

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Новосибирск
2019

Всероссийская научная
конференция молодых ученых

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник
научных трудов

Часть 9

г. Новосибирск, 02-06 декабря 2019 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

**Сборник
научных трудов**

**г. Новосибирск, 02-06 декабря 2019 г.
в 9-и частях**

Часть 9

НОВОСИБИРСК
2019

УДК 62(063)
ББК 72.5я431
Н34

Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ //Сборник научных трудов в 9 ч. / под ред. Гадюкиной А.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019.

ISBN 978-5-7782-4006-3

Часть 9: – 419 с.

ISBN 978-5-7782-4015-5

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям:
«Актуальные проблемы авиаракетостроения, посвященное 60-летию факультета летательных аппаратов»

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель Оргкомитета:

Батаев А.А., д.т.н., профессор, ректор НГТУ

Зам. председателя Оргкомитета:

Вострецов А.Г., д.т.н., профессор, проректор по научной работе НГТУ

Филатова С.Г., к.т.н., доцент, директор ИТЦ

Программный комитет:

Драгунов В.П., д.т.н., профессор, начальник ОПК ВК

Корель И.И., к.ф-м.н., доцент, декан ФТФ

Осьмук Л.А., д.соц.н., профессор, директор ИСТР

Рева И.Л., к.т.н., доцент, декан АВТФ

Мелехина Е.А., к.п.н., доцент, декан ФГО

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан ФЛА

Тимофеев В.С., д.т.н., доцент, декан ФПМИ

Хайруллина М.В., д.э.н., профессор, декан ФБ

Хрусталев В.А., д.т.н., профессор, декан РЭФ

Вильбергер М.Е., к.т.н., доцент, декан ФМА

Янпольский В.В., к.т.н. доцент, декан МТФ

Чернов С.С., к.э.н. доцент, декан ФЭН

УДК 62(063)
ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-4015-5 (Ч.9)

ISBN 978-5-7782-4006-3

© Коллектив авторов, 2019
© Новосибирский государственный
технический университет, 2019

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАРАКЕТОСТРОЕНИЕ

60 ЛЕТ ФАКУЛЬТЕТУ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НГТУ

*Саленко Сергей Дмитриевич, д.т.н., профессор,
декан ФЛА, зав. кафедрой аэрогидродинамики*

В пятидесятые годы Новосибирск остро нуждался в инженерных кадрах для авиационных предприятий. Впервые набор на специальность «самолетостроение» состоялся в Новосибирском электротехническом институте (НЭТИ, ныне НГТУ) на машиностроительном факультете в 1956 году. Самолетостроительный факультет (ССФ) – ныне факультет летательных аппаратов (ФЛА) – был организован в 1959 году.



Рисунок 1 - Корпус ССФ НЭТИ у проходной авиационного завода

Начинался факультет с одной кафедры – «самолетостроение». В настоящее время в состав ФЛА входят семь выпускающих кафедр: СиВС – самолето- и вертолетостроения, ПЛА – прочности летательных аппаратов, АГД – аэрогидродинамики, ТТФ – технической теплофизики, ГДУ – газодинамических импульсных устройств, АИУС – автономных информационных и управляющих систем, ИПЭ – инженерных проблем экологии. Сейчас факультет готовит специалистов практически по всем направлениям, необходимым при создании летательных аппаратов.

За годы развития набор абитуриентов на факультет вырос в несколько раз и составляет около трехсот человек. На факультете учится около тысячи студентов, магистрантов, аспирантов, работает более ста преподавателей.



Рисунок 2 -Современный корпус ФЛА НГТУ

За время существования ФЛА подготовил около восьми тысяч специалистов. Выпускники ФЛА составляют основу инженерного потенциала Новосибирского авиационного завода (НАЗ) им. В.П. Чкалова, СибНИА им. С. А. Чаплыгина, ИТПМ им. С.А. Христиановича, КБ ИЯФ и многих других предприятий.

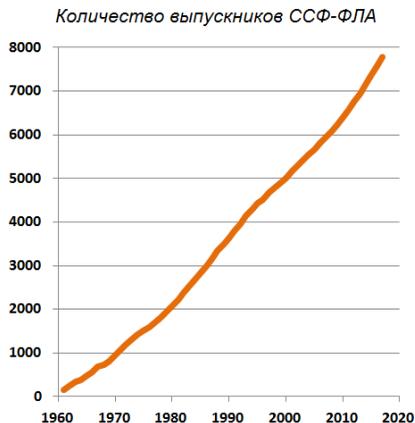


Рисунок 3 -Динамика выпуска ССФ-ФЛА

Наши базовые предприятия:

- Новосибирский авиационный завод (НАЗ) им. В.П. Чкалова
- СибНИА им. С. А. Чаплыгина
- ООО «S7 Техник»

- «Новосибирский авиаремонтный завод» (ОАО «НАРЗ»)
- Филиал ОКБ им. П.О. Сухого.
- АО «НИИ электронных приборов»
- СО РАН : ИТПМ им. С.А. Христиановича, ИГ, ИТФ, ИПФ, ИЯФ...

На базовых предприятиях студенты имеют уникальную возможность заниматься научно-исследовательской и проектно-технологической работой по реальной аэрокосмической тематике под руководством ведущих специалистов. На факультете развита целевая подготовка для аэрокосмических предприятий. Обучаясь на ФЛА, студенты знакомятся с производством, осваивают будущую профессию, а закончив университет без адаптации приступают к работе на предприятии по выпуску современной техники, например легендарных самолетов Су-34.

Для тесного взаимодействия с предприятиями создан Научно-производственный образовательный кластер авиастроения Новосибирской области. В 2017 году НГТУ завоевал звание Опорного регионального университета.

В последние годы в связи со значительным увеличением финансирования на развитие авиации спрос на выпускников ФЛА растет, причем запросы поступают «от Москвы до самых до окраин»: ПАО "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королёва, Московская обл., г. Королёв; АО «Экспериментальный машиностроительный завод им. В.М. Мясищева», Московская область, г. Жуковский; Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Конструкторское бюро машиностроения», Московская область, г. Коломна; АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва», Красноярский край, г. Железногорск; Улан-Удэнский авиационный завод; ПАО «Арсеньевская Авиационная Компания „ПРОГРЕСС“ им. Н. И. Сазыкина», Приморский край.

Аэрокосмическая отрасль – одна из передовых и динамично развивающихся, ей нужны высококвалифицированные кадры, поэтому учиться на ФЛА сложно. Но зато выпускник ФЛА может потом работать практически в любой отрасли.

Не надо думать, что на ФЛА могут учиться только студенты с повышенными способностями к математике и физике. Студентам предлагается большой выбор видов профессиональной деятельности – от производственно-технологической (прикладной бакалавриат) до научно-исследовательской (академический бакалавриат, магистратура, аспирантура).

Осваивать специальные дисциплины помогает уникальная лабораторная база факультета: современные самолеты: Су-27, Су-25 (и не

только), вертолеты Ми-8, настоящие турбореактивные и ракетные двигатели, аэродинамические трубы, прочностные испытательные стенды, лаборатория боеприпасов.



Рисунок 4 - Учебная лаборатория ФЛА

Только у студентов ФЛА есть такая уникальная возможность: участие в программе «Соколы НГТУ», которую реализует и финансирует фонд «Возрождение отечественной авиации». Цель программы – дать студентам факультета летательных аппаратов НГТУ возможность приобретения опыта управления летательными аппаратами в небе и на земле. Бесплатное !!! обучение по программе подготовки частных пилотов с выдачей удостоверения. Занятия проходят в Федеральном государственном образовательном учреждении «Центр подготовки и сертификации авиационного персонала». Летная подготовка проводится на легких самолетах «Аэропракт-22» на посадочной площадке «Мочище».

Весной 2018 года на Чемпионате России по вертолётному спорту победу одержал новосибирский экипаж в составе депутата заксобрания Новосибирской области Ирины Диденко и Светланы Гумбатовой, выпускницы ФЛА, прошедшей в 2011 году подготовку по программе «Соколы НГТУ».

Много десятков лет работает на ФЛА студенческое конструкторское бюро (СКБ). За это время спроектированы, построены и подняты в небо самолет и планер (в перспективе – мотопланер), реализовано много других интересных идей. Осенью 2017 года в СКБ ФЛА завершено изготовление и начаты испытания инновационного авиадвигателя мощностью 400 л.с. Основной материал двигателя – алюминиевые сплавы.



Рисунок 5 - Инновационный авиадвигатель

Осенью 2017 года на ФЛА проведен конкурс на лучший проект беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Победители конкурса приступили к реализации проекта.



Рисунок 6 - БПЛА, построенный в СКБ ФЛА

В НГТУ очень сильная команда авиамоделлистов, костяк которой составляют выпускники и студенты ФЛА.

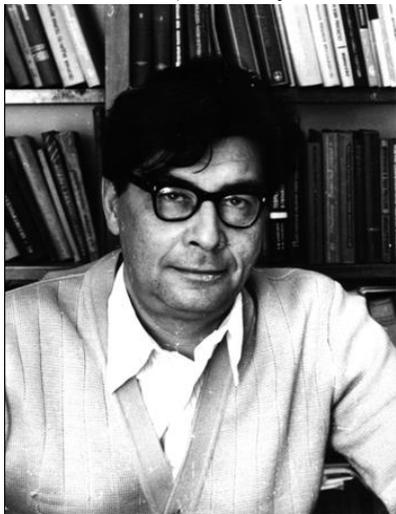
Но не авиацией единой живут на ФЛА: десятки одаренных студентов поют, танцуют, играют на скрипках и гитарах в прекрасном Дворце культуры НГТУ, многие занимаются спортом в не менее прекрасном Дворце спорта.

СЕКЦИЯ ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН

КАФЕДРА ПРОЧНОСТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (Этапы становления кафедры)

Н.В. Пустовой, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПЛА,

Задачи, связанные с прочностными расчетами авиационных конструкций, появились в НГТУ-НЭТИ практически сразу с появлением самолето-строительного факультета (ССФ – ФЛА), которому в 2019 году исполняется 60 лет. Факультет возник из потребности в кадрах предприятий авиационной промышленности (НАПО, СибНИА, авиаремонтный завод), институтов СО РАН.



По инициативе д.т.н., профессора, члена национального комитета по теоретической и прикладной механике СССР Льва Моисеевича Куршина в 1969 году при Новосибирском электротехническом институте была образована кафедра «Прочность летательных аппаратов» (ПЛА) (приказ № 2152 от 5.09.1969г.) Профессор Л. М. Куршин (1926-1981) стал первым заведующим кафедрой ПЛА. Кафедра осуществляла подготовку специалистов по специальности «Динамика и прочность машин». У истоков создания кафедры стояли ведущие ученые СибНИА и СО АН СССР.

Первоначальную основу кафедры составили три сотрудника единственной тогда на ССФ кафедры «Самолето- и вертолетостроения»: зав. кафедрой ПЛА профессор Лев Моисеевич Куршин, старший преподаватель Нина Александровна Ивановская (позднее Голипад) и ассистент, выпускник НГУ Валерий Григорьевич Шорохов.

В этом же 1969 году были отобраны студенты самолетостроительного факультета для обучения по специальности «Динамика и прочность машин» на первый и второй курсы.

Приоритетным направлением развития кафедры ПЛА являются работы научной школы «Статическая и динамическая прочность, устойчивость, разрушение авиационных и машиностроительных конструкций», основанная профессором Л. М. Куршиным, которая занимает одно из лидирующих положений в нашей стране в области науки об авиационной прочности.

Особенно следует остановиться на основателе кафедры ПЛА д.т.н., профессоре Куршине Льве Моисеевиче.

После окончания в 1949 году Новосибирского института военных инженеров железнодорожного транспорта (факультет «Мосты и тоннели») он был направлен на работу в Сибирский научно-исследовательский институт авиации (СибНИА), где проработал в разное время в должности инженера, старшего инженера, ведущего инженера и начальника



отдела. В 1955 году поступил в очную аспирантуру Института механики АН СССР в Москве, которую успешно окончил и в 1958 году защитил кандидатскую диссертацию. Вернулся в СибНИА, где работал в должности начальника сектора тепловой прочности.

В 1964 году защитил в объединенном Совете СО АН СССР диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Для окружающих его учеников и сотрудников совершенно очевидно – Лев Моисеевич Куршин был центром научной школы, школы не только со своим кругом научных идей и достижений, но и со своими этическими представлениями и правилами.

Его достижения как ученого не умещаются в его двухстах работах. Несколько человек обязаны ему блестящей научной карьерой, в основе которой – развитие одной-двух идей, предложенных Учителем после весьма тщательного анализа, вплоть до выяснения тонкостей математического аппарата.

Трехслойные конструкции, задачи ползучести и устойчивости, пластины с вырезами и подкреплениями, применение функций комплексного переменного в теории упругости – неполный перечень его научных

интересов. И сверх этого – «подарки» друзьям и сотрудниками, пригодные для фундамента целых разделов науки.

Научная и образовательная работа, проводимая на кафедре, осуществлялась при постоянном взаимодействии со специалистами научных школ МАИ, МЭИ и КАИ аналогичного направления.



Огромное внимание Л. М. Куршин уделял не только структуре и плану подготовки студентов по специальности «Динамика и прочность машин», но и содержанию курсов. Л. М. Куршин лично сам подготовил и несколько лет читал различные курсы: от теории упругости до строительной механики самолета. Он был сторонником физико-технической системы подготовки: к преподаванию большей части курсов привлекались специалисты-практики из СибНИА. В частности, в области математических дисциплин к разработке курсов привлекались профессора И. Д. Суздальницкий, А. И. Чудновский, Л. А. Фильш-

тинский, в области механики – профессора Л. Э. Брюккер, И. Г. Колкер, А. Д. Лисунов, Ю. В. Немировский, в области экспериментальных исследований – профессора А. Н. Серьезнов, Б. П. Филимонов, В. Л. Присекин. Особенно следует отметить одного из самых близких научных коллег Л. М. Куршина профессора Р. Е. Лампера, специалиста в области динамики конструкций. Вместе со своими учениками Р. Е. Лампер внес весомый вклад в разработку методики расчета продольных колебаний тонкостенных топливных баков – важной задачи, которая решается при исследовании устойчивости ракеты-носителя с жидкостным ракетным двигателем. Это был крупный теоретик-динамик и великолепный программист. Как известно, первые программы для ЭВМ писались в машинных кодах. Рассказывают, что программы Лампера шли без отладки, сразу. Следует отметить его умение так красиво писать формулы, что ему тотчас же пытались подражать все его ученики.

В 1970 году кафедра набрала 50 студентов первого курса. В этом же году был объявлен набор в аспирантуру. После защиты дипломных проектов по специальности «Самолетостроение» К. А. Матве-

ев и Н. В. Пустовой поступили в аспирантуру кафедры ПЛА по специальности "Прочность летательных аппаратов". Аспиранты-очники обязаны были посещать все лекции по профилю кафедры ПЛА и сдавать аспирантские экзамены. В итоге за три года аспирантуры было сдано не менее десяти экзаменов. К преподавательской работе аспирантов начали привлекать где-то на третьем году аспирантуры.

Во все времена на кафедре работали половина сотрудников из отрасли, вторая половина сотрудников кафедры ПЛА – молодые выпускники, которые повышали квалификацию в аспирантуре.



В настоящее время научную школу и кафедру ПЛА (с 1981г.) возглавляет д.т.н., профессор, член национального комитета по теоретической и прикладной механике РАН, заслуженный деятель науки России, лауреат Государственной премии в области образования, председатель совета ректоров Сибирского федерального округа и Новосибирской области, президент

Новосибирского государственного технического университета Николай Васильевич Пустовой.

Много сил и организационного таланта в дальнейшее развитие кафедры ПЛА вложил декан ССФ Смирнов Борис Константинович. Он буквально «пробивал» и набор на специальность «ДПМ», и оборудование ВТ лабораторий, и, главное, – создание в 1974 году «Отраслевой научно-исследовательской лаборатории прочности авиационных конструкций» ССФ. Научным руководителем лаборатории назначается д.т.н., профессор Л. М. Куршин, а его замом – к.т.н., доцент Б. К. Смирнов.

В этой лаборатории прошли испытания на ресурс перспективные спортивные самолеты, вертолеты и подвесные изделия. Многие студенты старших курсов работали в этой лаборатории и стали настоящими авиационными специалистами.

Научный потенциал коллектива позволяет решать широкий класс задач прочности, устойчивости и надежности элементов конструкций современной авиационно-космической техники. Большое значение имеет сотрудничество с авиационными предприятиями и институтами СО РАН. Для выполнения научных работ привлекаются как известные специалисты в области механики, так и аспиранты, студенты (бакалаврская и магистерская подготовка), обучающиеся на кафедре и проявляющие интерес к научной деятельности и выбранной профессии. Одной из

важнейших целей является подготовка молодых сотрудников к участию в научно-преподавательской работе.

Результаты исследований предназначены как для практического внедрения в НИИ и КБ авиационно-космической техники, так и для использования в учебно-образовательном процессе на факультете летательных аппаратов. Научные исследования, проводимые специалистами, используются в курсовых и дипломных работах студентов. Итогом отдельных исследований являются кандидатские и докторские диссертации.

Основной целью проводимых исследований кафедры являются создание комплексного теоретико-экспериментального подхода к решению широкого класса задач прочности, устойчивости и надежности элементов конструкций современной авиационно-космической техники и машиностроения. Для этого привлекаются как известные специалисты в области механики, входящие в состав научно-образовательного центра «Прикладная механика», так и аспиранты, магистры, инженеры и бакалавры, обучающиеся на факультете летательных аппаратов.

За 50 лет существования кафедры ПЛА выпущено более 1000 специалистов в области прочности. Защищено 15 докторских и 23 кандидатских диссертаций.



Многие годы на кафедре ПЛА активно занимались научной и педагогической деятельностью 11 докторов наук: В. К. Белов, В. А. Бернс, В.Е. Левин, М.А. Леган, К.А. Матвеев, Ю.В. Немировский, И.П. Олегин, В. Л. Присекин, Н. В. Пустовой, Г. И. Расторгуев, Е. Г. Подружин), 6 кандидатов наук (А. И. Белоусов, Т. Б. Гоцелюк, Д. А. Красноруцкий, Д. В. Моховнев, А. Н. Пель, А. А. Поздеев), ученый секретарь кафедры Е. Н. Белоусова, секретарь Н. В. Семехина, зав. лабораториями С. В. Дон-

ских. Всем можно выразить благодарность за преданность кафедре ПЛА!

Основные научно-прикладные разработки научной школы:

- комплекс прикладных программ по исследованию динамики, прочности и живучести элементов конструкций авиационно-космической техники;

- математические модели взаимодействия непрерывной деформируемой среды с дискретными структурами;

- алгоритмы проектирования и конструирования металлических и композиционных изделий с учетом статической и динамической прочности, жесткости и устойчивости;

- методы и алгоритмы оптимизационных расчетов надежности, долговечности и материалоемкости разрабатываемых проектов сооружений, машин и приборов;

- пакет прикладных программ по расчету динамических характеристик продольных колебаний РН с ЖРД.

С 1994 года кафедра «Прочность летательных аппаратов» выпускает бакалавров, инженеров и магистров по направлению «Прикладная механика» со специализацией в области прочности.

В рамках реализации инновационной образовательной программы, реализованной в НГТУ (2006-2008), терминальные классы кафедры ПЛА стали классами факультета летательных аппаратов и вошли в единую компьютерную сеть НГТУ.

Межфакультетская лаборатория сопротивления материалов оснащена современным испытательным оборудованием фирм Instron и LDS.

Учеными кафедры ПЛА в 2006-2008 годах выполнены работы по гранту «Разработка численно-аналитических методов исследования динамики, прочности и живучести конструкций авиационно-космической техники». Результаты исследований, проведенных в рамках этого гранта, содержатся в 6 научно-исследовательских отчетах, 32 научных публикациях, докладывались на 6 всероссийских и международных конференциях и внедрены в СибНИА для исследования процессов разрушения авиаконструкций и прогнозирования остаточной прочности и ОАО ЭлСИБ для анализа НДС проектируемых и находящихся в производстве роторов электрогенераторов, а также в практику проектирования ОАО «Сибэлектротерм».

Разработана программа изучения конечно элементного пакета ANSYS, адаптированная для практического применения в соответствии с профессиональной инженерной деятельностью специалистов в области авиа-и машиностроения.

На кафедре ПЛА НГТУ впервые среди вузов г. Новосибирска было поставлено обучение методам трехмерного моделирования. Накопленный опыт профессионального использования конечно-элементных пакетов для 3D моделирования с последующим расчетом и оптимизацией конструкции позволяет решать задачи:

- исследования процессов разрушения авиаконструкций и прогнозирования остаточной прочности (современные работы с СибНИИА);
- анализа НДС проектируемых конструкций (договорные работы по заказу ОАО «Сибэлектротерм»).

Разработаны математические модели управления современными стендами для натуральных испытаний авиационных конструкций. Апробация этих моделей проводится в СибНИИА на самолете SUPER-JET и ТУ-204.

Проведены фундаментальные исследования по созданию новых критериев прочности, учитывающих специфику работы новых материалов (совместно с ИГиЛ СО РАН).

По заказу ОАО ЭлСИБ проведено обучение специалистов предприятия современным прикладным методам прочностных расчетов с применением программных комплексов.

По результатам проведенных научных исследований скоординированы учебные планы всех стадий подготовки специалистов, в том числе магистерские и аспирантские программы, в частности, по следующим курсам: «Механика композиционных материалов», «Механика разрушения», «Оптимизация конструкций», «Спец. разделы механики деформируемого твердого тела», «Спец. разделы теории пластичности».

В период структурной реорганизации НГТУ укрупнялись не только факультеты, но и кафедры. В частности, в сентябре 2013 года кафедра ПЛА объединилась с кафедрой "Теоретическая механика и сопротивление материалов" (ТМиСМ). В наш коллектив вошли д.т.н., профессора В. Г. Атапин, Г. С. Юрьев, Г. А. Куриленко, А. М. Красюк и к.т.н., доценты Н. В. Крамаренко, А. И. Родионов, А. А. Рыков.

Научные направления кафедры определяются спецификой научной школы «Статическая и динамическая прочность, устойчивость, разрушение авиационных и машиностроительных конструкций», созданной профессором Львом Моисеевичем Куршиным, которую в настоящее время возглавляет его ученик профессор Николай Васильевич Пустовой. Можно выделить следующие направления:

- исследование прочности, устойчивости и малых послекритических деформаций элементов конструкций при комбинированном нагружении;

- оптимизация тонкостенных подкрепленных конструкций на основе минимизации энергии деформации;
- численно-аналитические методы исследования концентрации напряжений в элементах конструкций при пространственном напряженном состоянии;
- развитие вариационных методов исследования устойчивости анизотропных пластин и панелей при термосиловом нагружении;
- применение методов конечных и граничных элементов в динамике конструкций летательных аппаратов;
- виброзащита элементов конструкций и объектов.

В разное время на кафедре ПЛА работали
 Куршин Лев Моисеевич – основатель кафедры ПЛА
 Лампер Роберт Ефимович
 Брюккер Леонид Эдуардович
 Колкер Иосиф Григорьевич
 Лисунов Александр Дмитриевич
 Насонкин Игорь Михайлович
 Суздальницкий Иосиф Давидович
 Чудновский Александр Иосифович
 Фильштинский Леонид Аншелович
 Серьезнов Алексей Николаевич
 Филимонов Борис Петрович
 Шорохов Валерий Григорьевич
 Голипад-Ивановская Нина Александровна
 Юнгерман Наум Моисеевич
 Путинцева Александра Поликарповна
 Кофман Михаил Меерович
 Крамаренко Николай Владимирович
 Дятченко Михаил Ефимович
 Клюй Анатолий Иванович
 Борисевич Петр Фридрихович
 Федоров Игорь Викторович
 Алексеев Игорь Михайлович
 Шандаров Леонид Гаврилович
 Бражников Михаил Васильевич
 Венедиктов Виктор Федорович
 Кудрявцев Борис Михайлович
 Темников Анатолий Иванович
 Нигирич Юрий Борисович
 Присекин Виктор Леонтьевич

СОТРУДНИКИ КАФЕДРЫ ПЛА



*Пустовой
Николай Ва-
сильевич,*
заведующий
кафедрой,
профессор,
д.т.н.



*Левин
Владимир Евге-
ньевич,*
профессор, д.т.н



*Расторгуев
Геннадий Ива-
нович,*
первый прорек-
тор НГТУ,
профессор, д.т.н.



*Матвеев Кон-
стантин
Александрович,*
профессор,
д.т.н.



*Белусова
Елена Нико-
лаевна,*
ученый секре-
тарь кафедры



*Немировский
Юрий Владими-
рович,*
профессор, д.ф.-
м.н.,
главный научный
сотрудник
ИТПМ СО РАН



*Леган
Михаил Анто-
нович,*
старший науч-
ный
сотрудник
ИГиЛ СО РАН,
профессор,
д.т.н.,



*Подружин
Евгений Гераси-
мович,*
профессор,
д.т.н.



