика и астрономия» (профиль: Теплофизика и теоретическая теплотехника), нормативный период обучения с 01.09.2017 г. по 31.08.2021 г. В период подготовки диссертации с 2017 г. и по настоящее время, соискатель, Золотухин Алексей Владимирович, работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук в лаборатории термогазодинамики (2.2) в должности инженера-исследователя.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» и Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – профессор, доктор технических наук Терехов Виктор Иванович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии, лаборатории термогазодинамики (2.2), главный научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Кузнецов Гений Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова, профессор;

Михеев Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Институт энергетики и перспективных технологий, руководитель;

дали положительный отзыв на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина») в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой «Турбины и двигатели», к.т.н., доцентом О.В. Комаровым и профессором кафедры «Турбины и двигатели», д.т.н., доцентом Л.В. Плотниковым и утвержденном проректором по научной работе, д.ф.-м.н., доцентом А.В. Германенко, указала, что диссертационная работа Золотухина А.В. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, полностью удовлетворяет критериям п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 26.01.2023), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Золотухин Алексей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 19 работ, из них 2 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 5 статей в научных изданиях, индексируемых Scopus / Web of Science.

Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 60%. Общий объём научных изданий – 5,3 п.л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Терехов В.И., Смутьский Я.И., Шаров К.А., Золотухин А.В. Структура пограничного слоя при обтекании сотовой поверхности в плоском канале // Теплофизика и аэромеханика – 2014. – Т. 21 (6). – С. 719–724.

2. Золотухин А. В., Чохар И. А., Терехов В. И. Экспериментальное исследование турбулентной структуры течения в ячейке решетчатой матрицы // Теплофизика и аэромеханика – 2022. – № 6. – 1071-1078.

3. Terekhov V.I., Smulsky Ja.I., Sharov K.A., Zolotukhin A.V. Investigating the influence of cells with various geometric parameters on the air flow in the channel // J. Phys.: Conf. Ser.– 2018. – Vol. 980 (1). – P. 012027.

4. Terekhov V. I., Zolotukhin A. V., Chohar I. A. Experimental study of a turbulent structure in coplanar channels // J. Physics: Conf. Series. – 2020. – Vol. 1677 (1). – 012029.

5. Terekhov V. I., Zolotukhin A. V., Chohar I. A. Experimental study of a flow structure in coplanar channels // J. Physics: Conf. Ser.– 2020. – 1683 (3). – 022088.

На автореферат диссертации поступило 8 отзывов, все отзывы положительные:

1. Ильин Роман Альбертович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика и холодильные машины», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет, прислал отзыв без замечаний.

2. Теплицкий Юрий Семенович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова» Национальной академии наук Беларуси, отметил отсутствие попыток обобщения полученных экспериментальных данных по теплообмену и сопротивлению каналов с сотовыми поверхностями и вихревыми матрицами, а также отсутствие информации о практическом использовании результатов диссертационной работы.

3. Мильман Олег Ошеревич, доктор технических наук, профессор, директор по науке, Кондратьев Антон Викторович, кандидат технических наук, инженер-испытатель I категории, Закрытое акционерное общество Научно-

производственное внедренческое предприятие «Турбокон», подчеркнули, что в автореферате мало подробностей по экспериментальной установке, приборам и точности измерений; что следует чётко определить диапазон значений числа Рейнольдса, где эффективность сотовых ячеек положительно влияет на соотношение теплообмен-сопротивление.

4. Архипов Владимир Афанасьевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом газовой динамики и физики взрыва Научно-исследовательского института прикладной математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», отметил, что список публикаций автора не отражает результаты по характеристикам теплообмена, а включает, в основном, статьи по характеристикам пограничного слоя и турбулентной структуре потока в исследуемых элементах сотовых поверхностей и ячейках вихревых матриц. А также, в автореферате целесообразно было бы пояснить, как достигалось выполнение условия постоянства теплового потока.

5. Прохоров Александр Николаевич, кандидат технических наук, заместитель генерального директора – директор исследовательского центра «Аэрокосмические двигатели и химмотология», Арефьев Константин Юрьевич, доктор технических наук, начальник отдела «Аэрокосмические двигатели», Рудинский Александр Викторович, кандидат технических наук, начальник сектора 01201, Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», делают замечание, что в объекте исследований наименьший размер ячейки не превышает 2,4 мм, однако современные технологии 3D печати позволяют сформировать квадратный канал размером 1 мм; автор работы выбрал экспериментальный способ исследования с современными технологиями оптической визуализации течения, однако не уделил внимания математическому моделированию.

