

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.14

**Соискатель:** Городнов Анатолий Олегович

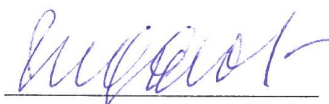
**Тема диссертации:** «Моделирование тепломассообмена при бездренажном хранении криогенных топлив».

**Специальность:** 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

**Решение диссертационного совета по результатам защиты:** На заседании 14 мая 2021 года, протокол № 2, 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 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Городнову Анатолию Олеговичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

**Присутствовали:** Красильников П.С. – *председатель*, Гидаспов В.Ю. – *ученый секретарь*, а также члены диссертационного совета: Холостова О.В., Бардин Б.С., Буров А.А., Колесник С.А., Котельников В.А., Котельников М.В., Маркеев А.П., Никитченко Ю.А., Овчинников М.Ю., Ревизников Д.Л., Рябов П.Е., Формалев В.Ф., Черепанов В.В., Шамолин М.В.

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.125.14, д.ф.-м.н., доцент



В.Ю. Гидаспов

Начальник отдела УДО МАИ  
Т.А. Аникина



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.14 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 14 мая 2021 г. № 2.

О присуждении Городнову Анатолию Олеговичу, гражданину РФ,  
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование тепломассообмена при бездренажном  
хранении криогенных топлив» по специальности 01.02.05 – «Механика  
жидкости, газа и плазмы» принята к защите «9» марта 2021 года, протокол №  
1, диссертационным советом Д 212.125.14 на базе федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
образования «Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)» (ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)»),  
Министерство образования и науки РФ, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д. 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании  
диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012.

Соискатель Городнов Анатолий Олегович 1992 года рождения,  
окончил федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-  
технический институт (государственный университет)» в 2015 году, ему  
была присуждена квалификация «Магистр» по специальности 03.04.01  
«Прикладная математика и физика».

В период с 2015-го по 2019 г являлся аспирантом очной формы  
обучения на кафедре тепловых процессов ФГАО ВО «МФТИ (НИУ)».

С 2012 г по настоящее время работает в АО ГНЦ «Центр Келдыша» в  
отделении 2, с 2019 г. в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена в (ФГАО ВО «МФТИ (НИУ)») на кафедре  
«Тепловые процессы» на базе АО ГНЦ «Центр Келдыша». Научный

руководитель – доцент кафедры «Тепловые процессы» (ФГАО ВО «МФТИ (НИУ)»), начальник сектора отделения 2 АО ГНЦ «Центр Келдыша», кандидат физико-математических наук, Лаптев Игорь Вячеславович.

**Официальные оппоненты:**

1. Козелков Андрей Сергеевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, начальник отдела ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

2. Федюшкин Алексей Иванович, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института Проблем Механики имени А.Ю. Ишлинского РАН.

**Ведущая организация** – Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», в своем положительном заключении, подписанном кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником отдела 20011, Сенкевич Е.А., доктором физико-математических наук, начальником отдела 20024, Бужинским В.А. и утвержденном кандидатом физико-математических наук, заместителем генерального директора по прикладным исследованиям, испытаниям и экспериментальной базе – начальником Центра прикладных исследований АО «ЦНИИМаш» Титовым В.А., указала, что диссертация представляет собой высококвалифицированную научную работу, удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Городнов Анатолий Олегович, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05. «Механика жидкости, газа и плазмы».

Отзыв обсужден и согласован на заседании подсекции №2-2 научно-технического совета АО «ЦНИИМаш» (протокол №7 от 26.04.2021). По диссертации были сделаны следующие замечания:

1. Небрежность оформления текста диссертации.
2. В главе 2 при формулировке задачи:
  - 2.1. В уравнениях для паровой подушки, в частности, в уравнении переноса тепла (2.2.1), в явном виде отсутствует тепловой эффект, связанный с переходом орто-пара состояний водорода.
  - 2.2. В уравнениях движения жидкости и пара используется одно и то же значение реперной температуры.
  - 2.3. При постановке задачи о прогреве стенки бака отсутствует упоминание о ее толщине.
3. В главе 2 предложены два метода численного решения сформулированной задачи: - консервативный и не полностью консервативный с разделением задачи на тепловую и динамическую. Приведены сравнения результатов расчетов по консервативному методу с результатами других авторов, сравнение результатов расчетов по консервативному методу и не консервативному методу не приведены. Использование для описания зависимостей теплофизических характеристик от температуры аппроксимацией высоких порядков в неконсервативных методах расчетов могут приводить к появлению «паразитных источников членов».
4. В главе 3 представлены результаты исследования нестационарных процессов до значений чисел  $Fo$ , не превышающих 0,2. Расчеты для больших значений позволили бы сделать выводы о допустимости использования представлений о «регулярном режиме» для таких сложных процессов тепло-массообмена.
5. В главе 4 при сравнении результатов расчетов с результатами маломасштабных экспериментов при моделировании форма