*Бернс
Владимир Ан-
дреевич,*
профессор,
д.т.н.



*Атапин
Владимир Григо-
рьевич,*
профессор, д.т.н.



*Куриленко
Георгий Алексе-
евич, профессор,
д.т.н.*



*Олегин
Игорь Павлович,*
профессор,
д.т.н.



*Белоусов
Анатолий
Иванович,*
доцент, к.т.н.



*Пель
Александр Нико-
лаевич,*
доцент, к.т.н.



*Крамаренко
Николай Влади-
мирович,*
доцент, к.т.н.



*Моховнев
Дмитрий Вла-
димирович,*
доцент, к.ф.-
м.н.



*Рыков Анато-
лий Аркадьё-
вич,*
доцент, к.т.н.



*Родионов
Андрей Иванович,*
доцент, к.т.н.



*Гоцелюк
Татьяна Бори-
совна,*
доцент, к.т.н.



*Красноруцкий
Дмитрий Алек-
сандрович,*
доцент, к.т.н.



*Поздеев Алек-
сандр Аль-
фредович,*
доцент, к.ф.-
м.н.



*Донских
Сергей Василье-
вич,*
зав. лабораторией



*Семехина
Нэлли Василье-
вна,*
ст. лаборант



*Голубев
Антон Олегович,*
ст. преп.



*Косых
Павел Владими-
рович,
ст. преп.,
к.т.н.*



*Жуков
Егор Павлович,
ассистент, к.т.н.*



*Кожевников
Алексей Никола-
евич,
ассистент*



*Фёдорова
Наталья Вита-
льевна,
ассистент*



*Маленкова
Валерия Вита-
льевна,
ассистент*



*Бурнышева
Татьяна Вита-
льевна,
профессор, д.т.н.*

ВОСПОМИНАНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ И ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ

ВСПОМИНАЕТ В. Е. ЛЕВИН



РОБЕРТ ЕФИМОВИЧ ЛАМПЕР (1931–2004)

ЛАМПЕР Роберт Ефимович, заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прочности летательных аппаратов НГТУ, ученый секретарь и главный научный сотрудник Сибирского научно-исследовательского института авиации им. С.А. Чаплыгина, родился 30 ноября 1931 года. Умер 8 декабря 2004 года.



Роберт Ефимович был ученым с большой буквы. Талантливый выпускник подмосковной средней школы г. Загорска (золотая медаль), победитель московских олимпиад по математике и физике, он поступил в Московский физико-технический институт на факультет летательной техники (первый набор). Тогда там преподавали П.Л. Капица, Л.Д. Ландау и другие крупные ученые. Особенностью физтеховской подготовки являлось раннее привлечение студентов к научной работе. Так Роберт

Ефимович попал в ЦАГИ.

Дипломную работу Р.Е.Лампер делал в винтовом отделе ЦАГИ. После окончания МФТИ он приехал в Новосибирск в СибНИИА. Кандидатская диссертация была им защищена в 1963 году (тематика – флаттер), докторская – в 1973 году (тематика – динамика сосудов с жидкостью).

С 1970 года начал преподавательскую деятельность на самолётострои-

тельном факультете НЭТИ. С 1980 года – профессор кафедры прочности летательных аппаратов НГТУ.

Лампер Р.Е. внес весомый вклад в разработку методики расчета продольных колебаний тонкостенных топливных баков – важной задачи, которая решается при исследовании устойчивости ракеты-носителя с жидкостным ракетным двигателем. Это был крупный теоретик-динамик и великолепный программист. Как известно, первые программы для ЭВМ писались в машинных кодах. Рассказывают, что программы Лампера шли без отладки, сразу. Следует отметить его умение так красиво писать формулы, что ему тотчас же пытались подражать все его ученики.

В свое время в СибНИИА в лаборатории динамической прочности по его инициативе был создан отдел трубопроводных систем, разработаны оригинальные методики контроля за состоянием самолётных трубопроводов.

Мы знали его как очень эрудированного, общительного и азартного человека. С ним можно было говорить на любую тему. Даже если он предупреждал, что он не специалист в каком-то вопросе, после нескольких минут беседы он улавливал самую суть вопроса и делал выводы, которые поражали точностью формулировок.

Если он шел за грибами – он становился непревзойденным грибником, если он занимался строительством, то также вникал в самую сердцевину вопроса. Построенная его руками дача простоят не одно десятилетие. Если он рассказывал о том, как приготовить котлеты, то после рассказа у слушателя появлялся волчий аппетит (известен случай с А.Я. Александровым).

Очень яркий, эмоциональный он любил играть в быстрые шахматы и делал это глубоко профессионально. Когда он приезжал в ЦАГИ, то обычно обыгрывал в шахматы все 19-е отделение. В СибНИИА во время острых шахматных боев с И.М. Насонкиным порой начинали летать пирожки. Как то на дипломное проектирование к нему попал студент-прочник, имеющий первый разряд по шахматам. Студент оказался упорным шахматистом. Все многочисленные консультации Роберта Ефимовича начинались и заканчивались шахматными партиями.

В 1950-х годах в СибНИИА собралась хорошая команда прекрасных специалистов, молодых людей, которые плодотворно работали в науке : Л.М. Куршин, А.Я. Александров, Л.Э. Брюккер, Р.Е. Лампер. Про них ходили легенды, в которых в превосходных тонах говорилось об очень высоком профессионализме каждого и тонком чувстве юмора. Роберт Ефимович был большим ценителем творчества И. Ильфа, Е. Петрова, Я. Гашека

Лампер Р.Е. бессменный организатор и вдохновитель восьми симпозиумов по колебаниям упругих конструкций с жидкостью, редактор всех изданных трудов этих симпозиумов (порядка 800 страниц), автор трех монографий по вопросам флаттера и теории колебаний. Очень тщательный и дотошный он всегда и везде докапывался до самой сути вопроса. Он был членом трех советов по защите диссертаций.

У него была удивительная способность выявлять халтуру во всех ее многогранных проявлениях. Он ее очень четко чувствовал и не переносил органически. Непросто приходилось тому человеку, который в таком виде попадался к нему «под горячую руку». Теперь его с нами нет. Каким мы его знали, ценили и уважали, таким он и останется в наших сердцах.

В. Е. Левин,
*профессор кафедры
ПЛА, д. т. н*

ВСПОМИНАЕТ И. П. ОЛЕГИН



ЛЕОНИД ЭДУАРДОВИЧ БРЮККЕР (1912–1999)



БРЮККЕР Леонид Эдуардович родился в 1912 году в семье московских интеллигентов. Его достаточно долгая жизнь и непростая судьба тесно переплетены с историей нашей страны на протяжении почти всего прошлого века. Если ретроспективно проследить его жизненный путь, то это будет выглядеть примерно так. Окончил семь классов, поступил

работать на текстильную фабрику учеником слесаря, вступил в комсомол, проявил организаторские способности и лидерские качества, за что в 18 лет и был направлен на коллективизацию в деревню. Затем снова работал слесарем на заводе и в 1932 году был направлен на четвертый курс рабфака, получать в 20 лет среднее образование, что по нынешним меркам довольно поздно. После окончания рабфака начался новый этап его жизни. В 1933 году Леонид Эдуардович был принят на работу техником-конструктором в ГИРД (группа изучения реактивного движения), созданную и возглавляемую творцом отечественной космонавтики Сергеем Павловичем Королевым. Участвовал в создании и запусках первых экспериментальных ракет. За участие в их создании был награжден Федерацией космонавтики медалью им. Ю.А. Гагарина и двумя медалями им. С.П. Королева. Затем он был направлен учиться в дирижаблестроительный институт. Параллельно с учебой в институте работал в конструкторской бригаде военно-научного комитета Осоавиахима, где участвовал в расчете на прочность ракетной установки, двухступенчатой ракеты Р-3 и в испытаниях первого в Советском Союзе ракетного глоссера. Окончив с отличием институт, Леонид Эдуардович поступил работать на московский завод «Каучук», где его и застала Великая Отечественная война. Знания, приобретенные в дирижаблестроительном институте, позволили ему сконструировать аэростат заграждения, который был принят на вооружение Красной Армией. Во многом благодаря этому аэростату, небо над Москвой и другими городами было защищено от нападения вражеской авиации. Эта работа Леонида Эдуардовича была отмечена правительственной наградой. В конце войны Леонид Эдуардович переехал в Новосибирск, где вначале работал инженером-расчетчиком в отделе прочности завода им. В.П. Чкалова, а затем, почти 35 лет, его судьба была связана с Сибирским научно-исследовательским институтом авиации им. С.А. Чаплыгина. В этом институте началась настоящая научная деятельность Л.Э. Брюккера.

Теоретические основы расчета трехслойных панелей впервые в мире были разработаны в Советском Союзе и именно в СибНИИА. У истоков этих разработок стояли механики-прочности мирового уровня, возглавляемые А.Я. Александровым. В 1947 были предложены приближенные методы расчета трехслойных плит, автором одного из вариантов этих методов был Л.Э. Брюккер. Однако для оценки точности этих методов требовались точные решения. Одно из таких решений, а именно решение задачи изгиба трехслойных анизотропных плит с толстым наполнителем, впервые было получено Л.Э. Брюккером в 1948 году методами теории упругости. Следует отметить, что этот результат он получил всего после двух лет работы в СибНИИА в новой для него области. В дальнейшем

основное направление научной деятельности Л.Э. было связано с расчетом трехслойных панелей, широко используемых в современной авиации. По этой тематике в 1956 году была защищена кандидатская диссертация. Научные труды Л.Э. Брюккера в хорошо известны. Достаточно упомянуть ставшую классической монографию «Расчет трехслойных панелей», соавтором которой наряду с основоположниками методов расчета трехслойных пластин и оболочек А.Я. Александровым, Л.М. Куршиным и А.П. Прусаковым был Л.Э. Брюккер. Будучи старшим среди них по возрасту, Леонид Эдуардович считал себя их учеником, что не мешало сохранять этим людям теплые и дружеские отношения на протяжении всей их жизни. Следует отметить также участие Леонида Эдуардовича в создании первого в Советском Союзе руководства по расчету трехслойных панелей и оболочек, а также авторство почти семидесяти научных работ. Параллельно с работой в СибНИИА Леонид Эдуардович занимался по совместительству преподавательской деятельностью, вначале в авиационном техникуме, а затем до конца жизни в НЭТИ (НГТУ) на кафедре «Прочность летательных аппаратов», где он в 1985 году получил звание профессора. Будучи неординарным и высоко эрудированным человеком Леонид Эдуардович стал блестящим лектором, сочетающим в себе творческий подход к преподаваемым дисциплинам, высокую требовательность и одновременно неизменную доброжелательность к студентам. Воспитав не одно поколение студентов, он остался в их памяти одним из немногих преподавателей, несущих не только знания, но и формирующих отношение к жизни и окружающему миру.

Наряду с основной научно-преподавательской деятельностью Леонид Эдуардович вел огромную общественно-просветительскую работу. Начиная с 1949 года и почти до конца жизни он был лектором общества «Знание», с присущим ему энтузиазмом популяризируя труды К.Э. Циолковского, деятельность С.П. Королева и достижения науки и техники в области ракетостроения, свидетелем и участником которых он был сам.

Те, кому посчастливилось общаться с Леонидом Эдуардовичем в неформальной обстановке, навсегда покорены его неистощимым юмором и редким обаянием, неизменно превращающим его в центр общения для окружающих. Его афоризмы, анекдоты, истории из его богатой событиями жизни до сих пор с улыбкой вспоминаются учениками и коллегами, относящимися к нему по-разному, но неизменно с глубоким уважением.

ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ

Оглянувшись назад, я с удивлением заметил, что почти вся моя сознательная и несознательная жизнь какими-то причудливо переплетенными нитями была связана с факультетом. Впервые я узнал о существовании самолётостроительного ф-та, примерно, через год после его основания, когда мой старший товарищ по двору, Сережа Чеботарев, с гордостью сообщил мне, что поступил на самый «крутой» факультет в НЭТИ (правда, таких слов тогда не было, но на нынешнем языке это звучало бы именно так). Два года я со школярским интересом и завистью слушал его рассказы о недоступных моему разуму науках и фантастических перспективах, которые откроются перед теми немногими, кто эти науки постигнет, а когда пришло время поступать в вуз, я понял, что в числе этих избранных мне никогда не бывать, и поступил в университет. В течение этих же двух лет я постоянно видел, как через наш двор проходил мой старший товарищ-студент Сережа со своими важными однокурсниками, среди которых я хорошо запомнил одного, ставшего впоследствии заведующим кафедрой самолётостроения. Это был В. С. Белоусов, с которым мы одновременно пришли на факультет: он с завода им. Чкалова, а я из СибНИИА, и вот уже почти 25 лет нас связывают профессиональные и близкие дружеские отношения, закаленные самыми экстремальными жизненными ситуациями.

В восьмом классе к нам в школу пришел новый ученик, а так как я вскоре перешел в другую школу, то мы в силу мимолетности общения друг друга не очень и запомнили. Однако много лет спустя, поступив работать на кафедру ПЛА, я в первые же дни столкнулся в коридоре с человеком, очень похожим на того новичка-восьмиклассника, это был именно он – Юра Дьяченко. Он тоже меня идентифицировал и рассказал, что после школы поступил в НЭТИ на специальность МОЛА, окончил институт и остался на кафедре (теперь уже, по-видимому, навсегда). Но из его рассказа я узнал еще об одном пересечении моей жизненной тропы с факультетом. В одной группе с ним учились два студента, оказавшихся моими бывшими одноклассниками в новой для меня школе. Это были два Володи – Акулов и Кореньков. К сожалению, первый из них рано ушел из жизни, а второй, закончив институт, работал на кафедре МОЛА и в дальнейшем занимал руководящие должности на предприятиях, связанных со специальностью, приобретенной им на факультете. А Юрий Васильевич Дьяченко прошел на кафедре МОЛА путь от студента до доктора наук и заведующего кафедрой. Мне особенно приятно отметить, что и с этим завкафедрой у меня самые теплые отношения, не в последнюю очередь связанные с далеким прошлым и

общим многолетним увлечением водно-моторным туризмом и всем, что с этим связано.

На пятом курсе университета я попал на преддипломную практику в СибНИИА в отдел Леонида Эдуардовича Брюккера, где проработал целых 15 лет, давших мне счастливую возможность быть знакомым и работать вместе не только с уникальными учеными, но людьми, диапазон интересов которых далеко выходил за рамки профессиональных. Поскольку речь идет о факультете, то я решил упомянуть только тех, кто в той или иной мере связан с этой темой. Леонид Эдуардович работал в СибНИИА практически со дня основания этого института и одновременно с научной работой занимался преподавательской деятельностью – сначала в авиационном техникуме, а затем до конца жизни в НЭТИ на факультете самолётостроения, запомнившись многим поколениям студентов, как один из самых самобытных лекторов, наводивший почти тельный страх на самых ответных разгильдяев. От него я получил первые уроки ответственного подхода к профессии. Несмотря на многолетнюю преподавательскую деятельность, каждый раз перед тем как идти на лекцию, которую он читал бесчисленное множество раз, Леонида Эдуардовича сосредоточенно готовился к предстоящей встрече со студентами. И это повторялось до последней его лекции, о чем свидетельствуют черновики лекций, датированные с присущей ему педантичностью, о которой в СибНИИА ходили легенды. Несмотря на большое количество невзгод и испытаний, которые ему пришлось пережить, Л.Э. всегда излучал неиссякаемый оптимизм и жизнелюбие, крепко замешанные на неистощимом чувстве юмора. Благодаря этому он всегда был душой любой компании и неизменным тамадой официальных и неофициальных застолий.

Я думал, что знал его много лет, но оказалось, что он знал меня еще больше. И тут я хочу вспомнить забавную историю, которую часто рассказывал Леонид Эдуардович. Если в достоверности изложенных в ней событий и могут быть сомнения, основанные на безудержной фантазии Л.Э., то сам факт ее изложения может быть подтвержден моими коллегами по кафедре, неоднократно слышавшими ее в изложении Л.Э. Где-то в начале 1950-х годов, когда я еще находился в предшкольном состоянии, Л.Э., будучи близким приятелем моего родного дяди, пришел вместе с ним и большой сопровождающей компанией к нам домой после первомайской демонстрации. И в ходе веселого застолья Л.Э. между провозглашаемыми им тостами за светлое будущее постоянно поглаживал под столом колено соседки по столу. Но это была не простая соседка, а хорошо известная в городе заслуженная артистка РСФСР, которая на застольное ухаживание кандидата технических наук никак не реаги-

ровала по той простой причине, что вместо ее колена объектом ухода была моя лысая голова. Впоследствии это породило у меня некоторое тщеславие, позволяющее мне туманно намекать малознакомым мне людям о принадлежности к миру театрального искусства.

Леонид Эдуардович был номинальным начальником отдела в СибНИИА, а фактически всеми научными работами в отделе руководил А.Я. Александров, механик мирового уровня, а другим отделом руководил механик того же масштаба, близкий друг Л.Э. и А.Я. – основатель кафедры ПЛА Л.М. Куршин. Лев Моисеевич задолго до основания кафедры преподавал на факультете и его первыми учениками были самолетчики, которых он привел в СибНИИА и которых я узнал по выступлениям на НТС. Среди них я особенно запомнил В.Т. Щербакова и А.И. Темникова. Первый стал д.т.н., специалистом в области механики композиционных материалов, а второй после защиты кандидатской диссертации и многих лет работы в СибНИИА стал продолжать дело своего учителя – передавать свой богатый научный опыт новым поколениям прочнистов. Позднее в СибНИИА пришла целая плеяда выпускников кафедры Л.М. Куршина, занявших впоследствии руководящие должности по ведущим научным направлениям в СибНИИА и во многом определивших научный уровень исследований. Мои личные общения с Львом Моисеевичем были мимолетны и ограничивались общением на научно-техническом совете отделения прочности, председателем которого он был. Тем не менее мне навсегда запомнилась его доброжелательность по отношению к молодым сотрудникам и вместе с тем нетерпимость к малейшим проявлениям халтуры в науке, а его научная эрудиция и исключительная интуиция позволяли ему быстро вникать в самый широкий круг проблем, связанных с механикой прочности и предлагать их оригинальные решения. Эти качества во многом способствовали формированию его учеников, которые, как мне известно, испытывают постоянную и искреннюю благодарность к учителю.

Из ученых старшего относительно моего возраста у меня были наиболее близкие отношения с Л.А. Фильштинским, с которым я работал в одном отделе. Он был, наряду с докторами технических наук и профессорами кафедры ПЛА В.Л. Присекиным и Р.Е. Лампером, учеником известного механика Л.И. Григолюка, вместе с которым написал широко цитируемую в работах, связанных с механикой композиционных материалов, монографию «Перфорированные пластины и оболочки». Будучи человеком общительным, Л.А. пригласил меня, молодого младшего инженера, провести вместе отпуск в путешествии по Хакасии, во время которого я получил счастливую возможность достаточно близко узнать этого неординарного человека. Кроме приятного общения со

своими спутниками, в этой поездке я пополнил свой довольно скромный, как оказалось, университетский математический багаж новыми знаниями, почерпнутыми из импровизированных спецкурсов по различным областям математики, изящно и непринужденно изложенных Леонидом Аншеловичем у костра, в зале ожидания вокзала, в общем вагоне и других мало приспособленных для чтения лекций местах. Лекторский талант, замешанный на блестящей математической эрудиции, и поныне единодушно отмечают все, кто слушал лекции Л.А., и среди них большая часть нынешних сотрудников кафедры ПЛА, учившихся когда-то на самолётостроительном факультете. У Л.А. было много учеников, но, пожалуй, самым состоявшимся, в широком смысле этого слова, является нынешний зав. кафедрой инженерной математики, д.т.н., профессор, а также почетный член нескольких российских академий В.Н. Максименко. С Вениамином Николаевичем мы почти одновременно пришли работать в СибНИИА в отдел Л.Э. Брюккера и проработали там много лет, по прошествии которых наши пути пересеклись на ФЛА.

*И.П. Олегин
профессор кафедры ПЛА, д. т. н*

ВСПОМИНАЕТ К. А. МАТВЕЕВ



Здесь я хочу поделиться некоторыми воспоминаниями как студент ССФ, аспирант, а затем и преподаватель кафедры «Прочность летательных аппаратов» ССФ–ФЛА.

Конкурс при поступлении на факультет № 5 НЭТИ – ССФ в 1965 году был примерно пять человек на место. Сдавать пришлось пять экзаменов: математика (письменно и устно), физика, химия, русский (сочинение). Прием был 100 человек на дневное отделение, кстати, только на

бюджетной основе. Я попал в группу С-53. На сентябрь иногородние первокурсники были отправлены на «сельхозработы», местные – работали на объектах НЭТИ. Наша бригада (студенты из разных групп) кидала гравий, асфальтировала дорожки напротив второго корпуса НЭТИ. Сам корпус был за забором – его строили заключенные. Основная часть учебных занятий проходила в учебном корпусе завода им. В.П. Чкалова (ул. Ползунова). «Городские» и «общежитские» студенты, конечно, жили по-разному. На более или менее «полноценную» жизнь стипендии никогда не хватало. Студенты подрабатывали – на разовых или постоянных (!) работах. Летом популярными были стройотряды или просто «дикие» бригады. Помнится, что неплохо мы заработали и во время практики на заводе – копали траншеи, крыли битумом крышу цеха (высоко!).

Я помню мне нравилось, как все преподаватели проводят лекционные и практические занятия. Лев Моисеевич Куршин начал читать свои лекции по строительной механике самолета на третьем курсе. Великолпно вела практические занятия по этой дисциплине Нина Александровна Ивановская (Голипад).

На одной из лекций Лев Моисеевич пригласил желающих заниматься у него научно-исследовательской работой. Я решил сходить на эту встречу. Лев Моисеевич спросил, какие задачи меня интересуют. Я ответил, что мне интересна постановка задач и вариационное исчисление. Весной я выступал на студенческой научно-технической конференции. Тема доклада была примерно такой: «Применение вариационных методов для решения задач изгиба консольных пластин». Дипломный проект был на тему: «Изгиб консольных пластин». По результатам этой работы мы написали статью в научный вестник НИИЖТа, я выступил на научном семинаре в СибНИИА. Завязалась дискуссия об особенностях поведения решения задачи в угловых точка , но я не был участником обсуждения. Лев Моисеевич предложил мне после защиты дипломного проекта поступить к нему в очную аспирантуру. Летом 1970 года, после защиты дипломного проекта и двух месяцев армейских сборов мы (я и Николай Васильевич Пустовой) поступили в аспирантуру к Льву Моисеевичу Куршину. К тому времени, осенью 1969 года, на ССФ была образована кафедра «Прочность летательных аппаратов». К работе на кафедре Лев Моисеевич привлек ведущих научных сотрудников СибНИИА...

К преподавательской работе мы начали привлекаться где-то на третьем курсе аспирантуры. Как-то так получилось, что я был назначен проводить практические занятия по курсу «Математическая физика». Читал этот курс выдающийся лектор и крупный специалист Леонид

Аншелович Фильштинский. Но вскоре он уехал заведовать кафедрой в г. Сумы (Украина), а мне пришлось взвалить весь курс на себя – и лекции, и практические занятия...

Я с глубоким уважением отношусь к Вениамину Николаевичу Максименко. Мы познакомились с ним в девятом классе 10-й средней школы. Затем наши пути разошлись, встретились мы после того, как он, окончив НГУ, был направлен на работу в СибНИИА.

Кандидатские диссертации мы с Николаем Васильевичем Пустовым защищали в один день – в декабре 1974 года...

Вскоре, в качестве общественной нагрузки, меня назначили заместителем декана по НИРС. В те годы студенческие научно-технические конференции были весьма популярны. На пленарных заседаниях часто с блестящими докладами выступал профессор Юрий Владимирович Немировский...

Тяжелые времена на кафедре начались в 1980 году – тяжело заболел Лев Моисеевич Куршин. 5 марта 1981 года он скончался. Лев Моисеевич позаботился и о том, чтобы и без него кафедра не оказалась без достойного и уважаемого лидера. Заведующим кафедрой ПЛА был избран Николай Васильевич Пустовой.

Нельзя не вспомнить время начала перестройки. Молодежь начала уходить с преподавательской работы. Предприятия переставали брать студентов на практику. Обедали на кафедре: варили сосиски или пельмени, денег на столовые не было, да и столовые куда-то исчезли. Мы, четверо преподавателей ФЛА, около года подрабатывали ночными сторожами в частном обувном магазине. Мой бывший дипломник Александр Юрьевич Ефремов, желая по-видимому помочь, приглашал меня на работу к себе завскладом. Грузчик на рынке получал втрое больше преподавателя. И это – после советских-то времен.

Однако ситуация в НГТУ была не самой худшей. Уважаемый и обожаемый Роберт Ефимович Лампер говорил, что мы «жируем, а вон в СибНИИА по полгода зарплату не выдают!»...

