

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

дата защиты 18.03.2016 протокол № 103

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 501.001.89  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-  
МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Агеев Алексей Игоревич, кафедра аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета ФГБОУ ВПО "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова", лаборатория механики многофазных сред НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова,  
младший научный сотрудник

Диссертация “Течения вязкой жидкости вдоль супергидрофобных поверхностей” в виде рукописи по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы выполнена на кафедре аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета ФГБОУ ВПО “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова” и в лаборатории механики многофазных сред НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова. Диссертация принята к защите 18.12.2015 года, протокол № 103-П, диссертационным советом Д 501.001.89 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, 119234, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, действующего на основании приказа № 105/нк Министерства образования и науки Российской Федерации от 11 апреля 2012 года.

**Соискатель** Агеев Алексей Игоревич 1989 года рождения, в 2012 году окончил отделение механики механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, в 2016 году окончил очную аспирантуру отделения

механики по кафедре аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”. С 01.05.2011 и по настоящее время младший научный сотрудник лаборатории механики многофазных сред НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова.

**Научный руководитель**—доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. лабораторией, НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор кафедры аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета ФГБОУ ВПО “МГУ имени М.В. Ломоносова” (по-совместительству), **Осипцов Александр Николаевич**,

**Официальные оппоненты:**

доктор физ.-мат. наук, профессор, член-корр. АН республики Башкирия, директор Центра Сколтеха по проектированию, производственным технологиям и материалам **Ахатов Искандер Шаукатович**;

доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБУН Институт водных проблем РАН **Беликов Виталий Васильевич**;

**ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук

(заключение составлено Болотновой Раисой Хакимовной, главный научный сотрудник, доктор физико-математических наук, и утверждено вр.и.о. директора ФГБУН Института механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра Российской академии наук Урманчеевым Саидом Федоровичем)

**дали положительные отзывы о диссертации.**

На диссертацию и автореферат поступили отзывы научного руководителя, официальных оппонентов и ведущей организации, на автореферат поступило 4 положительных отзыва.

**В отзыве научного руководителя отмечается,** что важные с точки зрения приложений гидродинамические свойства супергидрофобных поверхностей, в частности, снижение трения и свойство самоочищения делают тематику диссертации А.И. Агеева современной и актуальной. В диссертации Агеева А.И. получено несколько принципиально новых научных результатов по исследованию течений вязкой жидкости вдоль супергидрофобных поверхностей. В первой части работы построены новые автомодельные решения ряда задач растекания тонкой пленки тяжелой вязкой жидкости от заданного локализованного источника массы на неоднородных супергидрофобных поверхностях. Изучено стекание тонкого слоя вязкой жидкости по поверхности горизонтального супергидрофобного цилиндра. Во второй части работы рассмотрено медленное течение вязкой жидкости на масштабе неоднородности текстуры супергидрофобной поверхности, удерживающей пузырьки газа. Методом граничных интегральных уравнений впервые исследована структура течения жидкости в окрестности текстуры супергидрофобной поверхности и выполнено параметрическое численное исследование осредненной скорости скольжения от возможных геометрических параметров задачи.

Основными новыми результатами, полученными автором работы лично, можно считать:

1. Исследование нестационарных автомодельных режимов растекания тонкого слоя вязкой жидкости от локализованного источника массоподвода заданной мощности по неоднородной супергидрофобной поверхности.
2. Исследование а) возможных автомодельных режимов установившегося стекания ручейка вязкой жидкости по наклонной неоднородной супергидрофобной поверхности, б) эволюции тонкого слоя тяжелой вязкой жидкости на поверхности горизонтального супергидрофобного цилиндра.

3. Численный алгоритм, основанный на методе граничных интегральных уравнений для стоксовых течений вдоль периодической текстуры супергидрофобной поверхности, содержащей пузырьки газа.

4. Параметрическое численное исследование зависимости осредненной скорости скольжения на текстурированной супергидрофобной поверхности от возможных геометрических параметров текстуры.