6. Запрыгаев Валерий Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории экспериментальной аэрогазодинамики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, отметил, что использование термина «скольжение потока», требует дополнительного пояснения, определения и обоснование его использования.
7. Здитовец Андрей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института механики, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», отметил: в подписях к Рисунку 2 и 3 и в тексте автореферата не указано, что означает величина U_0 .
8. Яновской Леонид Самойлович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела «Двигатели и химмотология», Байков Алексей Витальевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник сектора теплофизики отдела «Двигатели и химмотология», Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова», сделали замечание про отсутствие привязки исследуемых объектов к конкретным техническим объектам, в которых предполагается их использование. В материалах, представленных в автореферате, не показан эффект, ради которого предполагается использование сотовой поверхности на стенках.

Выбор официальных оппонентов обосновывается высокой квалификацией специалистов, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Так, область научных интересов доктора физико-математических наук, профессора Кузнецова Геня Владимировича связана с физическим и математическим моделированием процессов тепломассопереноса в различных теплообменных устройствах; доктора

технических наук, профессора Михеева Николая Ивановича – с большим количеством экспериментальных и численных исследований в областях энергетики, гидродинамики и теплообмена.

Выбор ведущей организации ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», обусловлен широкой известностью и достижениями в области аэро- и гидродинамики и интенсификации теплообмена в сложных конструкциях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

установлено, что наличие сот приводит к формированию вихревой структуры внутри ячеек и эффекту «проскальзывания» потока. Скорость скольжения потока достигает ~ 30% от скорости в ядре потока. Наличие сот приводит увеличению турбулентных пульсаций и росту коэффициента сопротивления до 4,5 раз. Одним из ключевых параметров вихревых матриц является угол скрещивания ребер 2β , изменение которого существенно влияет на интенсивность теплообмена (увеличение до 4-7 раз) и зону его наибольших значений;

предложены новые данные о структуре осредненного и пульсационного течений внутри ячеек вихревой матрицы. Показано, что профиль вектора скорости в рабочем участке сходен с течением в гладком канале с тем отличием, что направление потока меняется по высоте. При этом градиенты скорости вблизи стенок канала возрастают, также как и турбулентные пульсации.

показано, что изменение глубины ячеек сотовых поверхностей приводит к существенной деформации профиля скорости и интенсивности вихревых течений внутри каждой сотовой ячейки, что влияет на интенсивность теплообмена между потоком и поверхностью. Внутри каждого подканала вихревой матрицы образуется сложная структура течения, что и является одним из основных факторов, влияющих на столь сильное увеличение

теплообмена при использовании решетчатых теплообменников данного типа. Увеличение угла перекрещивания рёбер приводит к изменению структуры и усилению перемешивания, что, в свою очередь, существенно сказывается на теплообмене.

Опытные данные о применении вихревых матриц **показали**, что параметр теплогидравлической эффективности, характеризующий отношение роста теплопереноса к гидравлическим потерям, возрастает по мере увеличения угла между ребрами и при малых числах Рейнольдса может достигать до значения $\sim 2,7$. С увеличением чисел Рейнольдса эта тенденция нарушается вследствие роста гидравлических потерь.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: **доказаны** особенности перестройки пограничного слоя при обтекании сотовых поверхностей с ячейками гексагональной формы, а также существование эффекта «проскальзывания» потока, что является лишь результатом вращения стационарного вихря внутри каждой сотовой ячейки; сложная структура течения внутри ячеек, образованных каналами вихревых матриц с различным углом скрещивания рёбер, является одним из наиболее существенных факторов влияния на интенсификацию теплообмена на поверхности вихревых матриц.

применительно к проблематике диссертации результативно использованы: метод цифровой трассерной визуализации (PIV) для изучения компонент и пульсаций скорости потока как в гладком тракте, так и с макрошероховатостями сложной геометрической формы. А также лазерный доплеровский измеритель скорости (LDA), который позволил изучить турбулентные структуры внутри объектов сложной формы, таких как ячейки сотовых поверхностей и вихревых матриц. Он помог получить важную информацию о величине скорости «скольжения» потока над сотами и интенсивности вращения вихревых структур внутри сотовых ячеек.

изложены условия, для формирования эффекта «проскальзывания» потока при течении газа вдоль поверхностей с ячейками гексагональной формы, установленных в гладком канале; влияние угла скрещивания рёбер и числа Рейнольдса в рабочем канале с вихревой матрицей на величину параметра теплогидравлической эффективности. Проведено сравнение результатов по теплообмену в компланарных каналах с данными из работ других авторов.

раскрыт механизм формирования трехмерной структуры и вихреобразования в ячейке решетчатой матрицы и внутри гексагональной сотовой ячейки и влияния структуры течения на локальный теплообмен.