В заключение этих коротких и не всегда последовательных воспоминаний я все же хочу сказать главное: я очень благодарен всем своим студентам и особенно моим дипломникам. Желаю Вам здоровья, счастья, терпения и удачи!

*К.А. Матвеев,
профессор кафедры
ПЛА, д. т. н.*

ВСПОМИНАЕТ Т. Б. ГОЦЕЛЮК



Одним из самых загадочных и непонятных предметов в годы учебы в институте для меня, да, пожалуй, и для большинства моих одногруппников, была аналитическая механика. К сдаче экзамена мы подошли ответственно, но имеющиеся в наличии лекции не очень помогали нам. Для успешного завершения курса нам срочно требовалась «волшебная» книга Гантмахера «Курс лекций по аналитической механике». Достать ее было невероятно сложно. Мы учились в то время, когда в учебный процесс компьютерные технологии только входили и достать электронную версию не представлялось возможным. В университетской библиотеке эта книга была только в читальном зале и только в двух экземплярах. Для более глубокого изучения предмета нам приходилось уговаривать библиотекарей дать нам ее на ночь. И как обычно на ночь перед экзаменом были оставлены самые непонятные и сложные вопросы. Практически вся группа собралась в общежитии. Изучение предмета шло полным ходом с бурными обсуждениями и спорами. Уже ближе к утру мы приступили к изучению принципа Гаусса–Остроградского. Пробираясь через дебри формул, уже практически засыпая, мы подходили к развязке. Последняя математическая операция, мы перелистываем страницу и над формулой видим надпись предыдущих поколений, сделанную красными чернилами: «Дай бог вам выжить потомки!» Именно в тот момент пришло понимание того, что экзамен мы точно сдадим.

*Т.Б. Гоцелюк
доцент кафедры ПЛА, к. т. н.*

ВСПОМИНАЕТ Е. ТЮКАЛОВ



МЫ БЫЛИ ПЕРВЫМИ

В далеком 1969 году на базе самолётостроительного факультета НЭТИ была создана кафедра прочности летательных аппаратов. Первая группа студентов по новой специальности формировалась в основном из студентов-самолётчиков, окончивших первый курс. Прямого набора студентов по специальности новой кафедры еще не было. Группа была обозначена как С-85, потому что на самолётостроительном факультете курс состоял из четырех групп. Формирование шло на добровольной основе. Несколько человек пришли в группу из других вузов. В процессе обучения максимальный состав группы составлял 18 студентов. К моменту выпуска осталось 16. Их стоит назвать поименно: Анатолий Белоусов, Николай Большешапов, Татьяна Гречишникова, Михаил Грингауз, Владимир Долгих, Валентина Ерохина, Виктор Игнатов, Василий Колесников, Георгий Олешко, Сергей Петров, Лидия Пирятинская, Олег Ревякин, Лариса Сивашова, Виктор Скворцов, Анатолий Черпаков и автор этих строк Егор Тюкалов. Мы прослушали курсы теории упругости, оболочек, строительной механики, сопромата, теории колебаний, аналитической механики, ТФКП, функционального анализа, спецкурсы теории флаттера и шимми.

Лекции нам читали легендарные личности: первый заведующий кафедрой Лев Моисеевич Куршин, Роберт Ефимович Лампер, Леонид Эдуардович Брюккер, к сожалению, ушедшие уже из жизни, а также

ныне здравствующий основатель школы механиков в г. Сумы выдающийся ученый Леонид Аншелович Фильштинский. По узким вопросам лекции читали также специалисты из СибНИИА: Виктор Леонтьевич Присекин, Юрий Ильич Мазутский, Иосиф Григорьевич Колкер, Игорь Михайлович Насонкин.

Мы были первым выпуском кафедры прочности летательных аппаратов в 1973 году по специальности 0527 «Динамика и прочность машин» с квалификацией инженер-механик. После защиты дипломов мы были распределены на заводы и институты в пределах города Новосибирска. Первоначальное распределение прошло в соответствии с полученной специальностью.

Отработав положенных три года, часть наших выпускников отправилась покорять профессиональные вершины «по душе». Лариса Сивашова и Анатолий Черпаков, создав семью, отправились в Казахстан на свою малую родину. Олег Ревякин ушел в МВД, прошел командировку в Афганистане, дослужился до звания генерал-майора, уволился, сейчас официально на пенсии, но работает. Сергей Петров, покинув СибНИИА, ушел на 32-й почтовый ящик. Татьяна Гречишникова уехала в Иркутск, занялась преподавательской деятельностью в вузе. Владимир Долгих отправился вместе с Л.А. Фильштинским в г. Сумы создавать школу механиков. Миша Грингауз с родителями уехал на историческую родину предков. Валентина Ерохина вышла замуж, сейчас живет в г. Туле, Виктор Скворцов, поработав после СибНИИА на вертолёторемонтном заводе, перешел на работу в мэрию г. Новосибирска. Николай Большешапов – на ЗАО «КОРС». Виктор Игнатов дослужил до полковника ФСБ...

В заключение можно сказать – весь наш первый выпуск не затерялся в круговерти исторических событий со страной, в которой мы учились.

*Егор Тюкалов,
староста группы
С-85*

ВСПОМИНАЕТ Б. В. СКВОРЦОВ



На самолётостроительный факультет НЭТИ я поступил в 1976 году сразу же после окончания средней школы.

В последних числах августа наш поток впервые собрался в актовом зале НЭТИ, и на сцену вышел декан ССФ Борис Константинович Смирнов:

— Я буду действовать как коварный змей-искуситель и для начала дам стипендии всем без исключения первокурсникам. Кроме того, группа, которая сдаст после окончания семестра экзамены без единого завала, так же вся получит стипендии, несмотря ни на какие тройки. Но помните, вы обязаны не только посещать все занятия, но и каждый день работать самостоятельно не менее четырёх часов! — заявил он.

Затем нам было предложено ознакомиться со списками новоиспечённых студентов. Моя фамилия значилась в группе «С-63», и я заинтересовался, кто же наш староста. Оказалось, что деканат назначил старостой меня.

Каждый день начинался с переклички, и в журнале группы мною отмечались отсутствующие на занятиях студенты. Многократное повторение списка привело к тому, что я и сейчас, пожалуй, смогу его достаточно точно воспроизвести: “Бабенко, Бойкин, Беседин, Ветрогонов, Глебов, Добровольский, Зинченко, Иванов, Ильин, Катаев, Князев В., Князев Ю., Колпак, Пискарёв, Плешков, Плотников, Рогов, Рочева, Савельева, Скворцов, Харзин, Хвоина, Чепукова, Чумаченко, Юндалов, Буровлёва, Рубан”. Последние двое из этих двадцати семи появились позже, поэтому выбились из алфавитного порядка. Не пропустил ли я кого-нибудь? Вроде нет, но если всё же пропустил, то приношу свои извинения.

С приходом в НЭТИ у меня началась совершенно иная, чем прежде жизнь. Неотъемлемой частью этой жизни стали альпинистские тренировки, сборы, восхождения, горные походы! Дело в том, что, будучи школьником, я зачитывался книгами Григория Федосеева, ощущая при этом жгучий интерес к горным, таёжным приключениям и мечтая о них.

Привычка учиться на пятёрки поначалу заставила меня забыть о своих грёзах. Но постепенно всё утряслось, вошло в привычную колею, и вот однажды, проходя по коридору одного из учебных корпусов, я обратил внимание на стенгазету турклуба НЭТИ. Заворожено смотрел на суровые заснеженные вершины на больших чёрно-белых фотоснимках, с удивлением читая, что по этим горам прошли самые обыкновенные студенты, такие как, например, я...

На втором курсе кроме всего прочего началась военная подготовка. Из нас готовили офицеров запаса войск ПВО страны. Возобновились тренировки в альпсекции, и тут же выяснилось, что где-то на высоком уровне приняты драконовские меры против альпинизма: отменены альпинистские сборы и всякая самодеятельность, остаётся единственная возможность повышать альпинистскую квалификацию — в базовых лагерях и только в летний период.

5 мая 1978 года мы, шестнадцать студентов НЭТИ, под руководством кандидата в мастера спорта Александра Михайловича Филиппова радостно покидали Новосибирск, отправляясь в поход по Алтаю. Летом нам предстояло работать инструкторами туризма в спортлагере НЭТИ «Эрлагол» и водить по горам таких же студентов. Поход планировался на десять дней...

Спасатели нашли нас через двадцать два дня, 27 мая, на дне Чебдарского ущелья, в стороне от маршрута, с трудом разглядев знак бедствия с вертолётки, так глубоко мы засели. После гибели в каменной ловушке четверокурсника Андрея Изотова руководитель, отправив тройку парней за помощью, принял решение стоять и дожидаться спасателей...

Чрезвычайное происшествие потрясло весь институт... Но удивительно, пожалуй, другое. Произшедшая трагедия не смогла отбить у оставшихся в живых туристов охоту ходить по горам...

Учёба была запущена основательно, и возмущены этим обстоятельством были в основном преподаватели военной кафедры, которые безжалостно экзаменовали нас по всем пунктам программы и элементам материальной части. В моей зачётной книжке впервые появилась изрядно расстроившая меня отметка “удовлетворительно”, то бишь тройка, проставленная подполковником Косолаповым скорее из принципиальных соображений, нежели из-за моего слабого знания предмета...

Гражданские преподаватели в отличие от своих военных коллег отнеслись к пережившим трагедию участникам похода с огромным сочувствием, предложив составить индивидуальные графики погашения задолженности по предметам, а часть экзаменов перенести на осень без потери стипендии. При этом кто-то получил от профкома матпомощь,

кто-то пугёвку в профилакторий, но происходило это как-то выборочно и бессистемно.

По окончании второго курса для студентов было обязательным участие в летнем строительном отряде, и кто-то сумел устроиться на весьма денежные “рыбные” места: в Магадан, на Камчатку, на Сахалин. Филиппову удалось доказать ректорату, что инструктора в «Эрлаголе» также необходимы, как и бойцы в стройотрядах. Зарплаты нам не причиталось, но обеспечивалось бесплатное проживание и питание на всё время работы в лагере. Ну и ладно! Отдыхающие платят деньги за пугёвки, а мы так...

Можно сказать, что всё время моей студенческой жизни делилось на походы и промежутки между ними, в которые вполне успешно впрысывался учебный процесс, научная работа и традиционные студенческие мероприятия, такие, как конкурс «Солист с гитарой», КВНы, коллоквиумы, олимпиады, различные конкурсы.

На третьем курсе я впервые познакомился с электронно-вычислительной машиной. ЭВМ «Наири-К» вместо дисплея имела автоматическую электронную пишущую машинку, которая однажды здорово напугала юного экскурсанта-школьника. Второклассник хотел украдкой нажать на клавишу, а машинка как затарахтит сама, распечатывая результат какой-то задачи! Если «Наири-К» не могла справиться с заданием, то печатала: “наири-дура”, если же программист делал грубые ошибки, то машина выбивала одно слово: “балда”!

На четвёртом курсе появилась большая машина «ЕС-1022», на которой я работал при помощи перфокарт. Потом по настоянию научного руководителя Николая Владимировича Крамаренко я выступил с собственным докладом на всесоюзной научно-технической конференции студентов в Перми, и в сборнике трудов этой конференции появилась моя первая в жизни печатная работа.

Студенческая жизнь не была бы столь насыщенной, если бы не одно обстоятельство — проживание в общежитии. Сначала я, как и другие студенты ССФ поселились в общежитии № 5 коридорного типа с комнатами, в которых жило по четыре человека и удобствами по краям коридоров на каждом этаже. Женские и мужские этажи разделялись.

В это же время заканчивалось строительство более комфортабельного общежития № 6, в обустройстве которого нам, будущим его жильцам, довелось принять участие. В то время, когда другие студенты были отправлены на уборку урожая в колхозы и совхозы Новосибирской области, наш поток под руководством вечно подвыпившего прораба устанавливал сантехнику: канализационные стояки, так называемые гребёнки, а также патрубки, муфты, переходники и прочее. Установка унита-

зов и раковин досталась уже следующим бригадам, зато мы научились грамотно чеканить сантехнические швы...

С третьего курса мы, наконец, поселились в уютной “шестёрке”. В блоке с общим умывальником и туалетом имелось две комнаты: одна для трёх, другая для четырёх человек. И каких только историй не приключалось в общежитии! Не успел я поселиться в трёхместной комнате на девятом этаже, как с оглушительным пинком в дверь ко мне в комнату влетела премиленькая первокурсница:

— Жизнь дала трещину! — вызывающе объявила она, и вдруг поняв, что ошиблась номером, с диким визгом вылетела назад в коридор. Ошарашенный я зачем-то кинулся за ней, но та, словно растворилась в воздухе, в коридоре не было ни души.

— Это что! — отреагировал на мой рассказ о дневном происшествии зашедший вечером коллега по турклубу с радиотехнического факультета, — Заходим мы вчера за снаряжом в первую общагу к Кунгурцеву, а нам говорят, подождите мол, он в подвале, там у нас душ, скоро поможет да придёт. Ждём целый час, а его всё нет! Поясняют, он там стирает обычно, подождите ещё малость. Ещё час прошёл, да что такое, так и нет его! Потопали было к нему в подвал, да тут прибегает парень из соседней комнаты: “Витя просит принести ему какую-нибудь одежду, он увлёкся и всё постирал!” Вот так-то.

Новый год мы отмечали, как правило большой походной компанией. И вот 31 декабря 1980 года сидим, за разговором строгаем салаты и вдруг слышим: за стенкой началась дикая перебранка с вкраплением девичьих возгласов. А произошло следующее. В соседнем блоке народ скинулся к Новому году и купил на базаре здоровенного гуся. Висит гусь за форточкой, холодильника не требует, так как минус тридцать градусов на улице, ну а часиков этак в восемь вечера кто-то из жильцов комнаты говорит двухметровому волейболисту Денису, которому выпало быть дежурным в этот день:

— Ну что, доставай нашего страуса, пока разморозим, уже и старый год провожать можно будет!

Тот полез да и уронил гуся с девятого этажа на тротуар. Лифт к тому времени отключили, так что рванул Дениска сначала через весь этаж к лестнице, потом вниз, на улицу, потом ему вокруг всего здоровенного здания ещё обежать пришлось, а гуся-то уже и нет! Видать кто-то из редких прохожих свидетелем того бескрылого падения был да и ухитил птицу. Злой-презлой влетает дежурный назад в общежитие, бежит вверх по лестницам, и ошибается этажом. Вместо девятьсот четырнадцатой врывается он в восемьсот четырнадцатую комнату, где девчата пельмени стряпают, с истошным воплем:

— А вот тра-та-та-та вам, а не гуся!!!

Барышни, конечно, от неожиданности подскочили и в крик, а Денис уразумев, что не туда попал, что-то ещё такое напоследок отмочил в сердцах, что девчонки вслед за ним наверх рванули. Тут и началось...

Имел место и случай, в чём-то противоположный упомянутому. Где-то к зиме 1981 года появился в студгородке каток, который каждый вечер кишмя кишел обитателями общежитий, гоняющих на коньках. Даже я, хоть и ощущал себя коровой на льду, порой надевал коньки и что-то там изображал. И вот одна барышня, накатавшись до изнеможения, переобулась и в самом прекрасном расположении духа двинулась в свою “шестёрку”. Очки у неё в тепле запотели, и она проехала свой этаж, угонив на наш девятый. Подобно Денису, дамочка ошиблась комнатой. Добрый, но немного циничный парень Гриня сидел при свете настольной лампы у чертёжной доски и сосредоточенно клепал курсовой проект. Тут заходит эта барышня, рот до ушей, и ничего не видя, но решив, что она дома: нараспев этак выдаёт:

— Наката-а-алась! Теперь бы и тра-та-та-та... с морозцу!

Удивленный Гриня возражать не стал. Он поднял голову и, пожав плечами, моментально согласился:

— Ну давай!

Девуцу как током прошило. Она швырнула коньками в Гриню, тот еле увернулся, и стремглав вылетела в коридор. Где незадачливый ловелас её только не искал!

— Девушка! Хотя бы коньки свои заберите! — тщетно сотрясал он воздух, блуждая по коридорам общежития. Потом огорчённо вздохнув, вернулся в своё обиталище и написал на куске ватмана объявление: «Кто оставил в 912 комнате коньки — просьба срочно забрать!». По рассказам очевидцев эта записка провисела на вахте общежития полтора года, хозяйка коньков так и не отыскалась...

Находились в общежитии и свои умельцы-изобретатели. Вот один пример. Были у нас в ходу самодельные нагреватели воды: берёшь два лезвия для бритвы, расщепляешь вдоль напополам спичку для обеспечения необходимого зазора между лезвиями, перематываешь это ниткой, и нагреватель готов. Остаётся присоединить к лезвиям два провода и, опустив незатейливое устройство в банку с водой, вставить свободные концы проводов в электророзетку. Вода, не будучи дистиллированной, быстро закипает.

Серёжа засёк как-то раз время закипания и решил данный прибор усовершенствовать. Какое-то время он варьировал зазором, менял лезвия, и вот на свет родился нагреватель «П-2», который доводил тот же объём воды до кипения существенно быстрее прежнего. На этом Сергей

не остановился. Следующий его нагреватель «П-3» работал ещё быстрее, при этом в комнате слегка тускнело освещение, а из банки отчётливо слышался нехороший зуммер. С «П-4» не повезло, он сгорел сразу после включения, и тогда рационализатор заменил бритвенные лезвия какими-то другими тоненькими пластинками, как он выразился, с примесью осмистого иридия, который раньше добавляли в нити электролампочек, которые в результате служили, можно сказать, вечно. “Вот теперь не сгорит!” — убеждённо заявил мастер.

После того, как «П-5» был включен в розетку, свет в комнате померк, и раздались страшные, как в фильме ужасов, нарастающие звуки “ву-ву-ву-ву-ву-уу-уу”. Стены затряслись, и громыхнуло так, будто фугас взорвался. Вся общага на какое-то время лишилась электричества. Когда свет включили, оказалось, что у Сергея слегка закопчёны лоб, щёки и почему-то ногти на руках, а глаза смотрят в переносицу. При этом едва приползший с гулянки мертвецки пьяный миниатюрный Костик уже не дрых на своей кровати, а сидел совершенно трезвый на корточках в углу комнаты, тараща глаза в потолок и пытаясь что-то проблеять. Через неделю по общежитию поползли тревожные слухи о том, что Сергей собрался испытывать новый супермощный нагреватель для воды «П-6»...

Из педагогов первого курса мне больше других запомнились двое: добрейший души человек доцент математики Владимир Ефимович Кац, очень чётко, простым языком раскрывающий сложнейшие темы и которому я зачастую сдавал экзамен без подготовки, и старший преподаватель математики Светлана Аркадьевна Жук, которая вела у нас практические занятия. Объясняя очередную тему она в дополнение к словам изображала её и мимикой лица, жестах рук, а также педалированием ступнями невидимых рычагов. Так она растолковывала, например, сущность производной от функции.

С третьего года обучения в НЭТИ по военной подготовке курсовым офицером нашего взвода стал повоевавший во Вьетнаме во время американской агрессии подполковник Болярский. Это при нём мы принимали присягу на сборах в техдивизионе под Барнаулом. Спокойный, интеллигентный Виктор Николаевич Болярский явно выделялся среди своих коллег и никогда не повышал на студентов голос. В то же время в нём чувствовались уверенность, сила и тонкий юмор.

Проучился я на самолётостроительном факультете НЭТИ не пять, а целых шесть лет. Дело в том, что окончив третий курс самолётостроительного отделения, заскучал я по любимой математике и, поразмыслив, перевёлся с потерей года на отделение прочности летательных аппаратов, где математических дисциплин хватало. Потерял четвёртую часть

стипендии (военные прочнистам не доплачивали), зато учиться стало интереснее, ну и, конечно, походил я ещё по горам, продлил студенческую жизнь, а в приложении к диплому у меня значилась куча дополнительных дисциплин...

Во время учёбы на отделении прочности среди других преподавателей выделялся доцент Пустовой. Николай Васильевич настолько культурно и корректно общался со студентами, в том числе и на экзаменах, так вежливо и умело мог, когда это было необходимо, одёрнуть, не унижая достоинства другого человека, а также тонко пошутить, что буквально был любимцем студентов.

К своему стыду всех педагогов не упомяну, но считаю должным упомянуть ещё о двух незаурядных личностях. Бывший главный инженер Новосибирского инструментального завода профессор Андрей Ильич Герт вёл предмет «Организация, планирование и управление производством», сокращённо — ОПУП, не требовал присутствия студентов на своих лекциях и даже не проверял у старосты журнал. Но народ с превеликим удовольствием (редкий случай!) шёл на эти лекции, настолько жизненны и нестандартны они были! На его экзамене можно было заглядывать в книги, конспекты, обращаться с вопросами к соседям и даже выходить в библиотеку, но после дополнительных вопросов экзаменатора порой и круглые отличники ошеломлённые уходили с «неудом» в зачётной книжке и пониманием того, что профессор прав. Как подлинный учёный Герт учил мыслить, а не заучивать материал!

Контр-адмирал в отставке, доктор наук Георгий Сергеевич Мигиренко читал у нас лекции по теоретической механике. После посещения его занятий я мог не готовиться к предстоящему экзамену, так как весь учебный материал оказывался уже надёжно усвоен мною, настолько психологически точно было подано каждое слово преподавателя. Свои лекции профессор Мигиренко щедро перемежал рассказами о своей бурной жизни, всяческими байками и уморительными анекдотами, но был уж чрезмерно либерален к студентам на экзаменах. Бывало, вся группа у него сдавала экзамен без троек, в том числе и отпетые двоечники, кандидаты на отчисление из института.

Но вот наступила пора защиты дипломных проектов. Около учебного корпуса на улице Ползунова под огромной берёзой, растущей прямо из бетонного крыльца, группа студентов последнего курса пела под гитару песню о родном факультете:

Я за пять кратких лет
Полобил факультет.
На пороге стою,
Но другие придут.

Жаль, что скоро уйдём
И покинем тот дом,
Где берёзы в бетоне растут.



Всего лишь в нескольких сотнях метров отсюда с аэродрома завода имени Чкалова с оглушительным рёвом один за другим взлетали новенькие самолёты «Су-24». Эти маневренные машины были созданы в том числе руками выпускников ССФ НЭТИ.

В синем небе пройдёт
Первый мой самолёт,
Прочертив над землёй
Свой заветный маршрут.
Покачает крылом,
Он увидев тот дом,
Где в бетоне берёзы растут.

Пришёл и мой черёд защищать дипломный проект. Случилось так, что текстовая часть работы заняла у меня двойной объём за счёт большого количества компьютерных распечаток-приложений, плакатов тоже было немеряно. В комиссии по этому поводу посмеялись, дескать Вы, наверно, слишком увлеклись, молодой человек. Моё естественное волнение при ответах на вопросы экзаменаторов легко погасил недавно назначенный заведующим кафедрой прочности доцент Пустовой:

— Извините, пожалуйста, повторите ответ на последний вопрос, я прослушал...

Да на тот вопрос я мог не только отвечать часами, но и сам читать лекции!

Вечером в общаге, как и положено, я на двух огромных, позаимствованных у девушек с восьмого этажа, сковородках, нажарил картошки,

купил булку хлеба, килограмм варёной колбасы, консервов, ещё чего-то да бутылку водки на семерых человек, и мы устроили своего рода “мальчишник”. С плеч свалилась привычная тяжесть, было радостно и немного грустно. Засиделись мы тогда с гитарой за чаем аж до рассвета.

Наутро, готовясь сдавать нехитрый студенческий инвентарь и подписывать обходной лист, вдруг ощутил в душе ужасающую пустоту. Откуда она взялась, эта зелёная тоска? Ведь всё так прекрасно заканчивается... В смятении вышел я на улицу, прошёлся по коридорам учебных корпусов, заглянул в спорткомплекс и соседнее общежитие. Через каких-то два дня у нас должно состояться распределение и — до свиданья, НЭТИ.

30 августа 1982 года в качестве молодого специалиста я прибыл по распределению в Государственный Союзный Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени академика Сергея Алексеевича Чаплыгина и сразу же увидел среди своих коллег моих вчерашних преподавателей Александра Дмитриевича Лисунова, Роберта Ефимовича Лампера, Станислава Тиморкаевича Кашафутдинова, Вениамина Николаевича Максименко и, конечно, директора СибНИА Виталия Григорьевича Сувернева...

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ТРАНСВЕРСАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛ-КОМПОЗИТ

И.С. Белоусов

Новосибирский государственный технический университет

В данной работе представлено сравнение результатов экспериментального исследования трансверсальных соединений металл-композит с результатами конечно-элементного моделирования аналогичных соединений. Также было проведено сравнение трехмерных и двумерных конечно-элементных моделей, выполнена оценка несущей способности трансверсального соединения композитного лонжерона и металлического стыковочного узла, найдена рекомендованная область применения подобных трансверсальных соединений.

In this paper presented the comparison of experimental results of transversal connections and results of finite element modeling of the same connections. Besides there were comparison of 2D and 3D finite element models, estimating of transversal connection of composite spar with metal connection joint, and recommended application area for similar transversal connections was found.