Сопоставление полученных результатов с литературными данными, а также использование классических математических моделей механики сплошной среды и известных численных методов для решения соответствующих задач математической физики позволяют сделать вывод о достоверности полученных результатов.

Выполняя работу, А.И. Агеев зарекомендовал себя как квалифицированный специалист, способный самостоятельно решать поставленные нетривиальные задачи, а также способный в ходе работы сам ставить новые задачи для достижения конечной цели.

В отзыве научного руководителя делается заключение, что: “Агеев Алексей Игоревич является сложившимся научным сотрудником, выполненная им диссертация на актуальную тему носит законченный характер... Агееву Алексею Игоревичу может быть присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы”.

**В отзыве официального оппонента Ахатова И.Ш. отмечается, что диссертация Агеева А.И. посвящена численному исследованию течения вязкой жидкости вдоль супергидрофобных поверхностей. Актуальность работы обусловлена рядом необычных свойств течений жидкости вблизи текстурированных супергидрофобных поверхностей, которые могут представлять практический интерес. Обтекание вязкой жидкостью супергидрофобной поверхности приводит к макроскопическому проскальзыванию и заметному снижению сопротивлению трению потока.**

Такие поверхности активно используются для снижения сопротивления, интенсификации массопереноса в устройствах микрофлюидики, в химической технологии, при создании покрытий, самоочищающихся от капельных загрязнений, для предотвращения обледенения элементов летательных аппаратов и технологических конструкций и др. В связи с вышесказанным является важным разработка численных моделей, способных описать течение вязкой жидкости вдоль супергидрофобных поверхностей. Существенным и до сих пор открытым в данной проблеме является вопрос описания областей прилипания и проскальзывания на криволинейной поверхности пузырька. Также наблюдается необходимость в построении аналитических решений, описывающих течение жидкости по неоднородным супергидрофобным поверхностям, с помощью которых можно было бы определять коэффициенты скольжения поверхности из экспериментов по определению скорости растекания жидкой пленки. Автореферат, составленный с соблюдением установленных требований, в достаточной степени отражает содержание диссертации.

#### **Замечания по работе:**

1. Следовало бы уделить большее внимание связи коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  [стр. 40, ур. (1.1.9)] и пояснить, как в эксперименте для пленок может быть реализован источник, подающий жидкость по экспоненциальному закону, или же гидрофобная поверхность с переменными гидрофобными свойствами.
2. В главе 2 следовало бы обсудить возможность самосогласования между кривизной межфазной поверхности и непосредственно самим течением, то есть влияние течения жидкости на форму межфазной поверхности и наоборот.
3. В диссертации не достаточно подробно описана реализация использованного численного алгоритма для решения задачи о течении вязкой жидкости вдоль межфазной границы, что мешает его проверке другими исследователями и ограничивает возможность верификации и воспроизводимости результатов.

В отзыве отмечено, что вышеперечисленные недостатки не умаляют достоинств диссертационной работы. На основании изложенного официальный

оппонент считает, что диссертационная работа Агеева Алексея Игоревича “Течения вязкой жидкости вдоль супергидрофобных поверхностей” соответствует всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы, а сам Агеев А.И. достоин присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

**В отзыве официального оппонента Беликова В.В. отмечено, что диссертация Агеева А.И. посвящена развитию методов определения гидродинамических характеристик текстурированных супергидрофобных поверхностей, область использования которых быстро расширяется в последнее десятилетие. Интерес к супергидрофобным поверхностям обусловлен их свойствами, важными для целого ряда приложений – повышение защиты от смачивания, самоочистка от жидких загрязнений, предотвращение обледенения и др. Основной целью работы является определение эффективных (осредненных) коэффициентов тензора скольжения, являющихся характеристикой супергидрофобной поверхности и входящих в условие Навье, используемое в качестве граничного условия для скорости жидкости на супергидрофобной поверхности. Предложены два различных подхода к определению коэффициентов скольжения. Первый основан на решении задач о течениях тонкого слоя тяжелой вязкой жидкости вдоль супергидрофобных поверхностей с граничным условием проскальзывания при заданных коэффициентах скольжения. При этом автору удалось выбрать задачи, представляющие самостоятельный интерес, и получить решения в достаточно простой форме, позволяющие использовать полученные решения в экспериментах для определения коэффициентов скольжения. Второй подход к определению эффективных параметров скольжения состоит в решении гидродинамической задачи Стокса обтекания периодической системы двумерных каверн, занятых микропузырьками, и последующем осреднении полученных решений. Здесь автору удалось использовать метод граничных**