цилиндрического бака с полусферическими или оживальными днищами заменялась на чисто цилиндрическую, воспроизводилась высота уровня жидкости, но при этом не моделировались ни масса жидкости и площадь поверхности теплового воздействия. Возможно именно с этим связан опережающий по сравнению с экспериментом рост давления от времени. Использование такого моделирования не вызвано требованиями метода и не обосновано.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н.,  
Козелкова Андрея Сергеевича.**

Отзыв положительный. По автореферату имеются следующие замечания:

1. Необходимо отметить, что применяемый в работе метод SIMPLE является широко известным, в полной мере развитым для случая различных сеток и явных и неявных схем дискретизации уравнений. Применяемые в работе методы дискретизации и аппроксимаций уравнений также давно известны, и являются недостаточно эффективными для решения промышленных задач. При этом, в пункте 1 научной новизны и основных положений, выносимых на защиту, присутствует формулировка - *метод численного моделирования тепловых процессов при естественной конвекции в газах*. Несмотря на то, что в контексте данной работы эти пункты являются второстепенными, учитывая прописанные в паспорте специальности 01.02.05 положения, считаю более подходящей формулировку *доработанный метод численного моделирования тепловых процессов при естественной конвекции в газах в части....*
2. Необходимо сделать замечание по части используемых в диссертации для расчетов программ. Если программа применяется для численного исследования моделирования какого-либо процесса, то для вновь

реализованной программы есть определенные правила верификации\валидации - расчеты на сходимость, оценка схемной вязкости и т.д. Частично что-то представлено в работе, но полного описания нет.

3. Большая часть формул в работе тяжело читается из-за отсутствия расшифровки применяемых обозначений тех или иных величин. Нормальное описание только у самой главной системы уравнений (раздел 2.2).
4. Диссертант подробно привел применяемые допущения в используемой им физико-математической модели. Однако умолчал, как все эти допущения влияют на итоговые результаты исследуемых им тепломассообменных процессов.
5. В постановке задачи, диссертант умалчивает режим протекания тепломассообменных процессов - турбулентный или ламинарный. Из приведенных чисел Рэлея видимо следует, что режим является переходным. На этом все же было надо остановиться более детально и пояснить почему рассматривается именно такая постановка, какие режимы эксплуатации она охватывает и что в итоге с учетом турбулентности.
6. В диссертации приводятся численные исследования на примере модельных задач. В целом для исследования того или иного процесса, может этого и достаточно, но после названия диссертации ожидаешь применение и описание разработанных моделей при решении реальных производственных задач.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента, к.ф.-м.н., Федюшкина Алексея Ивановича.**

Отзыв положительный. По автореферату имеются следующие замечания:

1. В главе 1 в постановке задачи и допущениях модели не обосновывается пренебрежение подвижностью границы раздела жидкость-газ.

2. Для полноты использования, предложенной автором, математической модели процессов тепломассопереноса в баках ракетного топлива, желательно указать диапазоны параметров, при которых справедливо предположение о гомобаричности, и оценить возможность влияния на тепломассоперенос термокапиллярной конвекции, а также влияние кривизны и устойчивости межфазной поверхности жидкость-пар.

3. При исследовании влияния величины теплового потока через стенку не указано влияние шага расчётной сетки на точность решения для локальных величин, также не приведены результаты исследования сеточной сходимости, предложенного в четвёртой главе численного метода решения сопряженной задачи.

4. К сожалению, работа содержит большое количество стилистических и грамматических ошибок, а также некоторые величины, не имеющие общепринятые обозначения, не определены или неправильно определены, как, например, ускорение силы тяжести, названо вектором перегрузки. Также, например, во многих местах автореферата и диссертации вместо универсальной газовой постоянной указан радиус расчётной области.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области наук, к которой относится диссертационная работа Городнова Анатолия Олеговича, что подтверждается наличием у них многочисленных публикаций в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет.