В данной работе проведено расчетно-экспериментальное исследование образцов трансверсальных соединений металл-композит. Под трансверсальными соединениями понимается соединение композитных

деталей с металлическими посредством поперечных дискретных связей. В исследованных образцах в качестве дискретных связей использовались шипы в форме четырехгранной пирамиды.

Шипы были изготовлены как одно целое с металлическими пластинами с помощью технологии 3D печати. Далее эти металлические детали были использованы как закладные элементы при формировании композитных пакетов.

Для исследования были изготовлены и испытаны два образца трансверсальных соединений. В образце ТС-1 были использованы плоские закладные элементы в виде металлических накладок на композитную пластину, а в образце ТС-2 – клиновидный закладной элемент, заформованный внутрь композитного пакета.

Экспериментальным путем была установлена разрушающая нагрузка исследуемых соединений. Для проведения расчетного анализа напряженно-деформированного состояния были разработаны конечно-элементные модели образцов трансверсальных соединений. С помощью конечно-элементных моделей были найдены распределения осевых и перерезывающих сил по дискретным трансверсальным связям, которые позволили определить факторы, влияющие на несущую способность соединения.

Далее было проведено сравнение двумерных и трехмерных конечно-элементных моделей на предмет точности отражения напряженно-деформированного состояния трансверсальных соединений.

Так же выполнена оценка несущей способности трансверсального соединения композитного лонжерона и металлического стыковочного узла. Для этого была разработана двумерная конечно-элементная модель. Моделировалась только часть лонжерона, находящаяся вблизи соединения.

На основе расчетных оценок и полученных экспериментальных данных была найдена рекомендованная область применения трансверсальных соединений, аналогичных по конструкции исследованным соединениям.

Литература:

1. Максименко В.Н., Олегин И.П., Пустовой Н.В.; Методы расчета на прочность и жесткость элементов конструкций из композитов. – Новосибирск: Из-во НГТУ, 2015. –424 с.

2. Сироткин О.С., Гришин В.И., Литвинов В.Б.; Проектирование, расчет и технология соединений авиационной техники. – М.: Машиностроение, 206. – 331 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИТНОГО КЕССОНА ОТЕМНОЙ ЧАСТИ КРЫЛА САМОЛЁТА МВЛ

Д.В. Жучков
ФГУП «СибНИИ им. С. А. Чаплыгина»,
г. Новосибирск

Исследования статической и ресурсной прочности кессона ОЧК проводилось в обеспечении прочности крыла самолета — демонстратора СТР — 40ДТ. С этой целью был изготовлен конструктивно подобный образец кессона ОЧК, для экспериментальных исследований статической и ресурсной прочности.

The study of the static and resource strength of the OChK caisson was carried out to ensure the strength of the aircraft wing - demonstrator STR-40DT. For this purpose, a structurally similar specimen of the OChK caisson was made for experimental studies of static and resource strength.

На рисунке 1 представлен общий вид объекта испытаний. На образце не установлены носок и задние не соловые панели обшивки, которые воспринимает незначительную часть нагрузки.

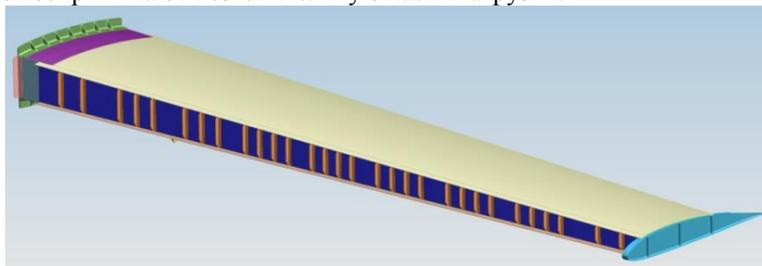


Рис. 1 — Общий вид кессона ОЧК самолета — демонстратора СТР — 40ДТ

На первом этапе образец кессона ОЧК был испытан на статическую прочность до максимальных эксплуатационных нагрузок случаев А, А', D.

Задачи статических испытаний:

- определение относительных деформаций (условных напряжений) в контрольных точках;
- определение зависимости перемещений контрольных точек кессона от нагрузки

В результате проведенных статических испытаний кессона ОЧК самолета — демонстратора СТР - 40ДТ. Подтверждена прочность конструкции при максимальной эксплуатационной нагрузке случаев А, А', D.

Результаты статических испытаний были использованы при подготовке заключения на первый вылет самолета — демонстратора СТР — 40ДТ.

На втором этапе исследования заключались в повторно-статических испытания форсированными программными блоками.

Задачи ресурсных испытаний:

- подтверждение проектного ресурса кессона ОЧК самолёта – демонстратора СТР – 40ДТ

- исследование роста технологических дефектов и расслоений в зоне регламентированных ударных повреждений.

Проведенные ресурсные испытания кессона ОЧК самолета — демонстратора СТР - 40ДТ показали, достаточное сопротивление усталости композитной части конструкции кессона. Выявленным слабым элементом в конструкции являются болт — заклепки, определен их ресурс. Были разработаны рекомендации по устранению данного недостатка конструкции.

Результаты проведенных повторно-статических испытаний представляют интерес в связи со слабой изученностью поведения силовых натуральных композитных конструкций крыла при циклических нагрузках и могут рассматриваться как научный задел для разработки перспективных конструкций.

В докладе представлены схемы нагружения, конструкции стендов, данные по тензометрии и перемещениям конструкции.

Литература

1. МАП, 1972 г. Инструкция по проведению лабораторных и стендовых испытаний на прочность опытных и серийных самолетов и гидро-самолетов.

2. МИ 02.01-2000 г. СибНИА. Методика статических и усталостных испытаний натуральных авиационных конструкций.

3. ГОСТ Р 8.568 Аттестация испытательного оборудования.

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ САМОЛЁТОВ НА ЖЁСТКИХ ОПОРАХ

Э.А. Занина, В.А. Бернс, П.А. Лакиза
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zanina.elya@yandex.ru

Расчётные динамические модели разрабатываются на этапе проектирования ЛА и сопровождают его экспериментальные исследования, а также опытную и серийную эксплуатацию. Расчётной моделью ЛА является модель свободной динамической системы, однако её коррекция проводится по результатам наземных испытаний на подвеске малой жёсткости, либо на шасси со сниженным давлением в пневматиках. И тот и другой способ испытаний имеют существенные недостатки. Предлагается использовать при наземных модальных испытаниях самолёта жёсткие опоры, по результатам этих испытаний провести коррекцию расчётной динамической модели, а затем освободить её методом, предложенным в [3].

The present paper present a method of rigid support modal tests. At present modal tests are carried out on a suspension of low stiffness or on a chassis with reduced pressure. These methods have significant flaws.

The paper considers validation of finite element model and changes made to a dynamically similar model for further testing and updating of modified according to a dynamically similar model.

1. Введение

Расчётные динамические модели необходимы для оценки эксплуатационной нагруженности, прочности, управляемости и аэроупругой устойчивости летательного аппарата (ЛА). Они разрабатываются на этапе проектирования ЛА и сопровождают его экспериментальные исследования, а также опытную и серийную эксплуатацию. Расчётной моделью ЛА является модель свободной динамической системы, однако её коррекция проводится по результатам наземных испытаний на подвеске малой жёсткости, либо на шасси со сниженным давлением в пневматиках до 0,7 от номинального [2]. И тот и другой способ испытаний имеют существенные недостатки. Испытания на подвеске являются достаточно дорогими, поскольку для каждого веса и типа самолёта необходима своя подвеска. Шасси является существенно нелинейной конструкцией в отличие от всего самолёта, вследствие этого полученные при таких испытаниях частоты существенно зависят от амплитуд, теряется симметрия форм колебаний и т.д. [1]. Предлагается использовать при наземных модальных испытаниях самолёта жёсткие опоры, такие как гидроподъёмники и винтовые гидроподъёмники и т.д. По результатам этих испытаний провести коррекцию расчётной динамической модели, а затем освободить её методом, предложенным в [3].

2. Верификация КЭМ и изменение ДПМ

Для проведения модальных испытаний была выбрана динамически-подобная модель (ДПМ) самолёта ТУ 334 (рис. 1).



Рис. 1 – Изменённая ДПМ самолёта ТУ334

В качестве основы для конечно-элементной модели (КЭМ) в ANSYS была использована расчётная модель самолёта ТУ 334. Конечно-элементная модель имеет 410 элементов, 445 узлов, состоит из элементов типа Beam188, Mass21 и MPC184 и имеет 3276 уравнений.

Была выполнена верификация КЭМ по расчётной модели. В Таблице 1 приведены первые 30 частот свободной КЭМ и расчётной модели.

Таблица 1 — Сравнение частот расчётной модели и КЭМ

Номера то- нов собственных колебаний	Частоты собственных колебаний, Гц		Различие, %
	КЭМ	Расчётная модель	
7	2.638	2.605	1.25581
8	3.343	3.304	1.175897
9	4.346	4.293	1.241105
10	4.834	4.753	1.706874
11	6.216	6.082	2.20238
12	6.804	6.754	0.741562
13	7.163	7.114	0.683582
14	7.675	7.506	2.248481
15	8.087	7.988	1.235557
16	8.643	8.49	1.801234
17	8.697	8.614	0.96541
18	11.120	10.955	1.510569
19	13.594	13.4	1.450331
20	14.196	13.996	1.428592
21	15.082	14.865	1.456472
22	15.174	14.958	1.442419

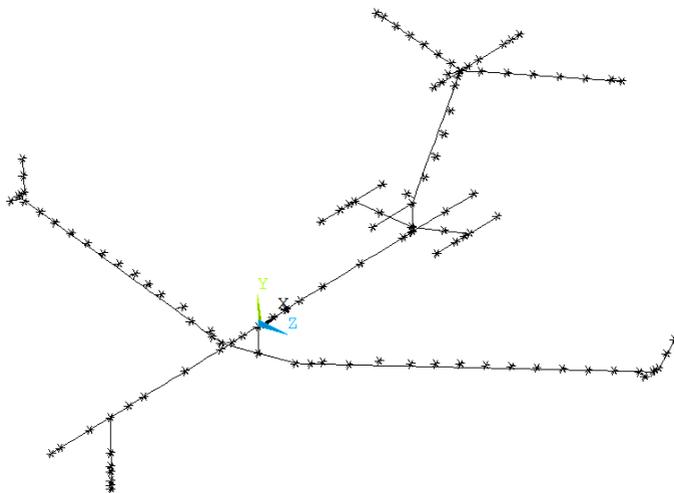


Рисунок 2 — КЭМ самолёта в Ansys

Проведены изменения ДПМ. Крыло смещено на 230,5 мм вверх и на 213,7 мм вперёд по полёту. Из отсеков крыла были убраны грузы массами 637 г и 267 г, моделирующие массу топлива. Было изменено расположение грузов в фюзеляже. Были убраны законцовки крыла, двигатели, а также пилоны двигателей. С учётом этих изменений масса динамически-подобной модели составила 53,692 кг.

Введена опора, имитирующая переднюю стойку шасси на расстоянии 600 мм от носа фюзеляжа, обеспечивающая вращение вокруг оси Z , и основные опоры на расстоянии 550 мм от оси фюзеляжа вдоль лонжерона крыла, обеспечивающие перемещения в плоскости XOZ и поворот вокруг оси Y .

3. Выводы

Создана КЭМ на основе расчётной модели самолёта ТУ 334. Проведена её верификация. Проведены изменения ДПМ. В дальнейшем планируется внести изменения в расчётную модель в соответствии с ДПМ, построить на основе измененной расчётной модели КЭМ, провести её коррекцию по результатам испытаний ДПМ и освободить методом, предложенным в [3]. Полученные таким образом результаты можно будет сравнить с результатами испытаний ДПМ на подвеске малой жёсткости и сделать выводы о возможности модельных испытаний ЛА на жёстких опорах.

Литература:

1. Хейлен Вард. Модальный анализ: теория и испытания / Вард Хейлен, Стефан Ламменс, Пол Сас. – М.: ООО «Новатест», 2010. – 319 с.
2. Экспериментальный модальный анализ летательных аппаратов: учебник / В.А. Бернс, А.В. Долгополов, Е.П. Жуков, В.Н. Лушин, Д.А. Маринин. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – 160 с.
3. Красноруцкий Д.А., Бернс В.А., Лакиза П.А., Левин В.Е. Метод освобождения динамической расчётной модели летательного аппарата// Известия Самарского научного центра РАН. 2019. Том 21. № 1. С. 37-44.

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ
НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИН
ОТ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ, ГЕОМЕТРИИ
И УКЛАДКИ СЛОЁВ**

И.А. Зыбарев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zybarev.2014@stud.nstu.ru**

В данной работе была исследована зависимость критического потока сил при потере устойчивости для типовой клетки от геометрии, укладки слоев, содержащие одинаково ориентированы слои, а так же от укладки, которые имели разное процентное содержание слоев с ориентацией 0° , $\pm 45^\circ$ и 90° . Размеры типовой клетки: a – длина, b – ширина. Расчеты проводились методом конечных элементов в пакете Femap. В ходе всей работы использовался материал Toreyca T800. Задачи были решены для случаев, когда на типовую клетку действовали такие виды нагружения, как одноосное сжатие, двухосное сжатие и чистый сдвиг. Типовая клетка была закреплена по всей кромки с помощью шарниров. Были получены графики для каждой решенной задачи, благодаря которым можно легко оценить критический поток, зависящий от разных параметров.

In this work, we studied the dependence of the critical flux of forces upon loss of stability for a typical cell on the geometry, stacking of layers containing layers with the same orientation, and also on stacking, which had different percentages of layers with orientations of 0° , $\pm 45^\circ$, and 90° . Sizes of a typical cell: a - length, b - width. The calculations were carried out using the finite element method in the Femap package. Throughout the work, Toreyca T800 was used. The problems were solved for cases when such types of loading acted on a typical cell as uniaxial compression, biaxial compression, and shear. A typical cage was fixed along the entire edge using hinges. Graphs were obtained for each solved problem, thanks to which it is possible to easily evaluate the critical flow, depending on different parameters.

Весовое, экономическое и технологическое совершенство летательных аппаратов в настоящее время может быть достигнуто широким использованием волокнистых композиционных материалов на основе органических, углеродных или стеклянных волокон в высоконагруженных элементах самолетов и вертолетов, к примеру: горизонтальное и вертикальное оперение, включая поверхности управления (рули, закрылки, элероны), лопасти несущего и рулевого винта, воздухосборники, валы трансмиссии, крыло, щитки шасси, отсеки и панели фюзеляжа, тормозные щитки, хвостовые балки. Так же совершенство летательных аппаратов может достигаться: применением эффективного технологического процесса производства конструкции, который бы объединял процесс производства материала с производством конструкции в целом; разработкой экспериментальных и теоретических решений для создания высокоэффективных разъемных и неразъемных соединений, исходя из специфики волокнистых композиционных материалов; путем комплексного подхода к созданию практических методов проектирования и расчета с учетом анизотропных свойств композиционных материалов, технологии производства, эксплуатационных и конструктивных требований к силовым элементам; экспериментально-теоретическими исследованиями, направленными на достижение живучести и ресурса силовых композиционных авиаконструкций минимальной массы с учетом их повреждаемости при эксплуатации и производстве.

Поведение композитов является сложным из-за разнородности свойств, по сравнению с изотропными материалами. Понимание поведения композитов в условиях механической нагрузки, температуры и других факторов окружающей среды представляет собой серьезную проблему. Влияние условий эксплуатации на композитные конструкции может варьироваться от незначительной потери жесткости на микроуровне до катастрофического разрушения всей конструкции. Микроструктура композита развивается разными путями, прежде чем заметна деградация свойств. Типичные формы микромеханических сбоев включает разрушения волокна, растрескивание матрицы, разрыхление волокон/матрицы и т.д. Такие факторы как микроразрушения (обычно в матрице), неизбежны и могут быть присущи изготовленной

композитной детали. Микроразрушения могут быть результатом обработки композитов при высоких температурах (цикл отверждения) из-за различий коэффициентов теплового расширения между компонентами (волокном, матрицей). Другие формы разрушения свойств композитного материала могут быть результатом гигротермальной нагрузки и окисления.

Впервые, но очень ограниченно, композиционные материалы, как конструкционные, стали использоваться в летательных аппаратах в начале 60-х годов. По мере накопления опыта эксплуатации и экспериментальных и теоретических разработок область применения композиционных материалов расширялась. К концу 80-х годов уже широко применялись композиционные материалы в системах различных вертолетов и самолетов.

Для начала нужно сформировать расчетные нагрузки, для этого необходимо исходить из условий нагружения и условий эксплуатации, а так же из существующей нестабильности несущих свойств конструкций из композиционных материалов. Неправильным является подход, когда в одну «корзину» складываются максимальные значения нагрузок и наихудшие условия эксплуатации. К примеру, для маневренных высокоскоростных самолетов максимальные перегрузки ($n=8-9$). А, исходя из этого, и максимальные нагрузки могут быть достигнуты при дозвуковых скоростях, при которых температура конструкции не превышает температуру окружающей среды. Но в горизонтальном полете, при котором самолет может развить скорость в несколько М, перегрузка $n=1$, а температура конструкции может быть в пределах $150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$. При $M>1$ так же может измениться спектр нагружения проектируемого агрегата и характеристики композиционного материала. Поэтому расчетные нагрузки должны быть найдены при соответствующих им влажности и температуре. Статический расчет конструкции необходимо проводить, используя паспортные данные, соответствующие условиям эксплуатации.

Выполняется расчет необходимого количества слоев композиционного материала в направлениях x , $y(z)$ и под углами $+45^{\circ}$ и -45° от действия нагрузок $q_{\sigma x}^{\text{KM}}$, $q_{\sigma y(z)}^{\text{KM}}$ и $q_{\tau xy(z)}^{\text{KM}}$ (рисунок 1).

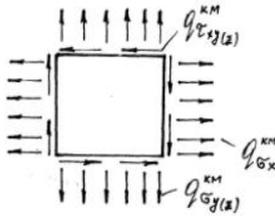


Рис.1 – Спектр нагрузок

Для этого указываются оси на поле чертежа, направления которых определяют ориентацию основы однонаправленного композиционного материала. Графически это должно выглядеть следующим образом (рисунок 2).

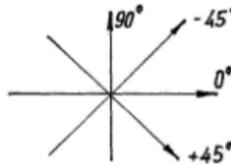


Рис.2 – Схема ориентации основы ленты

Для большинства слоев ось с направлением 0° должна совпадать с самолетными осями x , y , z или с направлением максимальной нагрузки. Так или иначе, на поле чертежа необходимо отмечать, какому направлению соответствует ось 0° . Как например, параллельно оси балки, лонжерона, строительной горизонтали, вдоль длинной стороны детали и т.д. Положительными считаются углы, отсчитанные по ходу часовой стрелки от направления 0° .

Найдем толщину композиционного материала в направлении 0° , 90° , $\pm 45^\circ$ от расчетных нагрузок по формуле (1).

$$\delta^0 = \frac{q_{\sigma x}^{KM}}{\sigma_B^0}, \quad \delta^{90} = \frac{q_{\sigma y}^{KM}}{\sigma_B^0},$$

$$\delta^{\pm 45} = \frac{q_{\tau xy}^{KM}}{\tau_{\pm 45}^0} \quad (1)$$

Вычисляем количество слоев композиционного материала с ориентацией 0° , 90° , $\pm 45^\circ$ по формуле (2).

$$n_{\text{сл}}^0 = \frac{\delta^0}{\delta^1}, \quad n_{\text{сл}}^{90} = \frac{\delta^{90}}{\delta^1},$$

$$n_{\text{сл}}^{\pm 45} = \frac{\delta^{\pm 45}}{\delta^1} \quad (2)$$

где δ^1 – толщина монослоя.

Округлим вычисленные n^0 и n^{90} до ближайшего большего числа, а $n^{\pm 45}$ до ближайшего числа, кратного 2. Полученные значения n должны дать возможность сформировать в первом приближении близкий по симметричности пакет.

Для смешанной схемы укладки, в которой применяются слои с ориентацией 0° , 90° , $\pm 45^\circ$ расчет характеристик пакета для направлений x, y $\sigma^{x,y}$ и $E^{x,y}$ при проектировочном расчете можно определить по формулам (3), предложенным Труниным Ю.П.

$$\begin{aligned} [\sigma_{B_{x,y}}^{\text{КМ}}] &= K_y^{x,y} \cdot \sigma_B^0 \text{ и } [E_{B_{x,y}}^{\text{КМ}}] \\ &= K_y^{x,y} \cdot E^0, \text{ где} \end{aligned} \quad (3)$$

σ_B^0 – предел прочности при растяжении вдоль направления 0° (вдоль основы), кг/мм²;

E^0 – модуль упругости при растяжении вдоль направления 0° , кг/мм²;

$K_y^{x,y}$ – коэффициент укладки для направлений x и y , вычисляемый по формуле (4).

$$K_y^{x,y} = \sum_{i=1}^n \frac{n_i^{x,y}}{n} \cos^4 \alpha_i, \text{ где} \quad (4)$$

n_i – количество слоев i -того угла ориентации для направлений x и y ;

n – суммарное количество слоев;

α_i – i -тый угол ориентации основы ленты по отношению к направлению действия нагрузки и для направлений x и y .

Для направления $[\tau_B]$ вычисляем по формуле (5), используя правило смеси.

$$[\tau_B] = \frac{(n_0 + n_{90})}{n} \tau_{0,90} + \frac{n_{45}}{n} \tau_{45}, \text{ где} \quad (5)$$

$\tau_{0,90}$ – предел прочности при сдвиге вдоль направлений 0° и 90° , кг/мм²

τ_{45} – предел прочности укладки $\pm 45^\circ$, определяется экспериментальным путем.

n_{90} и n_0 – количество слоев с ориентацией 90° и 0° ;

n_{45} – количество слоев с ориентацией 45° ;

n – суммарное количество слоев.

Определим суммарную толщину пакета по формуле (6).

$$\delta^{\text{KM}} = \delta^i \cdot n \quad (6)$$

δ^i – толщина монослоя.

Вычислим σ_x^{KM} , σ_y^{KM} и τ_{xy}^{KM} по формуле (7).

$$\sigma_x^{\text{KM}} = \frac{q\sigma_x^{\text{KM}}}{\delta^{\text{KM}}}; \quad \sigma_y^{\text{KM}} = \frac{q\sigma_y^{\text{KM}}}{\delta^{\text{KM}}}; \quad \tau_{xy}^{\text{KM}} = \frac{q\tau_{xy}^{\text{KM}}}{\delta^{\text{KM}}} \quad (7)$$

Для получения конструкции с минимальным весом необходимо производить расчеты с различными материалами, а отсюда следует, что брать нужно различные характеристики материала. В конце каждого расчета необходимо определить вес 1m^2 и остановить свой выбор на материале, обеспечивающий минимальный вес. Следует строго обращать внимание на технологию изготовления, чтобы она не принесла корректировки, при которых или вообще невозможно изготовить конструкцию из данного материала, или из наиболее рационального материала в результате получится конструкция тяжелее, чем из другого материала.

Проверочный расчет элементов конструкции по условиям обеспечения прочности необходимо проводить по программам с обязательным тестированием с целью проверки совпадения результатов расчетов с результатами экспериментальных исследований.

Литература:

1. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина, кн.2, - М.: Машиностроение, 1988. - 446 с.
2. Механика разрушения композиционных материалов. Т. Фудзии, М. Зако пер. с японского 113 стр.— М.: Мир, 1982. — 232с
3. Ананьин С.В., Ананьева Е.С., Маркин В.Б. Композиционные материалы. Учебное пособие. Часть 2. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. – 94 с.
4. Кристенсен Р. М. Введение в механику композитов. Пер. с англ. под.ред. Ю. М. Тарнопольского. — М.: Мир, 1982. — 334 с.

5. Болотин В. В., Новичков Ю. Н. Механика многослойных конструкций.— М.: Машиностроение, 1980. — 375 с.
6. Протасов В. Д. Механика в машиноведении композитных конструкций.— Механика композитных материалов, 1987, с. 490—493.
7. Алфутов Н. А., Зиновьев П. А., Попов Б. Г. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов. — М.: Машиностроение, 1984, — 264 с
8. Ванин Г. А. Микромеханика композиционных материалов. — Киев: Наукова думка, 1985.— 304 с.
9. Гуняев Г. М. Структура и свойства полимерных волокнистых композитов.—М.: Химия, 1981.—232 с.
10. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. — М.: МГУ, 1984. —336 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНСТРУКТОРА «ОРБИКРАФТ» В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ

Е.А. Кокорина, Т.Г. Костюченко
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
г. Томск, kokorinae@tpu.ru

В работе описывается использование комплекса полунатурного моделирования «Орбикрафт» с набором имитаторов космической среды «Терра» в образовании для школьников и студентов.

In this work presented semi-natural modeling complex «Orbicraft» with «Terra» set of space environment simulators. «Orbicraft» complex can be used in education for pupils and students.