интегральных уравнений, особенно подходящий для решения задач в областях сложной формы со смешанными граничными условиями. Таким образом, тематика диссертации, несомненно, является актуальной и современной. Перечисленные результаты являются новыми, их достоверность не вызывает сомнений.

**По работе имеются следующие замечания:**

1. В работе приводятся сопоставления автором расчетов с известными аналитическими и численными решениями, что подтверждает сходимость и непротиворечивость полученных результатов в рамках используемых приближенных математических моделей течения вязкой жидкости. Однако отсутствует верификации по экспериментальным данным, что не позволяет априори утверждать, что предложенные модели адекватно описывают реальные течения по супергидрофобным поверхностям, а также оценить возможную погрешность таких расчетов.
2. Следовало бы более подробно пояснить схему возможных экспериментов для определения коэффициентов скольжения неоднородных супергидрофобных поверхностей с использованием полученных автомодельных решений, а именно – как выбирать закон массопотока в пленку при заранее неизвестной зависимости коэффициента скольжения от координаты?
3. Следовало бы провести специальное исследование устойчивости переднего фронта смачивания на супергидрофобной поверхности с условием проскальзывания. Ведь возможно, что на переднем фронте быстро развивается ручейковая неустойчивость, ограничивающая диапазон применимости полученных автомодельных решений.
4. Следовало бы дать более детальную оценку границ применимости используемых стационарных уравнений Стокса для описания течения на микромасштабе (масштабе микролунок с газовыми пузырьками). В частности – возможно ли использовать это приближение для быстрых (или даже турбулентных) течений вдали от стенки?

5. В главе второй применяемый автором диссертации метод граничных интегральных уравнений описан достаточной скупой. Не приводятся данные о числе граничных элементов, не представлены результаты проверки сходимости численного метода по сетке и т.п. Разработанные вычислительные программы автору следовало бы оформить как программный продукт и получить соответствующие свидетельства.

В отзыве отмечено, что указанные замечания не снижают ценности работы в целом, а являются скорее пожеланиями для направлений дальнейших исследований. Диссертация Агеева Алексея Игоревича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. В диссертации решен ряд новых задач о течении вязкой жидкости вдоль различных типов супергидрофобных поверхностей и развиты новые подходы для определения коэффициентов гидродинамического скольжения неоднородных и однородных супергидрофобных поверхностей. Автореферат аккуратно оформлен, он полностью отражает содержание диссертации.

Оппонент отмечает, что полученные в диссертации результаты, несомненно, будут использованы для экспериментального и теоретического анализа гидродинамических характеристик супергидрофобных поверхностей. Диссертация А.И. Агеева удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Выбор Ахатова И.Ш. и Беликова В.В. в качестве официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются известными специалистами в России и за рубежом в области численного моделирования сложных систем со свободными поверхностями и имеют ряд работ, близких к теме диссертации.