изучены особенности взаимодействия между геометрическими размерами сложных сотовых поверхностей и протекающим вдоль них потоком, которые приводят к существенной деформации и дальнейшей «перестройке» пограничного слоя и росту турбулентных пульсаций вблизи сот; влияние глубины сот на размеры и скорость вихревой структуры внутри каждой сотовой ячейки и величину сопротивления в рабочем канале; изменение угла скрещивания рёбер компланарных каналов на интенсивность теплообмена на поверхности вихревых матриц.

проведено обновление представлений о картине турбулентного течения внутри изученных объектов, а также особенностей локальной теплоотдачи в зависимости от характерных параметров.

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

результаты диссертационной работы были **использованы** при создании перспективных теплообменных устройств с решетчатой матрицей для каталитической конверсии углеводородов для задач водородной энергетики.

Достоверность полученных количественных данных обеспечена: применением современных измерительных методов и устройств при исследовании аэродинамических и тепловых характеристик, методик и оборудования, хорошо зарекомендовавших себя на практике;

повторяемостью и согласованностью результатов измерений, и анализом неопределенностей измерения;

применением современных методик сбора и обработки исходной информации;

обоснованностью полученных результатов систематических экспериментальных исследований, раскрывающих особенности структуры турбулентности и теплообмена на сотовых поверхностях и в вихревых матрицах;

соответствием полученных результатов и выводов известным данным, полученным ранее по рассматриваемой тематике.

Личный вклад соискателя. Постановка задач исследований проводилась научным руководителем д.т.н. Тереховым В.И. Консультантами по методам измерений и обработки данных были Чохар И.А. и Шаров К.А. Основная часть работы, включая разработку и модернизацию аэродинамического стенда, создание рабочих участков, настройку измерительного оборудования, проведение экспериментальных исследований, обработка и анализ полученных данных, выполнены автором самостоятельно. Основные выводы и результаты, и выносимые на защиту, сформулированы соискателем лично.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. В работе автор не проделал операцию по математической обработке полученных данных, которая очень важна при представлении результатов экспериментального исследования.
2. Малое количество информации о привязке исследуемых объектов и результатов работы к конкретным техническим объектам, в которых предполагается их использование.
3. Не очень четко сформулировано, какие конкретно результаты исследований по вихревым матрицам могут быть использованы при

конструктивной проработке теплообменного оборудования.

Соискатель Золотухин А.В. согласился с замечаниями, аргументировано ответил на все вопросы, задаваемые ему в ходе заседания.

Диссертация представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в котором впервые с использованием оптических методов PIV и LDA детально изучена аэродинамическая структура при обтекании поверхности с гексагональными сотами различной глубины. Установлено, что наличие сот приводит к формированию вихревой структуры внутри ячеек и увеличению гидравлического сопротивления. Впервые с помощью LDA экспериментально изучена трехмерная структура осредненного и пульсационного течений внутри ячейки вихревой матрицы. Показано, что профиль вектора скорости по высоте канала сходен с течением в плоском канале с тем отличием, что направление потока меняется по высоте и суммарный угол скоса равен углу между противоположными ребрами. При этом градиенты скорости вблизи стенок канала возрастают, как и пульсации скоростей. Получены новые данные по локальному теплообмену в плоском канале с вихревыми матрицами. Определены области повышенного теплообмена, а также степень интенсификации теплопереноса в зависимости от угла наклона ребер и числа Рейнольдса.

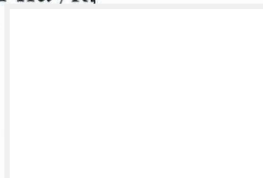
На заседании 07 апреля 2023 года диссертационный совет принял решение:

за решение научной задачи, имеющей существенное значение для совершенствования методов интенсификации теплообмена в энергетических установках, присудить **Золотухину Алексею Владимировичу** ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени

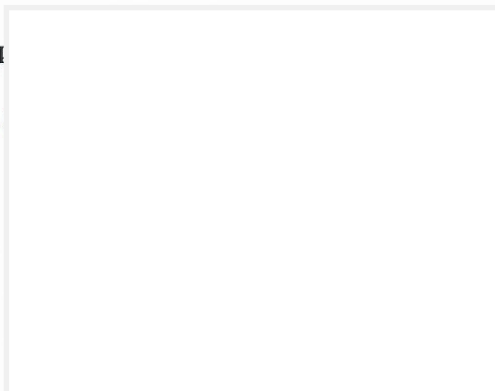
14, против присуждения ученой степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
академик РАН



Сергей Владимирович
Алексеев

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук



Олеся Владимировна
Боруш

07 апреля 2023 года