Конструктор «Орбикрафт» вместе с набором имитаторов космической среды «Терра» является комплексом полунатурного моделирования, предназначенным для обучения школьников и студентов основам разработки, проектирования, сборки, испытаний и эксплуатации малого космического аппарата [1].

Конструктор «Орбикрафт» – это функциональная модель космического аппарата, позволяющая воссоздать движение спутника по орбите Земли с учетом освещения, магнитного поля Земли, расположения наземных измерительных пунктов и целей на поверхности. Общий вид комплекса представлен на рисунке 1. Собранный из конструктора аппарат взаимодействует с Землей по радиоканалу.

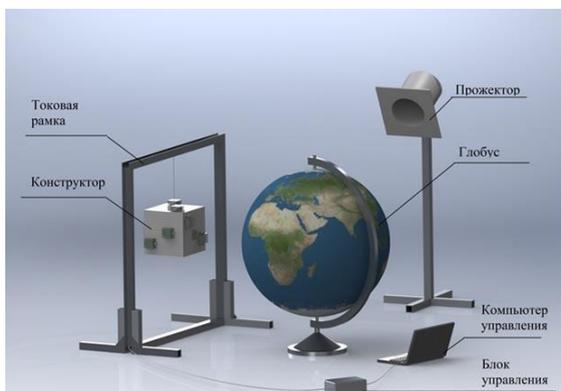


Рис. 1 – Общий вид собранного комплекса

«Орбикрафт» - набор оборудования для реализации практических целей. Он позволяет почувствовать учащимся себя в роли команды космических инженеров. Уже тысячи школьников и студентов увлеклись космосом благодаря «Орбикрафту». Наборы «Орбикрафт» используются в десятках центров дополнительного и проектного образования, в школах, колледжах и вузах. Это способ приобщения молодых людей к точным наукам и аэрокосмическому образованию.

Главная особенность комплекса заключается в следующем. Вместо разработки отдельных систем и углубления в их детальное устройство, конструктор предлагает сделать упор на системное проектирование аппарата в целом и быстрое получение результата - работающего прототипа.

Конструктор предоставляет следующие возможности:

1. Изучить системы связи и освоить передачу сообщений и фотоснимков.
2. Использовать полезную нагрузку – камеру.
3. Освоить алгоритмы ориентации и стабилизации.
4. Освоить интеграцию собственной полезной нагрузки на базе Arduino.

Для школьников этот конструктор полезен тем, что дает возможность:

- Изучить конструкцию малых космических аппаратов;
- Проектировать и моделировать конструкции в специализированных программах;

- Воссоздавать прототипы на 3D принтерах;
- Составлять программы полета малых космических аппаратов;
- Собирать и тестировать малые космические аппараты.

Новые идеи, мысли, возможности открывают перед школьниками дорогу на различные олимпиады, в которых они продолжают развивать свой потенциал.

Для студентов также актуален этот конструктор, так как он предоставляет следующие возможности:

- Проектировать корпусные и функциональные элементы малых космических аппаратов;
- Отрабатывать сборку, балансировку, тестирование космического аппарата;
- Составлять программы полёта, программировать бортовой компьютер;
- Моделировать работу подсистем космического аппарата;
- Создавать прототипы данного конструктора;
- Отрабатывать взаимодействие спутника дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с наземными комплексами управления, реализовывать ориентацию космического аппарата по Солнцу и магнитному полю, производить съемку модели Земли бортовой камерой.

Изучая данный конструктор, студенты приобретают знания, умения и первоначальные навыки, которые входят в компетенции инженера-конструктора, что позволяет им в дальнейшем работать в этой сфере на предприятиях, получать различные гранты.

Для школьников старших классов в детском технопарке «Кванториум» предлагается, например, следующее задание. Это проверка функциональности базового набора. Необходимо максимально аккуратно собрать спутник, продумать компоновку модулей так, чтобы это не противоречило их функциональности.

После проработки концепции и сборки, ребятам необходимо отладить работу системы электропитания (СЭП), бортового вычислительного модуля (БКУ), датчиков угловой скорости, магнитного поля и вспомогательных модулей.

Задача школьников продемонстрировать функциональность модулей, путем запуска тестовых программ. После этого собирается единый код, демонстрирующий функциональность модулей.

В конечном счете должна получиться программа, которая по запросу из сервисной консоли веб-интерфейса опрашивает мо-

дуль и выдает его текущий статус (в работе он или нет) и если он в работе, то выводит его основные характерные параметры.

Таким образом, использование конструктора «Орбикрафт» в образовательных целях дает первичные навыки работы с конструктором для выполнения реальных задач по управлению прототипом спутника.

Литература

1. <http://www.orbicraft.sputnix.ru/doku.php?id=start>

МЕТОД КОРРЕКЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

П.А. Лакиза, Д.А. Красноруцкий
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, qinterfly@gmail.com

Разрабатываемый метод заключается в коррекции математических моделей, полученных путем конечно-элементного моделирования, по заданным собственным частотам.

The method, which is currently under development, is aimed to model updating of mathematical models obtained by finite-element modelling for given eigenfrequencies.

1. Введение

Целью корректировки конечно-элементной модели (КЭ-модели) является устранение ошибок моделирования, связанных с упрощением геометрической структуры, идеализированными соединениями [1] и неточностями задания физических свойств материалов [2]. Под корректировкой понимается изменение динамических свойств модели таким образом, чтобы несколько низших частот собственных колебаний скорректированной модели были близки с заданной степенью точности к целевым значениям этих частот, найденным, например, экспериментально. Предполагается, что скорректированные таким образом математические модели более точны в описании реального динамического поведения соответствующих им конструкций.

2. Коррекция моделей

Система уравнений собственных колебаний КЭ-модели некоторой конструкции может быть представлена в следующем виде:

$$KX + M\ddot{X} = 0, \quad (1)$$

где K – матрица жесткости, M – матрица масс, X – вектор длиной n , содержащий степени свободы модели.

Предполагается, что матрица масс при конечно-элементном моделировании определяется точно, поэтому для коррекции динамических свойств КЭ-модели будем вносить корректирующие коэффициенты только в матрицу жесткости. В основе такого подхода лежит виртуальное масштабирование каждой степени свободы со своим корректирующим коэффициентом, что позволяет учесть влияние масштабирования каждой степени свободы на все уравнения движения и сохранить симметрию матрицы.

Пусть, в результате решения обобщенной проблемы (1), имеется $s \ll n$ тонов собственных колебаний, представленных собственными частотами $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_s$ и формами колебаний $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s$.

На каждой итерации предлагаемого метода находим:

$$f_i = \Phi_i^T K \Phi - \omega_i^2 \Phi_i^T M \Phi, \quad i = 1, 2, \dots, s, \quad (2)$$

где ω_i – целевые частоты собственных колебаний, определенные из эксперимента. Решение недоопределенной системы (2) сводится к решению задачи минимизации целевой функции, за которую принимаем сумму квадратов всех уравнений (2):

$$F(c) = \sum_{i=1}^s w_i f_i^2(c) + w_c \sum_{i=1}^s c_i^2 \rightarrow \min_c, \quad (3)$$

где w_i, w_c – весовые коэффициенты.

После решения (3) находим решение обобщенной проблемы (1) с измененной матрицей жесткости K , которая строится на основе исходной матрицы с помощью коэффициентов c_i , найденных на предыдущей итерации.

Итерационный процесс продолжается вплоть до выполнения условия близости частот скорректированной модели к соответствующим целевым значениям или по достижению максимально допустимого числа итераций. При этом на каждой итерации принимаем формы колебаний Φ_i равными формам колебаний с предыдущей итерации.

3. Вывод

Были разработан метод для коррекции КЭ-модели конструкции по заданным частотам. Приведено краткое описание процедуры поиска корректирующих коэффициентов в ходе итерационного процесса.

Литература

1. Jang J., Smyth A. Model updating of a full-scale FE model with non-linear constraint equations and sensitivity-based cluster analysis for updating parameters. // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2017. – no. 83. – P. 337-355.

2. Simoen E., Roeck G., Lombaert G. Dealing with uncertainty in model updating for damage assessment: A review. // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2015. – no. 56-57. – P. 123-149.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

М.М. Мамелин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, mamelin@gmail.com**

В данной работе рассмотрено экспериментальное определение динамических характеристик конструкций при ударном нагружении. Был проведён эксперимент с физической моделью консольной балки, определены собственные частоты и формы. Создана и оптимизирована программа обработки экспериментальных данных.

In this paper, we consider the experimental determination of the dynamic characteristics of structures under shock loading. An experiment was conducted with a physical model of the cantilever beam, and the natural frequencies and shapes were determined. An experimental data processing program has been created and optimized.

Задачами являются:

Подготовить физическую модель для экспериментального определения ее модальных параметров. Измерить все необходимые для теоретического исследования параметры модели.

Создать проект с использованием приложения LMS Test.Xpress5A для фиксации экспериментальных данных.

Провести необходимые эксперименты (записать временные сигналы возбуждения и отклика).

Написать программу и обработать результаты эксперимента в программном продукте MathCAD.

Получить резонансные частоты. Построить формы колебаний.

Провести расчёт с помощью конечно-элементного моделирования в программе SolidWorks.

Провести сравнение полученных данных (частоты и формы) с экспериментальными.

В качестве объекта эксперимента выступала консольно-закрепленная труба прямоугольного сечения. (Рис.1)

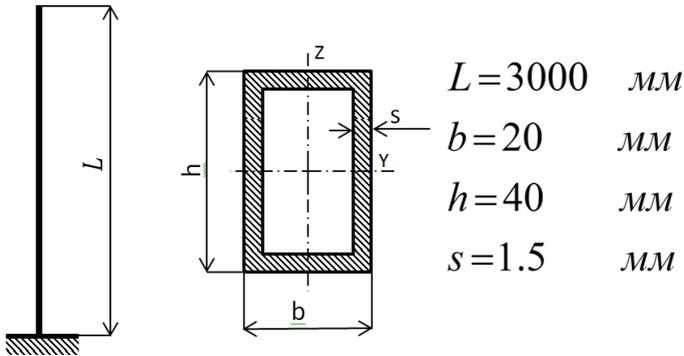


Рис.1 – Расчетная схема

Технология проведения эксперимента состоит в возбуждении колебаний конструкции с помощью ударов по ней ударным молотком, записи временного сигнала возбуждения и фиксирования отклика конструкции с помощью акселерометра. Затем временные сигналы с помощью быстрого преобразования Фурье (fast Fourier transform (FFT)) переводятся в частотную область и анализируются. На рисунках 2 и 3 представлено графическое отображение временных сигналов. После преобразования данных строятся графики модулей частотных характеристик (амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) (Рис.4 – рис.5).

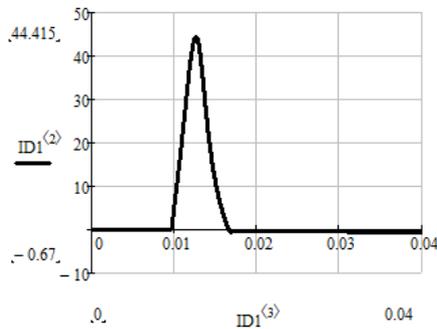


Рис.2 – График силы

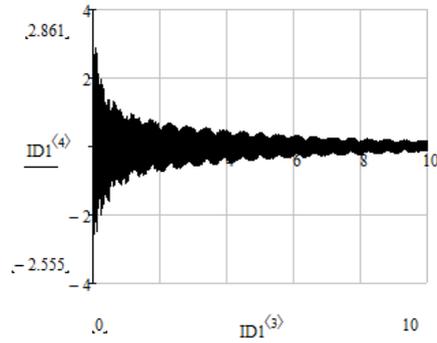


Рис.3 – График декремента колебаний

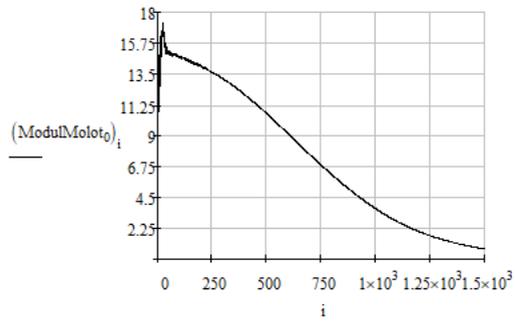


Рис.4 – АЧХ молотка

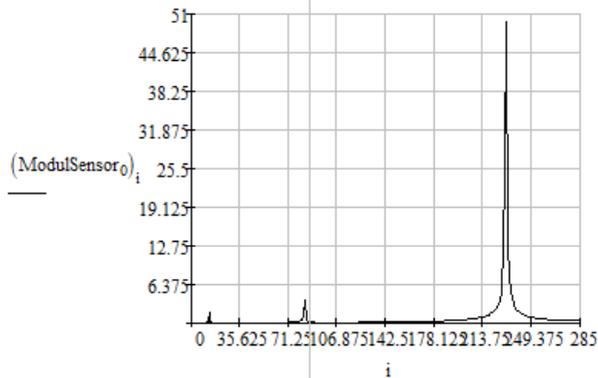


Рис.5 – АЧХ датчика

По полученным экспериментальным данным построены формы колебаний и найдены собственные частоты. Значения собственных частот сравниваются с теоретическими (Таблица 1).

Также проведен расчёт собственных форм и частот колебаний с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Для этого использовалась программа SolidWorks.

В таблице 2 представлено сравнение частот, полученных по МКЭ, с теоретическими.

В таблице 3 представлено сравнение частот, полученных по МКЭ, с экспериментальными.

На рисунках 6-8 представлено сравнение первых трёх форм собственных колебаний для теоретического решения (прямая) и эксперимента (точки).

Таблица 1 Сравнение теоретических частот с экспериментальными

Тип расчёта № частоты	Экспериментальная частота, Гц	Теоретическая частота, Гц	Разница, %
w1	2.539	2.570	1.206
w2	16.211	16.104	0.660
w3	45.117	45.085	0.071

Таблица 2 Сравнение частот, полученных по МКЭ, с теоретическими

Тип расчёта № частоты	Частота по МКЭ, Гц	Теоретическая частота, Гц	Разница, %
w1	2.607	2.570	1.419
w2	16.320	16.104	1.324
w3	45.621	45.085	1.175

Таблица 3 Сравнение частот, полученных по МКЭ, с экспериментальными

Тип расчёта № частоты	Частота по МКЭ, Гц	Экспериментальная частота, Гц	Разница, %
w1	2.607	2.539	2.608
w2	16.32	16.211	0.668
w3	45.621	45.117	1.105

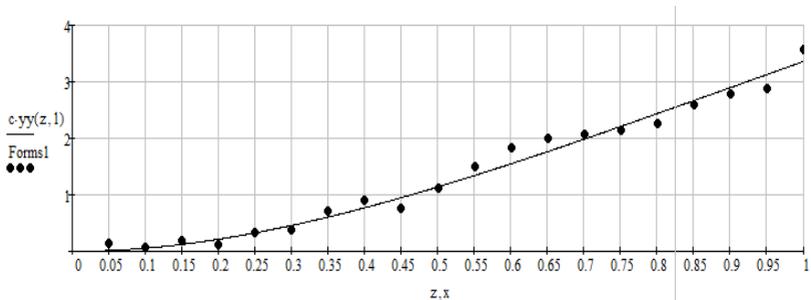


Рис.6 – Сравнение первой формы собственных колебаний

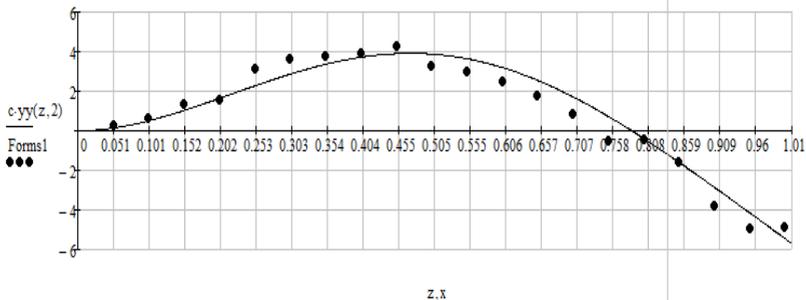


Рис.7 – Сравнение второй формы собственных колебаний

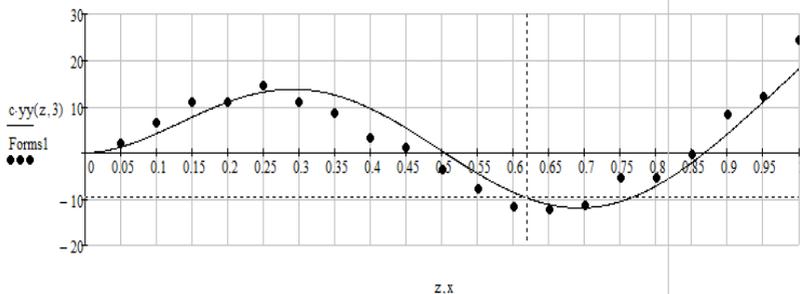


Рис.8 – Сравнение третьей формы собственных колебаний

Выводы: был проведён эксперимент по определению динамических характеристик конструкции при ударном нагружении. Написана и оптимизирована программа для обработки экспериментальных данных в программном продукте MathCAD. Получены первые три собственные частоты и построены первые три формы колебаний конструкции. Проведён численный расчет с помощью конечно - элементного моделирования в программе SolidWorks. Проведено сравнение результатов экс-

периментального решения, решения с использованием МКЭ и теоретического решения.

Литература:

1. Бабаков И.М. Теория колебаний.– Москва, 1968 – 517 с.
2. Кирьянов Д.В. MathCad / БХВ-Петербург, 2012 -423.
3. Свенд Г. Испытания конструкций . – Брюль и Кьер, 1989 – 141 с.
4. Прокофьев А.Б. Проведение измерений виброакустических характеристик с использованием LMS Scadas Mobile.– Самара, 2010 – 45 с.
5. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний.– Москва, 1980 – 408.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ВСПЕНЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

А.В. Мирошниченко, М.А. Леган

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, miroshnichenko.2014@stud.nstu.ru**

Проведен анализ структуры и механических свойств вспененных материалов на основе алюминия. Рассмотрены особенности деформирования пеноалюминия и перспективы его применения в машиностроении и строительстве. Отмечено, что для расчетов прочности и жесткости конструкций из пеноалюминия полезно и актуально построение структурных механических моделей деформирования этого материала при различных видах напряженного состояния.

The analysis of the structure and mechanical properties of foamed materials based on aluminium are performed. The features of foam aluminium deformation and the prospects for its use in mechanical engineering and constructing are considered. It is noted that for calculating the strength and stiffness of foam aluminium constructions, it is useful and relevant building structural mechanical models of the deformation of this material for various types of stress type.

В последние годы в машиностроении и строительстве возрос интерес к изготовлению и применению пористых материалов на основе алюминия. Повышенный интерес к пористым металлам можно объяснить высокими требованиями к современным машинам и конструкциям, а также совершенствованием технологий получения пористых металлов, улучшением их качества и снижением стоимости.

Первые попытки производства и применения пористого алюминия были предприняты ещё в 1950-х гг [1]. Однако дорогая и несовершенная технология изготовления в то время не позволяла обеспечить стабильную структуру и, соответственно, механические свойства пористых ме-

таллов. Почти в то же время большое применение получили пористые пластики. Они использовались как теплоизоляционные, упаковочные и отделочные материалы [2]. Следует отметить, что пористый металл на основе алюминия имеет большие перспективы применения в промышленности. Пористый алюминий в отличие от пористого пластика экологически чист, не требует особых затрат на переработку, нетоксичен и негорюч [3].

Пористые металлы представляют собой довольно сложные системы, как в микро, так и в макроструктуре. Микроструктура и механические свойства определяются способом получения пор и возможной термической обработкой материала. Макроскопические характеристики, такие как размер пор или кривизна клеточных стенок оказывают выраженное влияние на механические свойства [4]. Пористый алюминий может быть с открытой или закрытой (пеноалюминий) пористостью. Материалы с открытой ячеистой структурой образуют пространственную сетку, т.е. сеть соединенных друг с другом полостей, а при закрытой пористости каждая пора представляет собой замкнутую ячейку, в которой заперт газ.

Пеноалюминий обладает следующими свойствами: низкий удельный вес, стойкость к коррозии, хорошая теплоизоляция, высокая жесткость, устойчивость к возгоранию, эффективное звукопоглощение и поглощение энергии удара. Слой пеноалюминия толщиной 100 мм при 50% деформации способен поглотить энергию от 1000 до 4000 кгм на дм^2 , соответственно, 1 м^2 толщиной 100 мм способен противостоять бризантному энергетическому воздействию до 10 кг взрывчатого вещества в тротиловом эквиваленте [5]. Исследования показывают, что в случае пожара помещение из пеноалюминиевых плит выдерживает сильный пожар в течение 30 мин [3]. Вспененный алюминий может также обеспечить высокоэффективную защиту от электромагнитных волн. Низкая плотность позволяет пеноалюминию плавать в воде.

Существует ряд технологий получения пеноалюминиевых материалов. Например, путем прямого введения газа (воздух, азот или аргон) в расплавленный алюминий. Для увеличения вязкости расплавленного металла могут вводиться карбид кремния (SiC) или оксид алюминия (Al_2O_3). Таким способом может быть получен пеноалюминий с пористостью от 80 до 97%. Алюминиевый пористый материал увеличивается примерно в 5 раз от первоначального объема [3, 4].

По другой технологии пеноалюминий получают введением в расплав порообразователя, вспенивающего материала, обеспечивающего образование пор в металлическом материале, с добавлением кальция. В качестве порообразователя может быть использован порошок гидрида

титана (TiH_2). Полученную смесь распыляют с последующим охлаждением. Компания «Shinko Wire Company» (Япония) разработала эту технологию для производства пеноалюминия в промышленном масштабе и назвала полученный материал Alporas [6, 7].

Благодаря своей ячеистой структуре пеноалюминий ведет себя по-другому при механических испытаниях, по сравнению с обычными металлическими материалами. В работе [1] по результатам статических испытаний на сжатие в условиях одноосного напряженного состояния образцов ячеистого алюминия цилиндрической формы было отмечено, что процесс деформирования можно условно разделить на четыре характерные стадии: линейно упругую 1, нелинейно упругую 2, уплотнительно-пластическую 3 и пластическую 4 (рис.1).

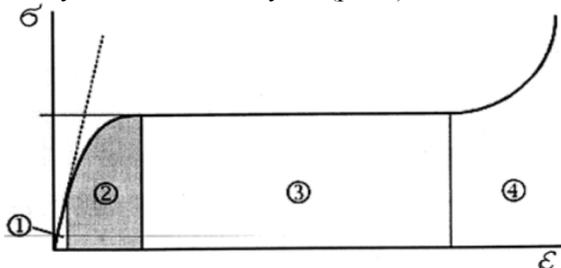


Рис.1 – Идеализированная диаграмма деформирования пеноалюминия при сжатии

В работе [8] нелинейно упругую стадию 2 исключают. На первом этапе происходит деформирование перемычек между порами, находящимися в плоскости приложения нагрузки. Этот этап характеризуется линейной или близкой к линейной зависимостью напряжений σ от деформаций ϵ . На следующем этапе деформирования происходит пластическое уплотнение, которое сопровождается заполнением пор. Последний этап деформирования характеризуется резким возрастанием напряжений при относительно малых деформациях. На данном этапе происходит дальнейшее заполнение пустот. Пеноалюминий ведет себя примерно так же, как полиуретановые пористые материалы – с той разницей, что его прочность примерно в 30 раз выше при том же уровне пористости [9].

В автомобилестроении из пеноалюминия делают ударопоглощающие вставки в двери и кузов. Пеноалюминий в случае аварии поглотит энергию удара и защитит пассажиров транспортного средства. Звукопоглощающие свойства пен можно использовать в моторном отсеке автомобиля для предотвращения передачи шума в пассажирский салон и окружающую среду. Благодаря своему низкому удельному весу пе-

ноалюминий может заменить дорогие сотовые конструкции, применяемые в самолетостроении. Легкость, «плавучесть» и устойчивость к коррозии вспененного алюминия способствуют его применению в судостроении. Вследствие теплоизоляционных свойств и сопротивлению проникновению огня пеноалюминий может применяться в строительстве зданий. Кроме того, пеноалюминий может использоваться для защиты от электромагнитных волн для потолков и стен помещений с электронным оборудованием.

Для расчетов на прочность и жесткость конструкций из пеноалюминия полезно и актуально построение структурных механических моделей деформирования этого материала при сложном напряженном состоянии. Эти модели должны учитывать структуру пеноалюминия и особенности его деформирования при растяжении, сжатии, сдвиге и других видах напряженного состояния.