**Ведущая организация** в своем отзыве указала, что диссертация Агеева А.И. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне. В работе получены результаты, позволяющие



классифицировать их как решение новых задач и получение новых знаний в области гидромеханики. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа базируется на достаточном числе примеров и расчетов в пространстве параметров соответствующих задач. Результаты и выводы диссертации могут быть использованы при анализе природных явлений, при создании новых материалов в различных областях их применения, а также при создании теоретических основ микро- и нанотехнологий. Материалы диссертационной работы могут быть востребованы в ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН, ИМех МГУ, ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН, ИТ им. С.С. Кутателадзе СО РАН, ИГ им. М.А. Лаврентьева СО РАН, ИМех им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН, ИММ КазНЦ РАН, ИМАШ им. А.А.Благоднарова РАН, ИПМАШ РАН, ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, ЦАГИ, ЦИАМ, а также в других академических институтах и проектных организациях. Материалы диссертации могут быть использованы в университетских учебных курсах по специальным разделам гидромеханики и теоретическим основам технологических процессов.

**Отзыв ведущей организации содержит замечания по содержанию работы:**

1. На с. 14 к рис. 2 отсутствуют пояснения к каждому из 4-х фрагментов. Отсюда неясно, какой из фрагментов соответствует состоянию Касси.
2. На рисунках в первой главе, например, 1.2-1.4, 1.9, приводятся результаты решения для автомодельных функций в безразмерном виде. Такое представление сложно интерпретировать с точки зрения физической наглядности полученного решения. Считаем, что более информативными были бы рисунки в размерных переменных, тем более что в диссертации приведены полученные решения в размерных переменных (например, на с. 47, 64).
3. В Заключение некоторые выводы имеют тривиальный смысл. Например, на с. 94: “Показано, что проскальзывание на супергидрофобной поверхности значительно уменьшает время стекания слоя по сравнению с обычной цилиндрической поверхностью (без проскальзывания)”. Очевидно, что при

данной формулировке было бы целесообразно привести количественные оценки.

4. С точки зрения возможных приложений в работе уделено недостаточно внимания влиянию ориентации текстуры поверхности относительно направления потока жидкости. Вызывает интерес течение в пограничном слое, обусловленным характером текстуры и его взаимодействием с основным потоком.

При этом в отзыве отмечено, что стиль изложения диссертации четкий и ясный, работа грамотно и аккуратно оформлена. Каждая глава диссертации завершается обстоятельными выводами. Сделанные замечания ни в коей мере не умаляют достоинств выполненной работы. Содержание автореферата соответствует цели, задачам, основным выводам и рекомендациям диссертационной работы.

Ведущая организация в своем отзыве указывает, что по актуальности, научной новизне и практической значимости результатов, обоснованности выводов и положений, представленная диссертация соответствует требованиям “Положения о порядке присуждения ученых степеней” ВАК при Минобрнауки России, а ее автор, Агеев Алексей Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

Диссертационная работа заслушана и обсуждена на научном семинаре 10.02.2016, а отзыв утвержден на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт механики им. Мавлютова Р.Р. Уфимского научного центра Российской академии наук (протокол № 2 от 11.02.2016 г.).

Выбор ведущей организации обусловлен тем, что сотрудники Имех УНЦ РАН являются признанными специалистами в области механики жидкости, газа и плазмы, механики многофазных систем и имеют широко известные достижения в областях науки, смежных с тематикой диссертации, и способны

объективно оценить научную и практическую ценность диссертационного исследования.

**Получен положительный отзыв на автореферат от Виноградовой Ольги Игоревны**, доктор физ.-мат. наук, зав. лабораторией физхимии модифицированных поверхностей ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН. В отзыве отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне и задачи, поставленные и решенные в работе, несомненно, являются актуальными. **В отзыве содержатся замечания:**

1. В автореферате не очень аккуратно даны ссылки на цитируемую литературу (в тексте приведены только авторы работ, без указания года публикации и названия журнала, список цитируемой литературы также не приведен)

2. Из текста автореферата не очень понятно, чему соответствует индекс “w” при определении длины скольжения: скорость  $u_w$  вычисляется на плоскости  $y=0$  или на межфазной границе “жидкость-газ”?

3. При прочтении автореферата возникают вопросы, связанные с обезразмериванием переменных. Например, неясно, на что обезразмерены координаты и скорость в сдвиговом потоке, для того чтобы получить условие  $b_{эфф}=\langle u \rangle$  (стр. 14).