**На автореферат диссертации поступило 5 отзывов.**

**1. Отзыв начальника отдела «Двигательные установки» АО «НПО Лавочкина», кандидата технических наук, Александрова Льва Григорьевича.**

Отзыв положительный. По автореферату имеются следующие замечания:

1. Из текста автореферата не ясно, какими критериями моделирования и их областями изменения следует руководствоваться при «правильном выборе модели для описания свойств среды, влияния стенки, особенностей конвекции паров криогенных веществ» для проведения на практике расчётов по прогнозированию параметров системы «криогенная жидкость- пар» в замкнутом бездренажном объёме.
2. Из текста автореферата не ясно, до каких значений микрогравитационных перегрузок справедлива предложенная математическая модель, не учитывающая искривление поверхности раздела «жидкость -пар».
3. В тексте автореферата не представлены математические выражения для величины, используемой в качестве ординаты на рисунках 46 (стр. 12), 56 (стр.13).

**2. Отзыв заведующего научно-исследовательской лабораторией моделирования процессов конвективного теплопереноса Томского государственного университета, доктора физико-математических наук, Шеремета Михаила Александровича.**

Отзыв положительный. По автореферату имеются следующие замечания:

1. Сформулированные дифференциальные уравнения, описывающие рассматриваемый процесс теплообмена, необходимо было сопроводить используемыми температурными зависимостями для вязкости, теплоемкости и теплопроводности.
2. Следовало подробнее описать анализ влияния размерности расчетной сетки (шаги по времени и по пространству) на получаемые решения.
3. Следовало подробнее описать причину пренебрежимо малого влияния эффекта Марангони для рассматриваемых задач.



**3. Отзыв профессора Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики СПбПУ, главного научного сотрудника НИЛ гидроаэродинамики ИПММ СПбПУ, доктора физико-математических наук, профессора Смирнова Евгения Михайловича и профессора Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики СПбПУ, доктора физико-математических наук, доцента Зайцева Дмитрия Кирилловича**

Отзыв положительный. По автореферату имеются следующие замечания:

1. Нечетко отражен вклад автора в программную реализацию предложенной математической модели. Если автор претендует, в том числе, и на разработку программного кода для расчета тепломассопереноса в баке, создание такого инструмента следовало бы отразить в практической значимости работы.
2. Неясно, проводилось ли тестирование кода в части моделирования нестационарной конвекции, в том числе при наличии испарения-конденсации и/или сопряженного теплообмена. Результаты тестирования показаны только для стационарной конвекции газа в квадратной полости с разнонагретыми боковыми стенками.
3. Отсутствуют данные о типичных расчетных сетках и шагах по времени. В частности, данные Рис.12,д оставляют сомнения в достаточности использованной сетки для аккуратного разрешения восходящей пристенной струи и, соответственно, для адекватного предсказания теплообмена на стенке.
4. При представлении результатов расчета автор не уделяет должного внимания интерпретации полученных закономерностей. В частности:

-Данные Таблицы 3 свидетельствуют о крайне слабом влиянии числа Рэлея на итоговое давление в баке (в пределах 2% при изменении  $Ra$  от 0 до 108). По крайней мере, на первый взгляд, это значит, что даже при  $Ra=10^8$  теплоперенос в исследуемом криогенном баке почти не зависит от конвекции и определяется, главным образом, теплопроводностью. Требуется объяснение столь неожиданного результата.

-Судя по Рис. 10,а, изменение толщины стенки существенно влияет не только на скорость роста давления в баке, но и на его итоговое значение. Комментарий автора о том, что «значительная часть тепла расходуется на нагрев стенки», не объясняет данный эффект. Каков же механизм влияния стенки на установившееся тепловое состояние бака?

-Согласно Рис. 17, включение подогрева бака снизу (т.е. увеличение суммарного теплоподвода на 20%) практически не влияет на скорость роста давления. Неясно, куда же уходит дополнительное тепло?

5. В автореферате имеется ряд опечаток и нестыковок. В частности, числа Рэлея  $Ra$  и  $Ra_L$  записаны неаккуратно; не определены параметры  $B$ ,  $Fi$ ,  $H$ ,  $Fo$ ; параллельно используются разные обозначения одной и той же величины ( $d=\delta$ ,  $t=Fo$ ); в задаче о нагреве паров водорода (Рис.9) задан показатель адиабаты одноатомного газа

**4. Отзыв ведущего инженера-конструктора отдела проектирования и конструирования двигательных установок КБ «Салют» «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» Диесперова Николая Вадимовича.**

Отзыв положительный. По автореферату имеются следующие замечания:

1. Во введении не конкретизировано, к какому участку полета ракеты-носителя можно применять разработанные в работе подходы.