Литература:

1. Механические и амортизирующие свойства высокопористого ячеистого алюминия / А.П. Гусаров, А.В. Жариков, В.А. Марков, А.Ф. Овчинников, В.И. Пусев, В.В. Селиванов, А.Н. Сообщилов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2009. – №1. – С. 58–65.
2. Ершов М.Ю., Лепешкин И.А. Технологии получения автомобильных деталей из вспененного алюминия // Дизайн. Теория и практика. – 2010. – №4. – С. 77–88.
3. Калинин В.А., Скалиниченко А.С. Способы получения вспененного алюминия, области его применения и ряд особенностей механической обработки // Литье и металлургия. – 2005. – №2. – С. 164–169.
4. Воронин С.В., Лобода П.С. Способы получения пористых материалов на основе алюминия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – №4 – С. 1068–1074.
5. Каталог продукции Каменск-Уральского металлургического завода [Электронный ресурс] – URL: <http://www.kumz.ru/win/download/1670> (дата обращения 21.10.2019).
6. Крушенко Г.Г. Получение и применение пористых металлических материалов в технике // Вестник СибГАУ имени академика М.Ф. Решетнева. – 2012. – №3. – С. 181–184.
7. Бутарович Д.О., Смирнов А.А., Рябов Д.М. Пеноалюминий как энергопоглощающий материал и его механические свойства // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2011. – №7. – С. 53–58.
8. Селиванов В.В. О механических свойствах высокопористых алюминиевых сплавов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.

Лобачевского. Механика деформируемого твердого тела. – 2011. – №4. – С. 1760–1762.

9. Kraus В. Anisotropy and variability in polyurethane foams: experiments and modelling [Электронный ресурс] // New Zealand. – 2012. – 39 с. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/258848711> (дата обращения 21.10.2019).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК НА КОСМИЧЕСКИХ КОРАБЛЯХ

Д.А. Пашков, И.В. Железнов, А.И. Шулепов
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева,
г. Самара, <https://ssau.ru>

В работе представлен обзор основных проектов по использованию ядерной энергии в ракетостроении. Рассмотрены преимущества и недостатки каждого из этих проектов. Сделан вывод о целесообразности использования ядерных установок на космическом корабле.

The paper provides an overview of the main projects on the use of nuclear energy in rocket science. The advantages and disadvantages of each of these projects are considered. It is concluded that it is advisable to use nuclear plants on a spaceship.

В начале 21 века изучение космоса стало одной из ключевых задач человечества, так как это знание может позволить решить проблему ограниченности ресурсов нашей планеты. На сегодняшний день человек уже смог высадиться на луну, отправить космические аппараты к каждой из планет солнечной системы. Следующей его задачей является совершение межпланетного перелета на ближайшую из планет - Марс.

Основная проблема полета на Марс состоит в том, что космический аппарат должен развить большую скорость, для этого ему потребуется большое количество энергии. Многие ученые видят решения проблемы в использовании ядерных ракетных двигателей (ЯРД) и ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Разработки в данном направлении начались в середине 20-го века, было много интересных проектов, но большинство из них было приостановлено. В этой статье мы рассмотрим самые перспективные из них, так как использование ядерной энергетики может стать ключом к покорению космоса.

Первые ЯРД были разработаны во второй половине 20-го века, это советский РД-0410 и американский NERVA. Оба двигателя прошли успешно испытания на земле, но так и не были установлены на космические аппараты. Их характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики РД-0410 и NERVA

ЯРД	Диаметр	Длина	Масса	Удельный импульс	Температура активной зоны
РД-0410	1,6 м	3,5 м	2000 кг	910 с	3000 К
NERVA	10,55 м	43,69 м	178321 кг	850 с	2000 К

Из таблицы видно, что РД-0410 компактнее и мощнее, чем Nerva, во время его проектирования советскими учеными был решен ряд проблем: реактор приобрел компактные размеры, были разработаны высокотемпературные конструкционные материалы для активной зоны и подобраны тепловыделяющие элементы, были созданы особые условия для проведения испытаний ЯРД и т.п.

Стоит отметить, что удельный импульс рассмотренных двигателей больше в 2 раза, чем у самых эффективных химических ракетных двигателей. Оба исследования были остановлены из-за недостаточного финансирования.

Продолжение этих исследований может привести человечество к отличному результату, но ЯРД создают экологическую угрозу для окружающей среды, так как при взлете космического корабля будет большой выброс радиоактивных веществ. Поэтому многие ученые отказываются от применения ЯРД и считают, что выгоднее использовать для взлета обычные двигатели на химическом топливе и включать ЯЭУ, находясь в космическом пространстве.

ЯЭУ не раз применялись на некоторых космических аппаратах и хорошо себя оправдали. Первый ядерный реактор был разработан американской компанией Boeing и назывался SNAP, он был установлен на космическом аппарате Snapshot и запущен в космос в 1965 году. Его тепловая мощность составляла около 40 кВт. Электрическая мощность составляла 650 Вт. Первый советский ядерный реактор под названием «Бук» был отправлен в космос в 1970 году на спутнике радиолокационной разведки УС-А. Его тепловая мощность составляла 40 кВт., а электрическая 3 кВт [7]. Затем на протяжении нескольких десятков лет обеими державами было разработано несколько успешных проектов с использованием ядерного реактора, которые нашли применение на малых КА.

В 2017 году учеными НАСА был создан тестовый образец реактора Kilopower мощностью 1 кВт и высотой 1,9 м. По расчетам он должен производить электроэнергию в течение 10 лет. Особенностью устройства является его способность повышать или понижать свою мощность и таким образом вырабатывать большие количества энергии. Планируется создать целую серию реакторов с мощностью от 1 кВт до 10 кВт.

С 2009 года российскими учеными ведется работа над созданием ядерной энергодвигательной установки мегаваттного класса (ЯЭДУ). Основными преимуществами использования ИДЭУ должны стать:

1) существенное уменьшение массы и габаритов космического корабля;

2) увеличение массы полезной нагрузки;

3) способность маневрировать и ускоряться в космосе;

4) возможность развивать высокую скорость.

Начало эксплуатации первого летного образца с ЯДЭУ планируется на 2022-2023 год.

Подводя итоги, можно отметить, что наиболее перспективно вести работу над созданием ЯЭУ, так как её использование имеет высокую эффективность: малые размеры, высокая скорость, возможность маневрировать. ЯЭУ уже хорошо себя зарекомендовали в работе на малых КА, поэтому их использование для межпланетных перелетов кажется наиболее реалистичным решением данной проблемы.

Литература:

1. Паневин И. Г., Прищепа В. И. Космические ядерные ракетные двигатели. — М.: «Знание», 1978. — 64 с.,

2. Акимов В.Н., Коротеев А.С., Гафаров А.А. и другие. Ядерные ракетные двигатели: воспоминания о будущем // Исследовательский центр имени М. В. Келдыша. 1933-2003 : 70 лет на передовых рубежах ракетно-космической техники. — М: "Машиностроение", 2003. — 439 с.,

3. Космический реактор Kilopower прошел наземные тесты [Электронный ресурс]. URL: <https://tnenergy.livejournal.com> (дата обращения 25.05.2019),

4. Ядерные реакторы в космосе [Электронный ресурс]. URL: <https://tnenergy.livejournal.com> (дата обращения 25.05.2019)

РАСЧЕТ ДИНАМИКИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЛОПАСТЕЙ В ПОТОКЕ ГАЗА

И.А. Титов

**Новосибирский государственный университет,
г. Новосибирск, it_18g10@mail.ru**

В данной работе для четырёх выбранных профилей лопастей были вычислены аэродинамические характеристики, так же найдены площади поперечных сечений, статические моменты, моменты инерции и полярные моменты инерции

ции. Для вычисления критических скоростей флаттера была использована программа, разработанная на кафедре прочности летательных аппаратов НГТУ.

In this work, aerodynamic characteristics were calculated for the four selected blade profiles, cross-sectional areas, static moments, moments of inertia and polar moments of inertia were also found. To calculate the critical velocity of the flutter was used the program developed at the Department of strength of aircraft NSTU.

Задачами являются:

1) для лопастей с различным поперечным сечением найти аэродинамические характеристики,

2) для этого привлекается программа для нахождения аэродинамических характеристик «виртуальная аэродинамическая труба XFLR5», в данной программе находится коэффициент подъёмной силы в зависимости от угла атаки;

3) с помощью программы, написанной в среде MathCAD для выбранных сечений, найти моменты инерции, статические моменты, погонную массу, крутильную и изгибную жёсткости;

4) рассчитать положения центра масс и оси жёсткости;

5) с помощью программы KLPALGSYS (автор Красноруцкий Д.А.), которая по дифференциальной стержневой модели строит график зависимости вещественной и мнимой составляющей частоты малых колебаний в зависимости от скорости потока рассчитать критические угловые скорости вращающейся лопасти в воздухе.

В данной работе для четырёх выбранных сечений взяты из онлайн библиотеки координаты точек образующих сечения. Эти координаты импортированы в программу XFLR5, в которой производились вычисления аэродинамических коэффициентов и координат точек приложения аэродинамического давления.

Далее с помощью программы написанной в среде MathCAD, найдены площади поперечных сечений (таблица 1), статические моменты (таблица 2), моменты инерции (таблица 3) и полярные моменты инерции (таблица 4).

Таблица 1. Площади поперечных сечений профилей

Наименование профиля	Площадь поперечного сечения, м ²
Eppler E1098	0,021
Göttingen (MVA Mk.7)	0,02
Tsagi 12%	0,02
Tsagi 8%	0,02

Таблица 2. Статические моменты поперечных сечений

Наименование профиля	Статический момент	Статический момент
	по оси x, кг/М	по оси y, кг/М
Eppler E1098	0,01	$5,423 \cdot 10^{-4}$

Gottingen (MVA Mk.7)	0,01	$7,458 \cdot 10^{-4}$
Tsagi 12%	0,01	$2,003 \cdot 10^{-4}$
Tsagi 8%	0,01	$1,324 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3. Моменты инерции поперечных сечений

Наименование профиля	Момент инерции по оси x, кг/м ²	Момент инерции по оси y, кг/м ²	Полярный момент инерции, кг/м ⁴
Eppler E1098	$6,787 \cdot 10^{-3}$	$1,045 \cdot 10^{-4}$	$6,891 \cdot 10^{-3}$
Gottingen(MVA Mk.7)	$6,717 \cdot 10^{-3}$	$5,236 \cdot 10^{-5}$	$6,769 \cdot 10^{-3}$
Tsagi 12%	$6,704 \cdot 10^{-3}$	$4,255 \cdot 10^{-5}$	$6,747 \cdot 10^{-3}$
Tsagi 8%	$6,676 \cdot 10^{-3}$	$1,893 \cdot 10^{-5}$	$6,695 \cdot 10^{-3}$

Таблица 4. Положение центра масс и оси жёсткости

Наименование профиля	Расстояние до оси жесткости по оси x, м	Расстояние до оси жесткости по оси y, м
Eppler E1098	0.492	0.025
Gottingen (MVA Mk.7)	0.497	0.037
Tsagi 12%	0.495	$9,849 \cdot 10^{-3}$
Tsagi 8%	0.498	$6,695 \cdot 10^{-3}$

В программу KLPALGSYS, в основе которой лежит расчёт, описанный Лампером Р.Е, Лыщинским В.В. [1], внесены ранее рассчитанные коэффициенты подъёмной силы, координаты точки аэродинамического давления, площади поперечных сечений, статические моменты, моменты инерции и полярные моменты инерции.

После внесения всех исходных данных, программа рассчитала мнимые и вещественные составляющие частот, построила зависимость полученных частот от угловой скорости для выбранных поперечных сечений лопасти. Для определения критических угловых скоростей, необходимо на графике зависимости мнимых и вещественных составляющих частот от угловой скорости найти точки, в которых мнимая составляющая частот становилась отрицательной, система в данной точке становилась неустойчивой, поэтому можно говорить, что это критическая угловая скорость.

Для профиля Eppler E1098:

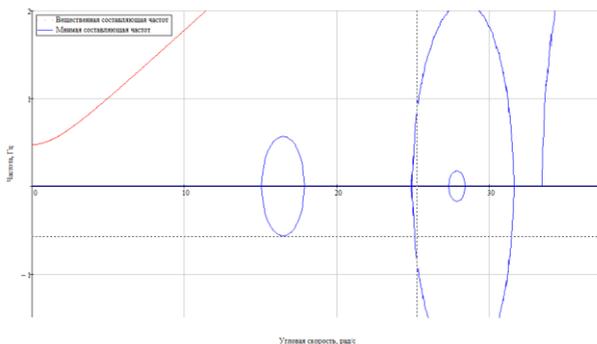


Рис.1 – Зависимость мнимой и вещественной составляющей частоты малых колебаний от угловой скорости потока.

Из данного графика получили несколько критических скоростей (таблица 5):

Таблица 5. Критические угловые скорости лопасти

	ω_1	ω_2	ω_3
V, рад/с	15,075	24,825	27,337

Для Gottingen (MVA Mk.7):

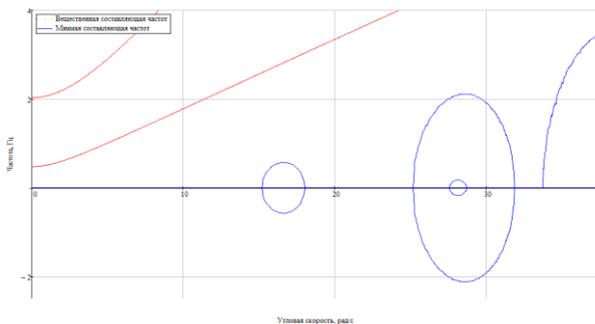


Рис.2 – Зависимость мнимой и вещественной составляющей частоты малых колебаний от угловой скорости потока.

Для профиля Tsagi12% :

Из данного графика получили несколько критических скоростей (таблица 6):

Таблица 6. Критические угловые скорости лопасти

	ω_1	ω_2	ω_3
V, рад/с	15,188	25,2	27,6

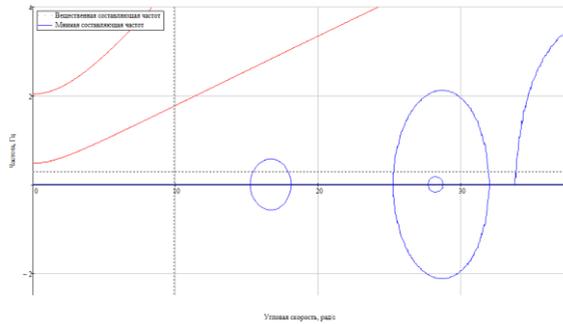


Рис.3 – Зависимость мнимой и вещественной составляющей частоты малых колебаний от угловой скорости потока.

Для профиля Tsagi8%:

Из данного графика получили несколько критических скоростей (таблица 7):

Таблица 7. Критические угловые скорости лопасти

	ω_1	ω_2	ω_3
V, рад/с	15,225	24,238	27,712

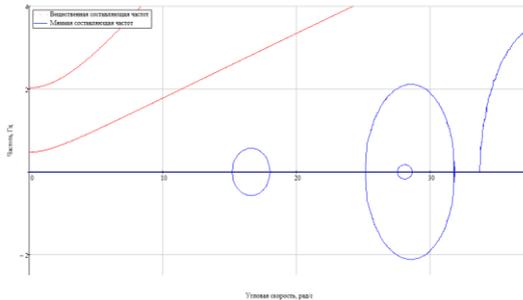


Рис.4 – Зависимость мнимой и вещественной составляющей частоты малых колебаний от угловой скорости потока

Из данного графика получили несколько критических скоростей (таблица 8):

Таблица 8. Критические угловые скорости лопасти

	ω_1	ω_2	ω_3
V, рад/с	15,15	25,05	27,637

Вывод:

Были выбраны 4 профиля, для которых найдены их аэродинамические характеристики с помощью программы XFLR5, далее с помощью программы написанной в среде MathCAD были вычислены моменты

инерции, статические моменты, погонную массу, крутильную и изгибную жёсткости и вычислены положения центра масс и оси жёсткости, после чего с помощью программы KLPALGSYS были рассчитаны критические угловые скорости лопасти.

Литература:

Лампер Р.Е., Лыщинский В.В. Введение в теорию и моделирование флаттера: Монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 179 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУБОРБИТАЛЬНЫХ РАКЕТ В ОСВОЕНИИ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Р.А. Уперчук, А.П. Батурич
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
г. Самара, uperchuk.roman@yandex.ru

Данная работа посвящена рассмотрению основных вопросов применения ракет, движущихся по суборбитальным орбитам, в освоении планет Солнечной системы. Дана оценка потенциальных возможностей ракет, раскрыта целесообразность их использования.

This work is devoted to consideration of the main issues of the use of rockets moving in suborbital orbits in the development of the planets of the solar system. An assessment of the potential capabilities of missiles is given; the expediency of their use is disclosed.

Одной из острых глобальных проблем современности выступает ограниченность ресурсов. Несмотря на то, что непосредственная колонизация человеком планет Солнечной системы может состояться исключительно в далёком будущем, для человечества является актуальной возможность добычи ресурсов из космического пространства и доставки на Землю. Существуют различные источники энергии и ископаемых, которые могут представлять интерес (солнечная энергия, астероиды и космическая пыль и др.). В данном исследовании рассматривается возможность добычи ресурсов непосредственно с планет. Это потребует более глубокого изучения особенностей рельефа и химического состава литосферы и атмосферы планет, в связи с чем может возникнуть вопрос о вероятном использовании суборбитальных ракет.

Целью данной работы является анализ возможностей и составление концепции использования суборбитальных ракет в научно-технических целях за пределами Земли. Объектом исследования являются суборбитальные (геофизические) ракеты.

Геофизические ракеты используются в человеческой деятельности для выполнения широкого круга задач [1]. В рамках исследования под термином «суборбитальная ракета» понимаем ракету, совершающую суборбитальный полёт и используемую для геофизических, физических, астрофизических, химических и медико-биологических исследований верхних слоёв атмосферы, аналогично понятию геофизической ракеты. Несмотря на то, что само понятие суборбитальной ракеты является универсальным, данные ракеты будут иметь существенное различие в конструкции и различные подходы к проектированию.

В настоящее время на Земле активно эксплуатируются ракеты, запускаемые способом воздушного старта [2]. Такой способ может иметь широкое применение в атмосферах других планет, в частности, в атмосфере Венеры, где высокая температура, давление и агрессивные химические соединения делают старт подобных ракет непосредственно с поверхности планет невозможным, а также газовых гигантов. Разработка космических систем, реализующих запуск и возвращение суборбитальных ракет с космических станций или дирижаблей будет иметь огромное значение в терраформировании Венеры, которая наиболее перспективна среди всех планет Солнечной системы для осуществления данного процесса [3]. Помимо этого, атмосферный старт имеет преимущества в отсутствии необходимости в установке и эксплуатации стартовых столов.

Актуальность для эксплуатации на других планетах представляют многоразовые ракеты, запускаемые посредством роботизированных комплексов, что обеспечивает возможность более детального исследования поверхности и атмосфер планет без дополнительных затрат на доставку новых ракет.

Использование геофизических ракет сопряжено со следующими трудностями:

- Запуск данных ракет требует доставки дополнительной массы полезной нагрузки и топлива, что способствует удорожанию космических запусков;
- Необходимость наличия стартовых столов, что не всегда возможно ввиду физических особенностей поверхности планет;

Одним из главных технических аспектов является учёт аэродинамики. В рамках данной задачи были проведены расчёты максимальных значений подъёмной силы и силы лобового сопротивления для различных чисел Маха и различных высот в соответствии с марковской моделью атмосферы Марса [4]. Расчёты показали, что для планет с разреженной атмосферой учётом аэродинамической силы можно пренебрегать при любых скоростях и высотах полёта. Отсюда следует, что нали-

чие обтекаемых аэродинамических форм для суборбитальных ракет, эксплуатируемых на подобных планетах (Марс, Меркурий и др.), не является необходимым. При этом венерианская атмосфера, которая более чем в 600 раз плотнее атмосферы Земли, выдвигает более жёсткие требования по выбору типов обтекателей.

Различие в гравитации на планетах Солнечной системы также играет роль при проектировании суборбитальных ракет. Планеты с меньшими значениями g (Меркурий, Венера, Марс) позволяют использовать двигатели с меньшими значениями удельного импульса, а также смягчать требования по минимизации стартовой массы. В то же время сильная гравитация требует более высокие значения удельного импульса и тяги, большее количество топлива, в связи с чем вытекают сложности удовлетворения более жестким требованиям минимальной массы.

В рамках данной работы составлены основные особенности суборбитальных ракет, проектируемых для эксплуатации на планетах земной группы, представлены в таблице.

Таблица 1 – Особенности суборбитальных ракет для исследования планет Солнечной системы

Планета назначения	Особенности планеты	Особенности ракеты	Оптимальный способ запуска
Меркурий, Марс	Низкая плотность атмосферы и отсутствие давления, высокие температурные перепады, малая гравитация, отсутствие защиты от радиации	Любая аэродинамическая компоновка, жаропрочные материалы, дополнительная радиационная защита для РЭО, невысокий удельный импульс и тяга двигателей	С поверхности планеты или из атмосферы (космические станции)
Венера	Высокая плотность и давление атмосферы; относительно стабильная температура; гравитация, относительно земной; естественная защита от излучения	Высокие требования к аэродинамической компоновке, жаропрочность материалов, стандартная радиационная защита, более высокие требования к двигателю	Из атмосферы (космические станции или дирижабли)

В соответствии с выдвинутыми требованиями выполнено проектирование двух суборбитальных ракет, предлагающихся для эксплуатации в условиях Меркурия, Венеры и Марса, в первом приближении. Построены твердотельные модели в системе КОМПАС-3D [5].

Результаты данной работы могут быть актуальными для проработки программ освоения Марса с последующей посадкой человека на поверхность планеты. В рамках данной задачи запланировано построение детализированных моделей условий Меркурия, Венеры и Марса и уточнение расчётов динамики полёта данных ракет.

Литература:

1. Юшков В. А. и др. Исследование высоких слоёв атмосферы с помощью метеорологических ракет //Мир измерений. – 2011. – №. 9. – С. 25-29.
2. Сихарулидзе, Ю.Г. Баллистика летательных аппаратов [Электронный ресурс] /Ю.Г. Сихарулидзе. – 2-е изд. (эл.). – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 407 с.
3. Матвеева В. В. Терраформирование планет солнечной системы с точки зрения науки и фантастики //П 26 Перспективы регионального развития—2014: сборник. – 2014. – С. 4.
4. Данченко О. М. Марковская модель плотности атмосферы Марса //Труды МАИ. – 2012. – №. 50. – С. 15-15.
5. Кудрявцев Е. КОМПАС-3D. Моделирование, проектирование и расчет механических систем. – Litres, 2017.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГИХ КОНСТРУКЦИЙ

П.А. Шелухин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dragonling1769@gmail.com**

В данной работе экспериментальным и теоретическим путем для консольно-закрепленной трубы были определены собственные частоты колебаний и собственные формы колебаний. Проведено сравнение результатов эксперимента и теоретического решения. Спроектировано магнитное крепление акселерометра, а также определено влияние данного крепления на результаты эксперимента.

In this paper, the eigenfrequencies and eigenforms of oscillations were determined experimentally and theoretically for the cantilever-fixed pipe. The results of the

experiment and the theoretical solution are compared. The magnetic mount of the accelerometer was designed, and the influence of this mount on the results of the experiment was determined.

Задачами являются:

- 1) провести эксперимент по определению собственных частот и собственных форм колебаний консольно-закрепленной трубы;
- 2) построить конечно-элементную модель консольно-закрепленной трубы;
- 3) определить собственные частоты и собственные формы колебаний конечно-элементной модели;
- 4) сравнить собственные частоты полученные в конечно-элементной модели консольно-закрепленной трубы с экспериментальными собственными частотами ;
- 5) спроектировать магнитное крепление акселерометра ;
- 6) провести эксперимент по определению собственных частот и собственных форм колебаний консольно-закрепленной трубы используя магнитное крепление;
- 7) сравнить результаты эксперимента при различных креплениях акселерометра.

В данной работе для проведения эксперимента использовался метод "Ударное возбуждение". Для проведения эксперимента использовалось следующее оборудование: LMS Scadas Mobile, молоток для модальных испытаний, акселерометр. LMS Scadas Mobile подключается к персональному компьютеру для обработки данных полученных с молотка и акселерометра. Акселерометр необходимо закрепить на консольно-закрепленной трубе (рис.1), затем нанести удар молотком по трубе.

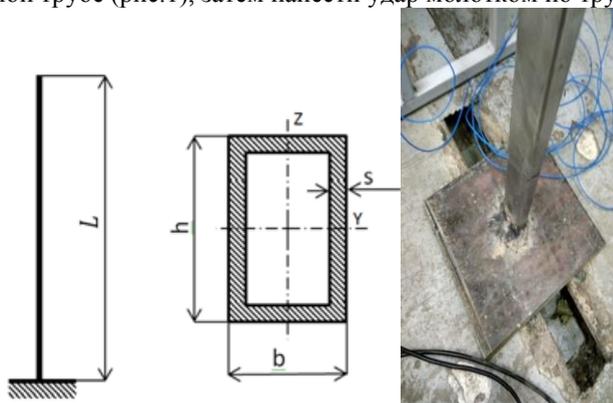


Рис. 1 – Консольно-закрепленная труба

Экспериментальные данные обрабатываются в программе, написанной в среде MathCAD. Собственные частоты консольно-закрепленной

трубы полученные в результате эксперимента представлены в таблице 1. Собственные формы колебаний консольно-закрепленной трубы представлены на рисунках 2-4.