4. В автореферате не указано, чем определяется  $\delta$  - глубина погружения закрепления мениска и можно ли ее предсказать. Были ли каким-то образом учтены поверхностное натяжение межфазной границы жидкость-газ и угол смачивания по отношению к вертикальным и горизонтальным стенкам.

5. Кроме того, тензорное условие скольжения было предложено в работе Bazant & Vinogradova, J. Fluid Mech., 2008, поэтому его неправомерно называть в диссертационной работе условием Навье.

В отзыве указано, что все указанные замечания, однако, не носят определяющего характера и не снижают качества диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную научную работу, соответствует всем требованиям ВАК, а ее автор, А.И. Агеев, несомненно, заслуживает

присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механики жидкости, газа и плазмы.

**Получен положительный отзыв на автореферат от Циркунова Юрия Михайловича**, доктор физ-мат наук, профессор, кафедра плазмогазодинамики и теплотехники Билтийский государственный университет “ВОЕНМЕХ” им Д.Ф. Устинова. В отзыве отмечено, что поставленные и решенные задачи в двух главах диссертации представляют значительный практический и научный интерес, а автору удалось получить интересные оригинальные результаты.

**Замечания по автореферату:**

1. Автомодельные решения существенно опираются на достаточно искусственные допущения о степенном характере зависимости безразмерной эффективной длины скольжения от продольной координаты и весьма специфических законах массоподвода. Вопрос об описании полученными решениями реальных течений, остался, по существу открытым.

2. Аналогичное замечание справедливо и в отношении задачи обтекания элемента текстурированной поверхности, когда автор искусственно задает положение мениска и его кривизну. В реальной ситуации и положение межфазной поверхности, и ее геометрические параметры должны определяться из решения сопряженной задачи о течении внешнего потока жидкости и течения в газовом пузырьке.

В отзыве отмечено, что данные замечания не влияют на высокую положительную оценку диссертационного исследования и имеют рекомендательный характер. Как следует из автореферата, диссертация А.И. Агеева является научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения задач и развит подход, имеющие важное значение для теоретической гидромеханики. Личный вклад автора в выполненное исследование достаточно хорошо отражен в автореферате и не допускает неоднозначной трактовки. “Ввиду изложенного, считаю, что автор диссертации Алексей Игоревич Агеев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-

математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы”.

**Получен положительный отзыв на автореферат без замечаний от Зарипова Шамиля Хузеевича**, доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой моделирование экосистем, ФГБОУ ВПО “Казанский федеральный университет”. В отзыве указано, что полученные в диссертации результаты обладают значительной научной новизной и практической значимостью, выводы являются важными для механики многофазных систем. “Считаю, что представленная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертационным работам, а сам соискатель, без сомнения, заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы”.

**Получен положительный отзыв на автореферат без замечаний от Губайдуллина Амира Анваровича**, доктор физ.-мат. наук, профессор, директор Тюменского филиала Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН. В отзыве перечислены рассмотренные задачи и полученные результаты. Отмечено, что, судя по автореферату, диссертационная работа Агеева А.И. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором на высоком научном уровне, и отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

**Основные результаты** диссертации опубликованы в 18 работах в научных журналах и изданиях, из которых 3 – статьи, опубликованные в журналах, которые входят в перечень рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК. Всего соискатель имеет 18 опубликованных работ. Основные работы по теме диссертации:

1. Агеев А.И., Осипцов А.Н. Автомодельные режимы растекания тонкого слоя жидкости вдоль супергидрофобной поверхности // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2014. № 3. С. 37–51.
2. Агеев А.И., Осипцов А.Н. Стеkanie ручейка вязкой жидкости по наклонной супергидрофобной поверхности // Доклады академии наук. 2014. Т. 458. № 6. С. 652–655.
3. Агеев А.И., Осипцов А.Н. Стоксово течение над каверной супергидрофобной поверхности, содержащей пузырек газа // Изв. РАН. Механика жидкости и газа. 2015. № 6. С. 35–49.
4. Агеев А.И. Растекание пленки жидкости по супергидрофобной поверхности // Тр. конф.-конкурса молодых ученых. 12-14 октября 2011 г. Под ред. акад. РАН Г.Г. Черного, проф. В.А. Самсонова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2013. С. 90-95.
5. Агеев А.И. Эволюция тонкого слоя тяжелой жидкости на супергидрофобной цилиндрической поверхности // Тр. конф.-конкурса молодых ученых. 8-9 октября 2013 г. Под ред. акад. РАН А.Г. Куликовского, проф. В.А. Самсонова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2014. С. 76-83.
6. Агеев А.И., Осипцов А.Н. Гидродинамика вязкой жидкости в окрестности супергидрофобной поверхности // Проблемы газодинамики и тепломассобмена в энергетических установках: Труды XX Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева (24-29 мая 2015 г., г. Звенигород). М.: Изд-ий дом МЭИ, 2015. С. 269-272. (CD).

**Результаты диссертационного исследования прошли апробацию** на региональных, всероссийских и международных конференциях: Конференция-конкурс молодых ученых НИИ механики МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, 2011-2015); Международный молодежный научный форум "Ломоносов" (Москва, 2012-2015); Конференция "Ломоносовские чтения" (МГУ, Москва, 2012-2014); Международная конференция "Нелинейные задачи теории гидродинамической устойчивости и турбулентность" (Звенигород,

2014); XVII школа-семинар, посвященная памяти академика Г.Г. Черного и 55-летию НИИ механики МГУ "Современные проблемы аэрогидродинамики" (Сочи, 2014); XX Школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева (Звенигород, 2015); XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Казань, 2015); XXXII Сибирский теплофизический семинар, посвященный 80-летию академика В.Е. Накорякова (Новосибирск, 2015).

За исследовательский проект "Создание и развитие новых гидродинамических моделей супергидрофобных поверхностей" автор был удостоен звания победителя во "Всероссийском конкурсе инновационных проектов У.М.Н.И.К. – 2014"; за работу "Течение вязкой жидкости над микрокаверной, заполненной газом" автор награжден дипломом 3-ей степени Конференции-конкурса молодых ученых НИИ механики МГУ (2014); за результаты, изложенные в диссертации, и опубликованные работы автору присуждена стипендия Ректора МГУ имени М.В. Ломоносова для молодых преподавателей и ученых, добившихся значительных результатов в преподавательской и научной деятельности (2014); за работу "Обтекание вязкой жидкостью периодической текстуры супергидрофобной поверхности" автор награжден дипломом 3-ей степени Конференции-конкурса молодых ученых НИИ механики МГУ (2015).

Постановки задач и полученные результаты обсуждались и получили одобрение на специализированных научно-исследовательских семинарах: семинаре кафедры аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством проф. В.В. Измоденова, проф. В.Д. Котелкина, проф. К.В. Краснобаева, проф. В.Я. Шкадова (2015); семинаре лаборатории механики многофазных сред НИИ механики МГУ под руководством проф. А.Н. Осипцова (2012-2015); семинаре по механике сплошных сред НИИ механики МГУ под руководством акад. РАН

А.Г. Куликовского, проф. В.П. Карликова и члена-корр. РАН О.Э. Мельника (2015).