2. Из текста автореферата не ясны некоторые условные обозначения:

На странице 8 автореферата обозначение радиуса бака совпадает с обозначением газовой постоянной;

На страницах 8,9 не пояснены обозначения некоторых физических величин

Результаты исследования, проведенного автором целесообразно представить в виде расчетной методики (или программы ЭВМ), включающей в себя возможность задания конкретных характеристик топливных баков и критериев для расчета параметров бездренажного хранения криогенных компонентов топлива.

**5. Отзыв начальника отделения ПАО «РКК Энергия» Стриженко Павла Петровича и главного научного сотрудника ПАО «РКК Энергия», кандидата технических наук Туманина Евгения Николаевича.**

Отзыв положительный. По автореферату имеются следующие замечания:

В качестве замечаний следует отметить, что в работе не приведена (не рассмотрена) граница возможности использования разработанного метода для расчёта процессов в подушке баков различного объёма и толщины стенки

Соискатель имеет 8 опубликованных научных работ по теме диссертации, из них 3 работы опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, входящих в список, рекомендуемый ВАК по специальности 01.02.05, а также 1 работу в журнале из перечня ВАК по смежной специальности.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Статьи:

1. Черкасов С.Г., Лаптев И.В., Ананьев А.В., Городнов А.О. Ламинарная естественная конвекция газа в замкнутой квадратной области. Тепловые процессы в технике. 2018. Т. 10. №5-6. С. 182–191.
2. Черкасов С.Г., Лаптев И.В., Ананьев А.В., Городнов А.О. Рост давления при нестационарной естественной конвекции паров водорода в вертикальном цилиндрическом сосуде с постоянной температурой нижней границы. Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. №5. С. 203–215.
3. Черкасов С.Г., Лаптев И.В., Городнов А.О. Термодинамическая модель процессов в криогенных топливных баках. Космическая техника и технологии. 2020, №2, с. 50-60.
4. Городнов А.О., Лаптев И.В. Влияние теплоемкости стенки на рост давления и температурное расслоение при тепловой конвекции паров водорода в вертикальной цилиндрической емкости. Труды МАИ. 2021. №116. <http://trudymai.ru/published.php?ID=121008>.

Сборники трудов конференций:

1. Городнов А.О. Исследование свободной конвекции в криогенной емкости при подводе тепла снизу. Труды 58-й научной конференции МФТИ. Аэрофизика и космические исследования. 2015, с. 190.
2. Городнов А. О., Лаптев И. В., Черкасов С. Г. Моделирование естественной конвекции сжимаемого газа в замкнутой области. Сборник тезисов юбилейной конференции Национального комитета РАН по тепло-и массообмену «Фундаментальные и прикладные проблемы тепло-массообмена» и «Проблемы газодинамики и тепло-массообмена в энергетических установках». Том 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. С. 103–104.
3. Городнов А.О., Ананьев А.В., Лаптев И.В., Черкасов С.Г. Влияние сжимаемости на стационарный свободно-конвективный теплообмен в замкнутой области. Том 1. М.: Издательский дом МЭИ, 2018. С. 281–284.

4. Городнов А. О., Лаптев И. В., Черкасов С. Г. Рост давления при нагреве пара в вертикальной цилиндрической емкости с изотермической нижней границей. Сборник тезисов конференции Национального комитета РАН по тепло-и массообмену «Фундаментальные и прикладные проблемы тепломассообмена» и «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках». Том 1. М.: Печатный салон «Шанс», Москва, 2019. С. 139–140

Личный вклад авторов представленных соискателем публикаций в журналах из перечня ВАК состоял в следующем:

- 1) По работе [1] из представленного списка: Черкасов С.Г. и Лаптев И.В. (научный руководитель) – постановка задачи, выбор базовой физико-математической модели для исследования, обобщение результатов; Ананьев А.В. – разработка численного метода и тестирование его численной реализации; Городнов А.О. (соискатель) – конкретизация физико-математической модели, программная реализация численного метода, выполнение модельных расчетов, обработка результатов расчетов, обобщение результатов и формирование выводов.
- 2) По работе [2] из представленного списка: Черкасов С.Г. и Лаптев И.В. (научный руководитель) – постановка задачи, подбор диапазона изменения основных определяющих параметров, участие в подготовке текста (редактура); Ананьев А.В. – участие в программной реализации численного метода и его тестировании; Городнов А.О. (соискатель) – программная реализация осесимметричного варианта физико-математической модели естественной конвекции газа, тестирование кода, выполнение численного моделирования нестационарной конвекции в осесимметричном сосуде, обработка результатов, обобщение полученных данных, формулировка выводов, подготовка текста публикации.
- 3) По работе [3] из представленного списка: Черкасов С.Г. – разработка основных допущений и предположений модели, редакция статьи;

Лаптев И.В. (научный руководитель) – вывод основных уравнений модели; Городнов А.О. (соискатель) – программная реализация модели, выполнение расчетов, их обработка и обобщение и формулирование заключения, подготовка текста публикации.

- 4) По работе [3] из представленного списка: Городнов А.О. (соискатель) – разработка сопряженной модели конвекции с учетом теплообмена со стенкой, тестирование программы и выполнение расчетов, обработка результатов расчета, формирование выводов, подготовка текста публикации; Лаптев И.В. (научный руководитель) – постановка задачи, модернизация программной реализации модели естественной конвекции газа в приближении гомобаричности для осесимметричного случая.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **Реализован** метод решения уравнений Навье-Стокса в приближении малых чисел Маха для задач естественной конвекции газа в замкнутых областях в плоской и осесимметричной постановках.
- **Разработана** сопряженная физико-математическая модель для описания тепломассообмена при бездренажном хранении криогенных топлив в баках, учитывающая тепломассоперенос между паром, жидкостью и стенкой бака. **Предложен** метод численного решения уравнений сопряженной модели хранения.
- На примере задачи о прогреве слоя газа **исследованы** отличия теплообмена паров водорода для различных моделей среды. Рассмотрены модели на основе вириального уравнения состояния, уравнения состояния совершенного газа, с различными вариантами зависимостей теплофизических свойств среды от температуры.
- На примере задачи о конвекции паров водорода в квадратной ячейке **показаны** отличия в структуре течения для случая малых и существенных относительных перепадов температуры.

**Продемонстрирована** возможность корректного прогнозирования теплообмена на разнонагретых стенках в случае больших относительных перепадов температуры в рамках приближения Буссинеска.

- На примере задачи о нестационарной конвекции газа в вертикальном цилиндрическом сосуде со стенкой заданной толщины **показано** существенное влияние теплоемкости и теплопроводности оболочки сосуда на скорость роста давления, величину температурного расслоения и интенсивность конвекции.
- Проведено сравнение результатов расчета по предложенной сопряженной модели бездренажного хранения с экспериментальными данными по хранению азота и водорода. **Получено** удовлетворительное для данного класса задач совпадение с данными опытов по росту давления и величине температурного расслоения.
- Результаты численного моделирования бездренажного хранения **показали** существенное влияние начальных условий для температуры в паровой подушке на точность прогноза скорости роста давления. Предложенная модель корректно воспроизвела эффект увеличения скорости роста давления при увеличении степени заполнения, наблюдавшийся в экспериментах Войтешонка по хранению водорода.

**Практическая ценность результатов** обусловлена возможностью применения разработанных в работе подходов к задачам прогнозирования скорости роста давления в криогенных топливных баках на этапе бездренажного хранения.

**Достоверность результатов исследования**, содержащихся в диссертации, обуславливается непротиворечивостью построенной модели, использованием хорошо апробированных подходов к моделированию естественной конвекции (приближение Буссинеска, приближение малых

чисел Маха) Результаты численных расчетов, представленные в диссертационной работе, подтверждены сравнением с данными экспериментов по хранению и расчётных исследований других авторов.

#### **Личный вклад.**

Диссертация удовлетворяет всем требованиям постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней», так как является самостоятельно выполненной, завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится исследование актуальной задачи тепломассообмена при бездренажном хранении криогенных топлив.

На заседании «14» мая 2021 года протокол № 2 диссертационный совет принял решение присудить Городнову Анатолию Олеговичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы», участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета  
Д 212.125.14, д.ф.-м.н., профессор

П.С. Красильников

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 212.125.14, д.ф.-м.н., доцент

В.Ю. Гидаспов

14 мая 2021 г.

Начальник Отдела УДС МАИ  
Т.А. Аникина