Таблица 1 Собственные частоты консольно-закрепленной трубы

Номер частоты	Значение частоты, Гц
1	2.344
2	16.406
3	45.313

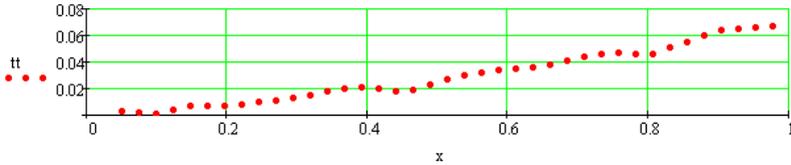


Рис.2 – Первая собственная форма колебаний консольно-закрепленной трубы

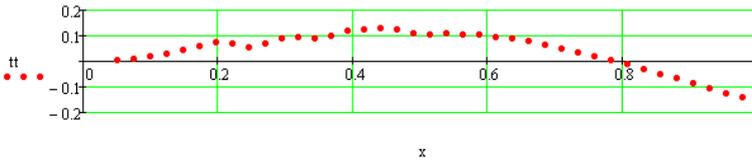


Рис.3 – Вторая собственная форма колебаний консольно-закрепленной трубы

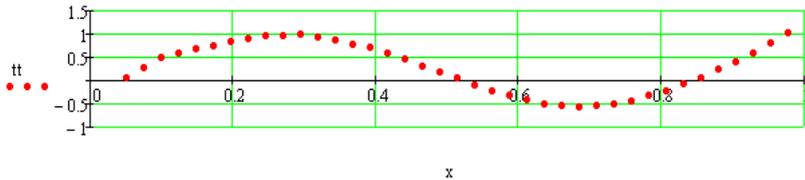


Рис.4 – Третья собственная форма колебаний консольно-закрепленной трубы

В конечно-элементном (КЭ) пакете Ansys Workbench смоделируем консольно-закрепленную трубу и проведем расчет для определения собственных частот и построения собственных форм колебаний. Собственные частоты консольно-закрепленной трубы полученные в КЭ пакете Ansys Workbench в таблице 2. Собственные формы колебаний для КЭ модели консольно-закрепленной трубы представлены на рисунках 5-7.

Таблица 2 Собственные частоты КЭ модели консольно-закрепленной трубы

Номер частоты	Значение частоты, Гц
1	2.5776
2	16.147
3	45.178



Рис.5 – Первая собственная форма колебаний КЭ модели консольно-закрепленной трубы



Рис.6 – Вторая собственная форма колебаний КЭ модели консольно-закрепленной трубы



Рис.7 – Третья собственная форма колебаний КЭ модели консольно-закрепленной трубы

Сравнение собственных частот полученных в результате эксперимента и собственных частот полученных в КЭ модели консольно-закрепленной балке представлено в таблице 3.

Таблица 3 Сопоставление результатов

Номер частоты	Значение частоты, Гц		Разница %
	Экспериментальное решение	Ansys Workbench	
1	2.344	2.5776	9.02
2	16.406	16.147	1.57
3	45.313	45.178	0.3

Акселерометр во время проведения экспериментов крепился к трубе с помощью пчелиного воска. Данный способ крепления неудобен. Было принято решение спроектировать крепление датчика на магнитах, и проверить будут ли магниты влиять на результаты эксперимента. Магнитное крепление акселерометра представлено на рисунке 8.



Рис.8 – Магнитное крепление акселерометра

Проведя эксперимент повторно и определив собственные частоты, сравним их с ранее полученными результатами (таблица 4).

Таблица 4 Сопоставление результатов

Номер частоты	Значение частоты, Гц			Разница %	
	Ansys Workbench	Вид крепления			
		Воск	Магнит	Воск	Магнит
1	2.5776	2.344	2.539	8.8	1.206
2	16.147	16.406	16.211	1.8	0.66
3	45.178	45.313	44.922	0.5	0.362

Погрешность решения при крепления датчика с помощью магнитов, значительно меньше, чем при креплении на воск.

Вывод: Проведен эксперимент по определению собственных частот и собственных форм колебаний консольно-закрепленной трубы. Построена конечно-элементная модель консольно-закрепленной трубы. Определены собственные частоты и собственные формы колебаний конечно-элементной модели. Произведено сравнение собственных частот полученных в конечно-элементной модели консольно-закрепленной

трубы с экспериментальными собственными частотами. Спроектировано магнитное крепление и проведен эксперимент с использованием данного крепления. Произведено сравнение результатов при различных креплениях акселерометра.

Литература:

1. Бабаков И.М. Теория колебаний.– Москва, 1968 – 517 с.
2. Свенд Г. Испытания конструкций . – Брюль и Кьер, 1989 – 141 с.
3. А.Б Прокофьев Проведение измерений виброакустических характеристик с использованием LMS Scadas Mobile.– Самара, 2010 – 45 с.

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОПОРЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

В.А. Якунин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vladislav.yakunin123@gmail.com**

В данной работе обсуждается моделирование опор воздушной линии электропередач (ВЛ). Моделирование опор производится согласно монтажной схеме, разбитой на секции: нижняя часть, средняя часть, верхняя часть, траверсы, грозостойка. Моделирование производится в программе ANSYS APDL.

In this paper, modeling of overhead power line (overhead line) supports is discussed. Modeling of supports is made according to the wiring diagram divided into sections: the lower part, the middle part, the upper part, traverses, thunder-proof. The simulation is performed in the ANSYS APDL program.

Введение

В современном мире широко используется метод конечного элемента при анализе сложных пространственных конструкций. Для определения конфигурации системы после приложения некоторых внешних нагрузок, идея этого подхода достаточно проста: любой реально существующий объект имеет бесконечное число степеней свободы, т.к. его массово-жесткостные параметры являются распределенными параметрами. Вследствие этого получить аналитическое описание такого объекта является существенной комплексной задачей, поэтому, при проведении анализа поведения конструкции под действием заданных нагрузок, реальная конструкция представляется в виде модели, состоящей из достаточно большого количества виртуальных конечных элементов. Каждый такой элемент характеризуется набором параметров, таких как рас-

пределение массы и жесткости по элементу, характер деформирования элемента и типом воспринимаемых нагрузок.

Цели данной работы:

- Моделирование опоры ВЛ;
- Рассчитать на собственные частоты и собственные колебания;
- Нагрузить опоры весом проводов и получить значения собственных частот и колебаний.

Задачи:

- Изучить программу созданная на кафедре ПЛА
- Смоделировать опоры ВЛ
- Рассчитать на собственные колебания и собственные частоты
- Нагрузить опоры весом проводов
- Рассчитать с нагружением веса проводов

Состояние работы на данный момент:

На данном этапе были сделаны все поставленные задачи: смоделированы опоры, нагружены весом проводов и рассчитаны. Рассмотрим одну из рассчитанных опор.

Опора П110-2 является промежуточной, двухцепной (Рис. 1). Согласно монтажной схеме, опора изготавливается, из равнопрочных уголков по ГОСТ 8509–93. Опора обладает массой 2796 кг и имеет следующие геометрические характеристики: площадь основания 5332 мм х 3266 мм, высота 41000 мм.

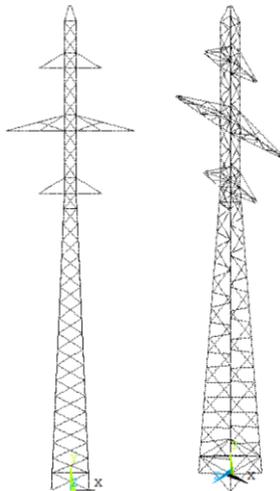


Рис. 1 – Модель опоры П110-2 (472 линии, 9446 узлов)

Для проведения собственных частот и форм колебаний сложной конструкции опоры ВЛ– будем использовать конечно–элементный па-

кет ANSYS APDL. При проведении расчета динамических характеристик можно выделить:

- 1) Выбор типа конечного элемента для расчета.
- 2) Назначение констант материала.
- 3) Построение геометрической модели опоры.
- 4) Разбиение конструкции на конечные элементы.
- 5) Закрепление и нагружение конструкции опоры.
- 6) Выбор типа решателя и сам решатель.
- 7) Получение результатов.

Анализ конструкций металлической опоры П110-2 воздушной линии электропередачи

Задание массовых и жесткостных характеристик: жесткость конструкции опоры в силу сложной геометрии является переменной, в ней присутствуют различные по площади поперечного сечения профили – от L50x4 до L125x10. Поэтому модель будет построена с эквивалентной массой.

Расчет опоры П110-2: вычислим частоты и формы собственных колебаний, закрепив жестко заделкой, консольно защемив ее в точках основания.

Так же для конструкции с различными значениями осевых моментов инерции переменной жесткости были получены формы собственных колебаний (на рисунках 2–3).

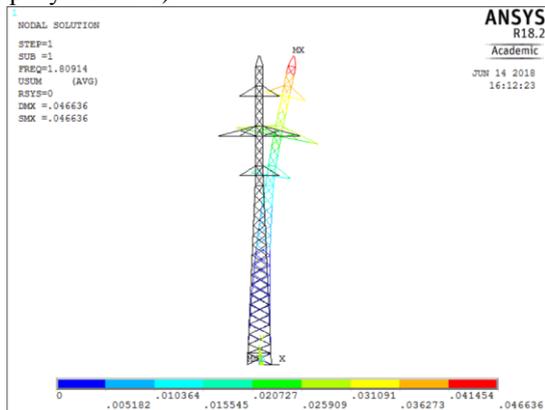


Рис. 2 – Первая балочная форма в плоскости наименьшей жесткости

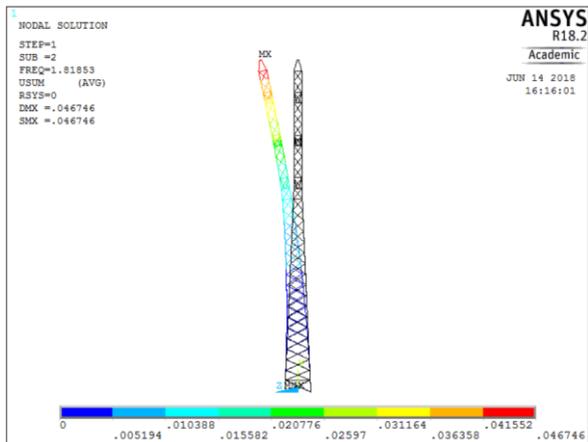


Рис. 3 – Первая балочная форма в плоскости наибольшей жесткости

Таблица 1–Значение частот собственных колебаний конструкции

Но- мер частоты	Минимальный момент инерции. Собственные частоты, Гц.	различные моменты инерции. Собственные частоты, Гц.	Максимальный момент инерции. Собственные частоты, Гц.
1	1.8067	1.8091	1.8110
2	1.8157	1.8185	1.8206
3	4.4071	4.4958	4.5758
4	6.5113	6.5456	6.5708
5	6.7610	6.7912	6.8159

Учет веса проводов опоры П110-2:

Опору П110-2 нагрузили проводами, длины пролетов от 250 до 420 метров. Для учета влияния массы проводов на значения собственных частот рассмотрю два случая: 305 и 400 метров. Необходимо учесть вес от проводов для передачи электроэнергии и одного грозотроса. Фазовый провод АС 150/24 имеет 0.599 кг/м погонной массы. Грозотрос С-50 – 0.4175 кг/м. Каждая траверса также нагружена гирляндой из 10 изоляторов общей массой 34 кг. В таблице 3 приведены дополнительные массы для каждого расчетного случая.

Таблица 3 – Дополнительные массы

Длина пролета, м	Масса изоляторов, кг	Масса фазного провода, кг	Масса грозотроса, кг
305	34	182.88	127.47
400	34	239.74	167.10

В таблице 4 приведены полученные собственные частоты модели опоры П110-2 с длиной пролета 305 метров

Таблица 4 – Собственные частоты модели опоры П110-2 с длиной пролета 300 метров

Номер частоты	Частоты собственных колебаний при минимальном моменте инерции, Гц	Частоты собственных колебаний с различными моментами инерции, Гц.	Частоты собственных колебаний при максимальном моменте инерции, Гц
1	1.8027	1.8051	1.8070
2	1.8116	1.8145	1.8166
3	4.4070	4.4954	4.5754
4	6.5066	6.5409	6.5661
5	6.7562	6.7864	6.8111

В таблице 5 приведены полученные собственные частоты модели опоры П110-2 с длиной пролета 400 метров

Таблица 5 – собственные частоты модели опоры П110-2 с длиной пролета 400 метров

Номер частоты	Частоты собственных колебаний с различными моментами инерции; без проводов, Гц.	Частоты собственных колебаний с различными моментами инерции; пролет 305 метров, Гц.
1	1.8091	1.8051
2	1.8185	1.8145
3	4.4958	4.4954
4	6.5456	6.5409
5	6.7912	6.7864

Формы колебания с учетом веса проводов показаны на рисунках 4–5.

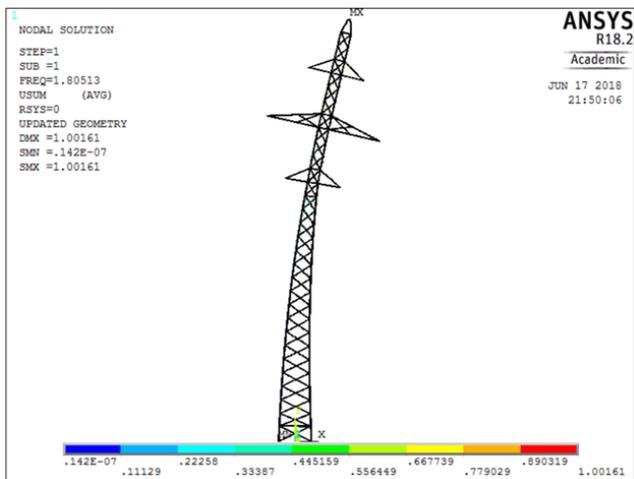


Рис. 4 – Первая балочная форма в плоскости наибольшей жесткости

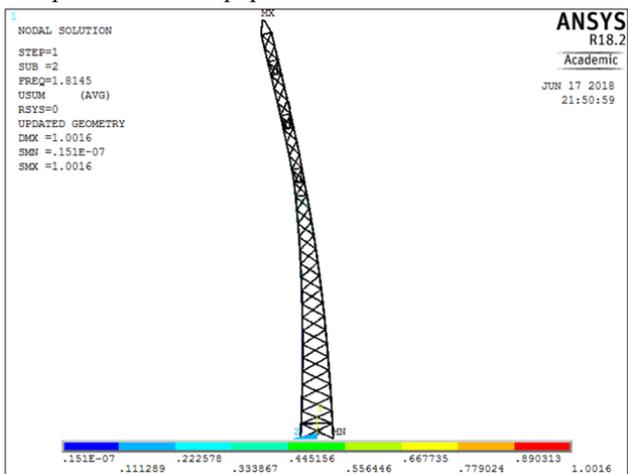


Рис. 5 – Вторая балочная форма в плоскости наименьшей жесткости

Вывод:

Внесение проводов как сосредоточенных масс в модель не изменило характер форм собственных колебаний. Вторым ожидаемым результатом стал то факт, что при учете дополнительной массы проводов в конструкции частоты собственных колебаний снизились. Чем больше длина пролета, тем больше вносимая масса и меньше частота собственных колебаний, и чем меньше пролет между опорами, тем меньше масса провода и больше значение собственной частоты.

Литература:

1. Короткевич М.А. Проектирование линий электропередачи. Механическая часть / М. А. Короткевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2010. – 574 с.
2. Справочник по проектированию линий электропередачи / М. Б. Вязьменский, В. Х. Ишкин, К. П. Крюков и др. Под ред. М. А. Реута и С. С. Рокотяна. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 296 с., ил.
3. Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. Изд. 2-е, испр. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.
4. Басов К. А. ANSYS: справочник пользователя. М.: ДМК Пресс, 2005. - 640 с.
5. Чигарев А. В., Кравчук А. С., Смалюк А. Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 512 с.

СЕКЦИЯ АЭРОДИНАМИКИ И АЭРОУПРОГОСТЬ

КАФЕДРА АЭРОГИДРОДИНАМИКИ НГТУ

*Кураев Анатолий Алексеевич, д.т.н.,
профессор кафедры аэрогидродинамики;
Обуховский Александр Дмитриевич, к.т.н., доцент,
зам. зав. кафедрой аэрогидродинамики*

ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ

В первые десятилетия после создания Сибирского отделения АН СССР кадры для его институтов, в том числе ИТПМ, привлекались в основном из числа выпускников ВУЗов европейской части страны, а также Новосибирского государственного университета. В отрыве от родных мест, приезжие молодые специалисты трудно приспособлялись к суровым реалиям жизни. Выпускники физфака и мехмата НГУ, изначально нацеленные на фундаментальную науку, не всегда справлялись с прикладными задачами, которые ставила промышленность. Из местной молодёжи, адаптированной к сибирским условиям, надо было начинать подготовку специалистов–аэродинамиков, способных не только заниматься исследовательской работой, проводить физический и численный эксперимент, но и умеющих внедрять разработки ученых в образцы новой техники, широко используя при этом в своей работе бурно развивающиеся средства вычислительной техники

Потребность в инженерных кадрах данной специализации, кроме ИТПМ, выразили: Институт теплофизики и Институт гидродинамики; также входящие в Сибирское отделение Академии Наук, Сибирский научно-исследовательский институт авиации; новосибирский филиал ОКБ Сухого и другие отраслевые НИИ сибирского региона.

Первая встреча директора ИТПМ чл.-корр АН СССР Р.И.Солоухина и начальника отдела экспериментальной аэродинамики ИТПМ А. М. Харитонов с ректором НЭТИ профессором Г.П. Лыщинским по поводу открытия новой специальности состоялась в 1975 году. Затем после нескольких лет «дозревания» вопроса состоялись переговоры академика Н.Н. Яненко (в то время директора ИТПМ), чл.-корр. Н.А. Желтухина и А.М. Харитонов с профессором Г.П. Лыщинским. Академик Н.Н. Яненко предложил использовать в учебных целях мощную экспериментальную базу ИТПМ СОАН, тем самым полагая, что часть выпускников придёт работать в академическую науку.

Профессор Г.П. Лыщинский поручил декану самолётостроительного факультета Б.К. Смирнову, а тот в свою очередь, доценту кафедры «Самолётостроение» А.А. Кураеву, бывшему сотруднику ИТПМ, провести необходимую работу по открытию подготовки инженеров-аэрогидромехаников.

Встал вопрос: чему учить и, главное как? Чему учить сначала было неясно. В то время ещё не существовало образовательных стандартов, поэтому был изучен опыт подготовки специалистов данного профиля ведущими вузами страны: Московским авиационным институтом и Московским физико-техническим институтом. Личный опыт «врастания» в академическую науку Кураева А.А., выпускника харьковского авиационного института показал, что лучшей формой обучения будет «система физтеха».

После многократных обсуждений первого варианта учебного плана было решено дать студентам полноценную общетехническую подготовку, а с третьего курса начать специальную подготовку, привлекая к учебному процессу ведущих учёных Сибирского отделения Академии наук и СибНИА. При этом предполагалось использование экспериментальной базы институтов и специально выделенных площадей для проведения лекционных и семинарских занятий.

Некоторыми ведущими специалистами старшего поколения высказывались сомнения – а сможет ли местный «человеческий материал» освоить требуемый объём знаний? Жизнь показала, что сомнения были напрасными. Молодые люди, попадая в творческие коллективы институтских лабораторий, быстро осваивались и уже к моменту завершения обучения в вузе становились полноценными научными работниками. Им не требовалось дополнительное время на адаптацию к работе в науке.

Приказом Минвуза России №683 от 23.11.1981 в НЭТИ при кафедре «самолётостроение» была открыта подготовка инженеров– аэрогидромехаников.

Коллектив факультета при поддержке СибНИА и Новосибирского авиазавода создавал на учебных площадях НЭТИ свою собственную аэродинамическую лабораторную базу. Силами студентов и преподавателей Кураева А.А., Саленко С.Д., Смирнова Б.К. (декана ССФ в 70-е-80-е гг.), Карпеца А.К.(заведующего кафедрой «Самолётостроение»), учебных мастеров Ермачкова П.А и Разживина В.М. была построена и отлажена дозвуковая аэродинамическая труба замкнутого типа с открытой рабочей частью. В оснащении трубы и наработке научного задела в области промышленной аэродинамики даже в самые трудные 90-е годы оказывал помощь ИТПМ СО РАН во главе с В.М. Фоминым.

Приказом Минвуза РСФСР №85 от 22.03.90 коллектив преподавателей, обслуживавших учебный процесс по циклу аэродинамических дисциплин был выведен из состава кафедры самолётостроение в самостоятельную административную единицу вуза – кафедру аэрогидродинамики (АГД). Ее возглавил известный специалист в области газодинамики ракетных двигателей, впоследствии декан факультета летательных аппаратов НГТУ, ныне профессор, д.т.н. А.А.Кураев. Кафедре было поручено обеспечивать учебный процесс по дисциплинам аэрогидродинамического профиля для студентов других заинтересованных факультетов.

Преподавательский состав кафедры формировался на конкурсной основе и состоял из двух составных частей:

- штатные сотрудники – 5 человек. В их задачи входило обеспечение учебного процесса как по своей, так и по другим специальностям университета; методическое обеспечение читаемых курсов; профориентационная работа; научно-исследовательская госбюджетная и хозяйственная деятельность.

- совместители – 15 человек. В их число входили ведущие специалисты ряда лабораторий ИТПМ (12 человек) и 1 отделения «Аэродинамики и динамики полета» СибНИА – (3 человека). Основной задачей преподавателей-совместителей было чтение теоретических курсов и проведение практических и лабораторных занятий по специальным дисциплинам; профориентационная работа со студентами-аэродинамиками.

Ныне половина преподавателей кафедры доктора наук или профессора, многие из них – авторы монографий или учебников по читаемым ими курсам.

С 2006 г. кафедру возглавляет д.т.н., профессор С.Д. Саленко, один из первых штатных сотрудников кафедры.

Неоценимую работу по становлению кафедры и формированию её научной деятельности со стороны Сибирского отделения Академии наук выполнили: д.ф.-м.н., профессор, в прошлом – директор, ныне научный руководитель ИТПМ СО РАН академик Василий Михайлович Фомин и д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ИТПМ СО РАН ИТПМ Анатолий Михайлович Харитонов. На их плечах в значительной мере лежало создание учебного плана подготовки инженеров-аэрогидродинамиков, формирование преподавательского состава из числа сотрудников своего института.



А. М. Харитонов (1933-2016) – Заслуженный деятель науки РФ, лауреат Премии Совета Министров СССР, Член национального комитета России по механике, ученый – аэродинамик мирового уровня, внес огромный вклад в развитие экспериментальной базы ИТПМ, которому он отдал более полувека своей жизни. Анатолий Михайлович был также одним из инициаторов организации подготовки инженеров-гидроаэродинамиков в НЭТИ-НГТУ. Блестящие лекции, которые он читал на протяжении почти трех десятилетий, легли в основу фундаментального учебника «Техника и методы аэрофизического эксперимента», за который автор был удостоен Премии им. проф. Н.Е.

Жуковского.

Более сорока лет читал лекции студентам ССФ-ФЛА заместитель директора СибНИА, ведущий специалист в области аэродинамики, всемирно признанный ученый в области аэродинамического проектирования летательных аппаратов, Лауреат Государственных премий России 1998г. и 2003г., эксперт-аудитор Авиационного регистра Международного Авиационного Комитета С.Т.Кашафудинов (1931-2019).

Станислав Тиморкаевич умел сочетать интенсивную административную и научную работу с педагогической деятельностью. Его глубокие и содержательные лекции помнят многие поколения студентов-самолетчиков. Он был прекрасным популяризатором достижений отечественной авиационной отрасли, по его книгам учится строить самолеты и летать творческая молодежь России.





Более двадцати лет читал на кафедре лекции по курсу “Специальные разделы высшей математики” прекрасный специалист, доцент, а затем профессор, д.ф.-м.н Ветлуцкий Виталий Николаевич (1937-2009). В 1960 г. он окончил Московский физико-технический институт, и с той поры до последних дней работал в ИТПМ СО РАН. Специалист в области вычислительной аэродинамики, стипендиат фонда Гумбольдта. Свыше двух лет работал в Аэродинамическом институте при Высшей технической школе г. Аахена (ФРГ), где совместно с немецкими коллегами занимался

теоретическими исследованиями обтекания модели гиперзвукового космического самолета. Под научным руководством Виталия Николаевича защищено много магистерских и кандидатских диссертаций, им опубликовано более ста работ в научных журналах. Человек высочайшей эрудиции, блестящий преподаватель надолго останется в памяти своих учеников.