Соискатель окончил аспирантуру в 2016 году в ФГБОУ ВПО “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **описаны** автомодельные режимы растекания тонкого слоя вязкой жидкости вдоль неоднородных горизонтальных и наклонных супергидрофобных поверхностей, у которых компоненты тензора скольжения выражаются степенными функциями координат;
- **исследовано** влияние гидрофобного скольжения на эволюцию тонкого слоя вязкой жидкости на горизонтальном супергидрофобном цилиндре в поле силы тяжести;
- **найденны** характеристики рассмотренных течений, которые могут быть использованы для экспериментальной сертификации промышленных супергидрофобных поверхностей. В частности, коэффициенты скольжения поверхности могут быть определены с использованием найденных решений для автомодельного закона движения переднего фронта тонкого слоя жидкости вдоль горизонтальной супергидрофобной плоскости, закона расширения пятна смачивания на наклонной супергидрофобной плоскости и времени утончения слоя жидкости на цилиндрической супергидрофобной поверхности;
- **установлено** взаимно-однозначное соответствие между гидродинамическими характеристиками супергидрофобных поверхностей, рассмотренных в диссертации, и параметрами исследуемых течений;
- **разработан** численный алгоритм, основанный на методе граничных интегральных уравнений для уравнений Стокса, позволивший исследовать локальную структуру течения вязкой жидкости в окрестности периодической текстурированной супергидрофобной поверхности с микрокавернами, в



которых силой поверхностного натяжения статически удерживаются газовые пузырьки;

- **выполнено** параметрическое численное исследование величины осредненной скорости скольжения на супергидрофобной поверхности, обусловленной наличием газовых пузырьков;
- **показано**, что форма мениска, образованного поверхностью пузырька и стенкой микрокаверны, или его погружение внутрь микрокаверны приводят к резкому снижению осредненной скорости скольжения на супергидрофобной поверхности.

**Теоретическая значимость исследования** обусловлена тем, что:

- **изучены** новые классы автомодельных решений в двух задачах растекания тонкого слоя вязкой жидкости вдоль неоднородных супергидрофобных поверхностей;
- **разработана** математическая модель, описывающая эволюцию тонкого слоя тяжелой вязкой жидкости на поверхности горизонтального супергидрофобного цилиндра;
- **найден** ряд асимптотических решений задач математической физики, сформулированных в диссертации;
- **впервые** методом граничных интегральных уравнений, применяемым для стоксовых течений, исследовано влияние формы мениска и его положения относительно стенок микрокаверны на величину осредненной скорости скольжения на текстурированной супергидрофобной поверхности.

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

они могут быть использованы для экспериментальной сертификации различных промышленных супергидрофобных поверхностей и для количественного описания явления гидродинамического проскальзывания на супергидрофобных поверхностях.

### **Достоверность полученных результатов обусловлена**

- **использованием** классических моделей гидродинамики и самосогласованных постановок задач механики сплошной среды;
- **сопоставлением** полученных результатов в широком диапазоне значений входных параметров с известными в литературе данными;
- **применением** апробированных численных алгоритмов и методов численного решения сформулированных задач математической физики.

### **Все результаты, представленные в работе, получены лично автором.**

Степенные зависимости коэффициентов скольжения от координат, использованные в граничном условии Навье, предложены лично автором, проведенные исследования автомодельных решений и эволюции тонкого слоя жидкости выполнены автором. Численный алгоритм для решения стоковых задач обтекания микрокаверн, содержащих газовые пузырьки, разработан автором. Параметрическое численное исследование осредненной скорости скольжения на текстурированной супергидрофобной поверхности выполнено автором. Обработка полученных результатов и подготовка графического материала, представленного в диссертации, выполнена лично автором. Автор лично представлял полученные результаты на научных конференциях. Результаты других авторов, использованные в диссертации, во всех случаях содержат ссылки на источники. Диссертация охватывает основные вопросы поставленных в двух главах научных задач и соответствует критериям внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований, обоснованных подходов к решению рассмотренных задач и взаимосвязи полученных выводов.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, и принято решение присудить Агееву Алексею Игоревичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 13 докторов наук (по специальности 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы) и 7 (по специальности 01.02.08 – биомеханика), участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета Д 501.001.89,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

В.П. Карликов

Учёный секретарь

диссертационного совета Д 501.001.89,  
доктор физико-математических наук

В.В. Измоденов

Подписи удостоверяю:

И.о. декана механико-математического  
факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



В.Н. Чубариков