На протяжении почти четверти века на кафедре преподавал д.ф.-м.н, профессор, заведующий лабораторией А.В. Федоров (1946-2018). Один из первых выпускников физфака НГУ, пришедших работать в ИТПМ, Александр Владимирович со временем стал видным ученым в области вычислительной газодинамики реагирующих сред. За годы напряженной работы А.В. Федоров создал в своей лаборатории прекрасный научный коллектив, основу которого составляют его бывшие студенты - аэродинамики. Среди целой плеяды учеников Александра Владимировича – нынешние преподаватели кафедры доценты Гостев Ю.А. и Бедарев. И.А.

Большой вклад в создание материально-технической базы кафедры внес Ермачков Петр Архипович (1913-1995) – участник Великой Отечественной Войны, Ветеран Вооруженных Сил и Труда. Петр Архипович много сил и энергии отдал созданию лабораторно-экспериментальной базы кафедры АГД, строительству аэродинамической трубы Т-503. Многие лабораторные стенды и модели, изготовленные им, до сих пор используются в учебном процессе.

Петр Архипович был наставником молодежи, его уроки патриотизма, рассказы о Великой Отечественной Войне, помнят многие поколения выпускников факультета летательных аппаратов.

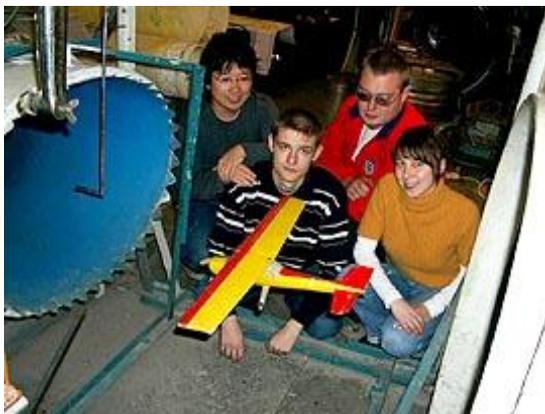


В последнее десятилетие преподавательский состав кафедры значительно обновился за счет собственных выпускников. Вчерашние студенты, защитившие кандидатские и докторские диссертации, становились научными сотрудниками и завлабами. Многие из них по совместительству преподают на родной кафедре. Среди них директор ИТПМ, член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н, профессор Шиплюк А.Н., заведующий лабораторией к.ф.-м.н. Бедарев И.А., с.н.с. к.ф.-м.н. Поливанов П.А., н.с. к.т.н. Крюков А.В. Среди штатных преподавателей кафедры, бывших ее выпускников – доценты к.ф.-м.н. Гостеев Ю.А. и к.т.н. Телкова Ю.В.

Учебный процесс

Кафедра выпускает бакалавров по направлению 24.03.03 и магистров – по направлению 24.04.03 “Баллистика и гидроаэродинамика”. При кафедре открыта аспирантура по направлению 01.06.01 – Математика и механика (профиль - механика жидкости, газа и плазмы).

Кафедра обучает студентов по двухуровневой системе подготовки.



Студенты получают глубокую физико-математическую и компьютерную подготовку. Основные специальные дисциплины – теоретическая и прикладная гидрогазодинамика, аэродинамика летательных аппаратов и динамика полета, численные методы механики сплошной среды, методы аэрофизического эксперимента, промышленная аэродинамика.

Благодаря разносторонней подготовке воспитанники кафедры работают не только в области теоретической и экспериментальной аэрогидродинамики. Среди выпускников немало высококлассных программистов, специалистов по трехмерной графике и прикладным пакетам, конструкторов, технологов, есть и предприниматели, директора солидных предприятий.

Профессорско-преподавательский состав кафедры (включая совместителей): десять профессоров, двенадцать доцентов, ассистент. Для выполнения хозяйственных работ часто привлекаются ведущие специалисты из других организаций.

В настоящее время кафедра имеет солидную материальную базу – это лаборатория аэродинамики промышленных объектов. В лаборатории есть две дозвуковые аэродинамические трубы – Т-503 с диаметром рабочей части 1,2 м и скоростью потока до 65 м/с и СС-19 с рабочей частью 0,6м*0,8м и скоростью потока до 30 м/с). Аэро-

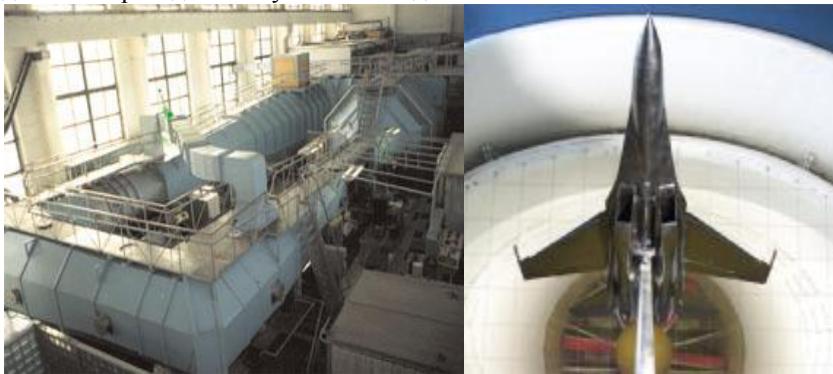


динамические трубы оснащены информационно-измерительным ком-

плексом на базе системы L-Card и ЭВМ, позволяющим вести управление аэрофизическим экспериментом и обработку его результатов в реальном масштабе времени. Для проведения основных типов аэродинамических экспериментов используется соответствующее оборудование (координатник, тензовесы, термоанемометры, датчики давления, микроанемометры и т.п.).

В Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича (ИТПМ СО РАН) создана Базовая кафедра Аэрогидродинамики, в работе которой задействованы ведущие специалисты института. С момента организации кафедры и по сей день важную роль в подготовке специалистов-аэродинамиков играет Сибирский научно-исследовательский институт авиации им С.А. Чаплыгина (СибНИА).

Обучение на кафедре с момента ее образования ведется по «физтеховской» системе. Начиная с третьего курса студенты активно занимаются научно-исследовательской работой с ведущими специалистами не только НГТУ, но так же ИТПМ СО РАН и СибНИА,. Это позволяет студентам получать знания «из первых рук», от исследователей непосредственно занимающихся и развивающих современные разделы аэрогидродинамики. На протяжении более трех десятилетий еженедельно читал лекции бывший директор, а ныне - научный руководитель ИТПМ академик В.М. Фомин. Значительный объем занятий проводится в ИТПМ, в том числе – на уникальном комплексе аэродинамических труб ИТПМ. Это дает неисчерпаемые возможности для обучения студентов и проведения научных исследований.



Основные научные направления кафедры

Что такое аэрогидродинамика написано в словаре – один из разделов механики, изучающий движение жидкостей и газов. Эти несколько слов не отражают диапазон задач, решаемых с помощью этой науки.

Бурное развитие аэрогидродинамики, имевшее место в начале и середине XX столетия, было связано с созданием авиационной, а затем и ракетной техники. Однако кроме этих направлений, ставших традиционными для таких учреждений, как ЦАГИ и ЦИАМ, СибНИА и ИТПМ, существовал также обширный раздел науки, известный как ПРОМЫШЛЕННАЯ АЭРОДИНАМИКА.

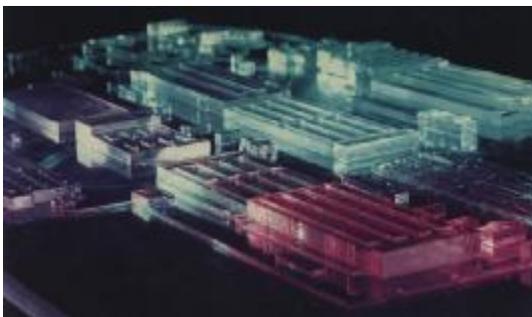
Одним из основных направлений работы кафедры АГД стало моделирование в аэродинамических трубах взаимодействия ветра с различными наземными сооружениями (зданиями, пролетными строениями мостов, градириями и т.д.).

В отличие от продувок моделей самолетов, при которых поток в аэродинамической трубе должен быть максимально равномерным, продувки моделей наземных сооружений требуют воспроизведения над экраном, имитирующим земную поверхность, распределения скорости и турбулентных характеристик потока, подобных натурному ветру. Несоблюдение этого условия может дать совершенно неверную картину воздействия ветра на объекты. Поэтому большое внимание на ранних этапах работ было уделено отладке методики моделирования приземного слоя атмосферы, соответствующего различным типам подстилающей поверхности.

Одной из первых работ в области промышленной аэродинамики было исследование в аэродинамической трубе макета второго микрорайона научного городка ВАСХНИЛ. При этом в тесном контакте с архитекторами решались задачи ветрозащитности жилой зоны (особенно детских и школьных площадок), предотвращения снежных заносов за счет рациональной планировки.



Визуализация структуры течения в приземном пограничном слое (второй микрорайон научного городка ВАСХНИЛ)

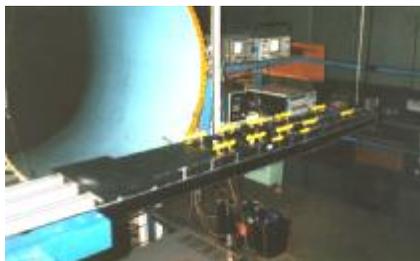


Связанное с этим направление – промышленная экология. Здесь ведутся работы по определению степени нарушения экологического баланса деятельностью котельных, дымовых труб, башенных градирен и других промышленных объектов.

Много хозяйственных договоров выполнено лабораторией по исследованию распространения вредных выбросов на территории промышленных площадок. При этом решались задачи выявления наиболее “вредных” источников и поиск способов снижения концентрации вредных веществ. В 2000 году было принято решение выделить из состава кафедры АГД кафедру инженерных проблем экологии (ИПЭ), которую ныне возглавляет бывший сотрудник ИТПМ, а затем и кафедры АГД и д.т.н. профессор В.В. Ларичкин.

Большой проблемой являются аэроупругие колебания сооружений в ветровом потоке. Например, в 1993г. при строительстве методом надвигки моста через р.Обь в г.Барнауле при вылете трехбалочной консоли около 80 м и скорости ветра 12-14 м/с возникли интенсивные колебания конструкции массой 1000 тонн с размахом около 1 м. В сжатые сроки на кафедре АГД была разработана и изготовлена динамически подобная модель пролетного строения, которая затем испытывалась в аэродинамической трубе кафедры. В процессе продувок был найден оптимальный вариант устройств для гашения колебаний. Причем надо отметить, что способы гашения колебаний, предлагаемые зарубежными учеными для сходных конструкций в этом случае оказались малоэффективными. Разработанные устройства были изготовлены и смонтированы на мосту. Дальнейшая надвигка показала высокую эффективность предложенных мер: на всех скоростях ветра, вплоть до 25м/с, колебаний конструкции не наблюдалось. В сентябре 1995 г. монтаж моста был успешно завершен.

Аналогичные задачи по гашению аэроупругих колебаний решались в 1996-2019 гг. для пролетных строений мостов через реки Томь в г.Томске, Иртыш в г.Омске, Томь в г.Кемерово, Обь в г.Новосибирске, Марха в Якутии-Саха..



Большой цикл работ проведен по исследованию механизма возбуждения аэроупругих колебаний для одно- и многобалочных плохообтекаемых конструкций при варьировании в широких пределах их геометрических параметров. Отлажена методика определения осредненных и пульсационных составляющих аэродинамической нагрузки на строительные сооружения, получены значения аэродинамических коэффициентов для ряда компоновок, разработана инженерная методика расчета аэроупругих колебаний протяженных конструкций. По данной тематике были защищены кандидатские диссертации преподавателями кафедры Обуховским А.Д. и Телковой Ю.В., а также – докторская диссертация Саленко С.Д.



Работы кафедры в области аэроупругости строительных сооружений и промышленной аэродинамики известны не только у нас в стране, но и за рубежом. Университет корейского города Ульсан приглашал научного руководителя данного направления проф. Саленко С.Д. для чтения лекций своим студентам.

На кафедре также проводятся теоретические и экспериментальные исследования внешней и внутренней аэродинамики новых форм дымовых труб и башенных градирен для ТЭС и АЭС, обеспечивающих более высокую по сравнению с традиционными формами производительность и повышенную надежность.

На другом “полюсе” диапазона работ такие неожиданные заказы, как экспертиза инкубатора - для определения зон, в которых воздух застаивается, вызывая замор яиц. Или коптилен - здесь заказчиков интересует, как направить воздушные потоки, чтобы обеспечить равномерную обжарку и проварку колбас по всей камере.

Особенностью научных работ кафедры АГД является их направленность на решение конкретных проблем и доведение работы до сдачи «под ключ», до внедрения результатов.

При непосредственном участии специалистов кафедры разработаны, изготовлены и испытаны опытные образцы ветроэнергетических установок мощностью 600Вт и 6кВт, причем 6-киловаттная установка выполнена по нетрадиционной схеме - с вертикальной осью вращения. В конструкции применен разработанный на кафедре и запатентованный механизм подвески лопастей, обеспечивающий надежный самозапуск при малых скоростях ветра, повышение на треть коэффициента полезного действия на номинальных режимах и ограничение оборотов при буревом ветре.

В 2002-2003 гг. на кафедре был разработан и изготовлен стендовый вариант жидкостно-воздушной системы охлаждения силового привода перспективного российского электровоза для Сибирского Филиала Всероссийского научно-исследовательского и конструкторско-технологического института Минтранса РФ, возглавляемого выпускником кафедры Алексеем Кураевым.



С начала 2000-х годов важным направлением работ кафедры является создание аэрофизических средств геологоразведки, транспортируемых под вертолетом. В содружестве с геофизиками спроектированы, запатентованы и изготовлены несколько аэрофизических зондов с площадью излучающей антенны от 40 м² до 310м², по многим показателям превосходящие зарубежные аналоги.

В процессе работы на основании аналитических и численных расчетов выбраны схема зонда,



оптимальный способ его подвески и положение центра масс, обеспечивающие устойчивость движения зонда во всем диапазоне эксплуатационных скоростей.

Проведено определение нагрузок и расчеты на прочность основных силовых элементов зонда, выполнен эскизный проект.

Использование транспортируемых под вертолетом зондов с большой площадью индуктора позволяет значительно снизить стоимость и увеличить глубинность и производительность аэроразведки с целью поиска месторождений полезных ископаемых и исследования георазреза.

Работы по аэродинамике жилых и промышленных комплексов, оторых начиналась научная деятельность кафедры в 1980-1990 гг., имели свое продолжение и в XXI веке. По заказу

ООО "Архитектурная мастерская ТЕКТОНИКА"(г. Красноярск) проведено исследование в аэродинамической трубе обтекания двух высотных зданий высотой более 100 метров. В процессе работы проведена визуализация течения, определены осредненные и пульсационные составляющие ветровой нагрузки, рассчитаны корреляции



Испытания моделей
высотных зданий
в аэродинамической трубе

пульсаций давления в различных точках на поверхности зданий, исследовано воздействие высоток на близлежащие здания. ю комфорта в пешеходных зонах.

Естественно, что кафедра не обходит стороной и авиационную тематику. По заказу ФГУП СибНИА им. С.А. Чаплыгина на кафедре была создана турбина, работающая на сжатом воздухе. Она предназначена для привода пропеллера при продувках моделей самолетов с целью изучения аэродинамической интерференции винтомоторной группы с элементами планера. Мощность на валу - 4 кВт, максимальная частота вращения 20000 об/мин, диаметр - 80 мм. При заданных габаритах и характеристиках пневмотурбина имеет в 4...6 раз меньшую массу по сравнению с соответствующими электродвигателями.

Наши выпускники

На кафедре подготовлено более четырехсот инженеров-гидроаэродинамиков и магистров, в том числе четыре иностранных студента подготовили и защитили магистерские диссертации.

Для наиболее одаренных и результативно работающих студентов в ИТПМ были учреждены стипендии имени академиков С.А. Христиановича, В.В. Струминского, Н.Н. Яненко и члена- корреспондента Р.И. Солоухина. За годы существования ими были удостоены около двадцати студентов.

Пять студентов кафедры удостоены стипендий Президента и Правительства РФ (А. Жилин, Ю. Харламова, И. Федорченко, И. Леонтьев, М. Ожгибесов), два студента (М. Тимофеев и П. Поливанов) – премии фирмы «Боинг». Более трех десятков студентов кафедры были стипендиатами областного правительства и мэрии г. Новосибирска.

Хотя кафедра относительно молодая, около сорока ее выпускников уже защитили кандидатские диссертации и четверо – (А. Шпиллюк, Т. Каратаева, М. Катасонов, В. Анискин)– докторские.

Тематика исследований наших выпускников самая разнообразная. К примеру, А.Сидоренко, ныне зав. лабораторией, зам. директора ИТПМ, занимается устойчивостью гиперзвуковых течений. Уже существуют сверхзвуковые самолеты летающие со скоростями, превышающими скорость звука в 2-3 раза. Следующая ступень – создание более быстрых гиперзвуковых летательных аппаратов. Один из проектов – разработка воздушно-космического самолета (ВКС), который взлетает и садится как самолет, а при полете в космическом пространстве перемещается как ракета.

В ИТПМ работы по устойчивости течений, по переходу ламинарного пограничного слоя в турбулентный ведутся и на "дозвуке", в лаборатории д.ф.-м.н. В.В.Козлова. В этом подразделении работают выпускники кафедры аэрогидродинамики НГТУ – д.ф.-м.н. М. Катасонов и к.ф.-м.н. В. Чернорай. Вместе с В. Совой, воспитанником кафедры аэрофизики и газовой динамики физфака НГУ, эта славная тройка сотрудников ИТПМ получила Государственную премию РФ 2003 года для молодых ученых за выдающиеся достижения в области науки и техники.

В ИТПМ работает выпускник кафедры АГД, доктор физ.- мат наук В. Анискин. Владимир - известный мастер «микроминиатюр», наш сибирский «левша», который может и блоху подковать, и разместить целое послание на маковом зернышке. Таких уникальных умельцев в России – всего несколько человек. В связи с развитием нанотехнологий талант В. Анискина оказался чрезвычайно востребованным. Так, он создал наноинструменты для проведения тончайших экспериментов: нанопроволочки для датчиков термоанемометра; шприц, с помощью которого можно ввести необходимое лекарство прямо в живую клетку и т.д.

Выпускники кафедры А. Бузюркин, А. Уткин и др. под руководством научного руководителя академика В.М. Фомина разработали и активно развивают новое научное направление – решение задач современной механики методом молекулярной динамики. Большой вклад выпускники кафедры (П.Поливанов, А. Будовский) вносят также в развиваемое в Институте направление – управление структурой сверхзвукового течения с помощью локального внешнего воздействия (электрический разряд, лазерное излучение, низкотемпературная плазма и т.д.).

Группа выпускников кафедры АГД (Д. Хотяновский, С. Никифоров, П. Ващенко, А. Кашковский и др.) занимается численным моделированием сложных многомерных задач современной механики в лаборатории вычислительной аэродинамики ИТПМ, возглавляемой д.ф.-м.н., профессором М.С. Ивановым. В числе успешно решенных задач – расчеты аэродинамики спускаемых космических аппаратов, в том числе аэродинамические расчеты, которые использовались при отработке траектории спуска космической станции «Мир».

О высоком уровне подготовки студентов на кафедре АГД говорит тот факт, что более десяти выпускников ее успешно работают по специальности за границей. Среди них А. Загорский, Д. Петров, О. Дегтярев, Д. Щербик, А. Лебедев, С. Хайдаров, А. Шворак, М. Логинов, С. Антонов, Г. Маркелов, И. Федорченко и др.

Естественная смена поколений привела к тому, что руководство базового для кафедры Института теоретической и прикладной механики в

значительной мере представлено ее выпускниками. Это директор института А.Н. Шиплюк, его заместители А.А. Сидоренко и Е.И. Краус, ученый секретарь Ю.В. Кратова, заведующий лабораторией И.А.Бедарев.

Важную роль играют выпускники нашей кафедры в работе ФГУП СибНИА им. С.А. Чаплыгина. В их числе Зайцев Валерий Юрьевич – начальник НИО-1 "Аэродинамика и динамика полета", участник разработки десятков типов самолетов, мастер спорта по планерному спорту, многократный призер чемпионатов России, тренер и член сборной России. Румянцев Андрей Геннадьевич – кандидат наук, ведущий научный сотрудник, видный специалист в области численных методов исследований аэродинамики летательных аппаратов. Морозов Максим Вениаминович – заместитель начальника лётно-испытательной базы ФГУП СибНИА им. С.А. Чаплыгина. В нелегкие 90-е он был одним из тех, кто поднял в небо первый самолет, созданный в студенческом КБ на факультете.

Благодаря разносторонней подготовке выпускники кафедры работают не только в области аэрогидродинамики. Среди выпускников немало высококлассных программистов, специалистов по трехмерной графике и пакетам прикладных программ, конструкторов, технологов, есть директора солидных предприятий.

Около 50 выпускников кафедры связали свой трудовой путь с ИТПМ СО РАН, около 30 – с СибНИА. Следует признать, что острой остается проблема закрепления молодых специалистов. В Сибирском отделении прилагаются все усилия для решения этого вопроса. Руководство СО РАН целенаправленно ведет молодежную политику, в частности, поддерживая и совместные работы с кафедрами вузов.

Деятельность кафедры аэрогидродинамики НГТУ – это хороший пример взаимодействия Высшей школы, Академии наук и отраслевых институтов по обработке механизма поиска и подготовки талантливой молодежи.

МЕХАНИКА УСТАНОВИВШЕГОСЯ ПОЛЁТА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ДВУХЗВЕННОЙ ПЛАНЕРНОЙ СИСТЕМЫ

М.А.Акимов^{1,2}, П.А. Поливанов²

**¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Akimail@yandex.ru**

**²Институт теоретической и прикладной механики им.
С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск**

Представлены результаты моделирования установившегося полета двухзвенной планерной системы. Показано, что двухзвенная планерная система способна достаточно длительное время парить в атмосфере используя только энергию сдвига ветра.

The results of modeling the steady-state flight of a two-link glider system are presented. It is shown that a two-link glider system is capable of soaring for a long time in the atmosphere using only wind shear energy.

Двухзвенная планерная система (ДПС) – это один из возможных вариантов исполнения атмосферного спутника. Два планера сцепленные длинным тросом и расположенные на разной высоте способны воспринимать разницу в скорости и направлении ветра. Такая конфигурация летательного аппарата может поддерживать горизонтальный полёт или даже набирать высоту, используя сдвиг бокового ветра по высоте. Впервые это техническое решение было предложено и запатентовано в 2012 г. Уильямом Энгблом (*William Engblom*) [1, 2].

На рис. 1 приведена схема сил, действующая на ДПС. В настоящей работе верхний планер, создающий подъёмную силу, обозначается как «планер», нижний, компенсирующий возникновение боковой силы при крене верхнего – как «якорь». Их характеристики и параметры обозначены с индексами «П» и «Я» соответственно. Все углы и силы приведены для скоростной системы координат и обозначены индексом «а».

Наличие сдвига поперечного ветра по высоте ΔW и связи между планерами позволяет создать углы крена γ_P, γ_Y и угол рыскания ψ_a , что отклоняет вектор аэродинамической подъёмной силы «планера» в направлении движения и создает эффективную тягу.

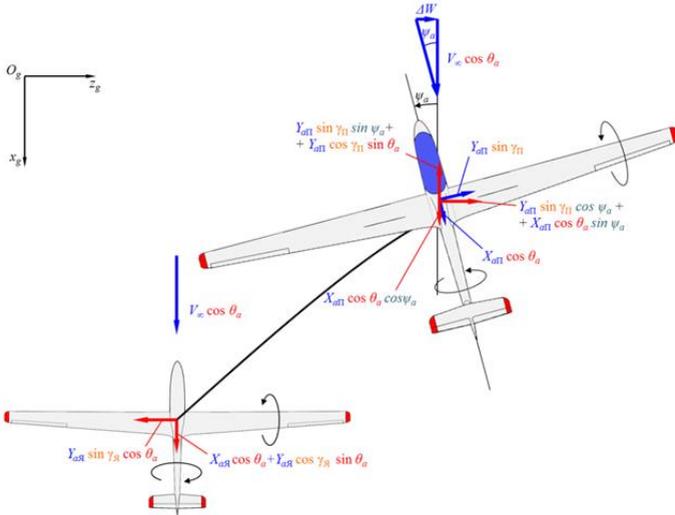


Рис. 1 – Вид сверху на двухзвенную планерную систему и силы, действующие на неё в горизонтальной плоскости

Условие горизонтального полёта. Считаем сдвиг ветра малым по сравнению со скоростью полёта ДПС, скольжение отсутствует. Запишем проекции сил на оси земной системы координат для установившегося движения в вертикальной плоскости:

$$\begin{cases} Y_{aП} \sin \theta_a \cos \gamma_{aП} + Y_{aП} \sin \gamma_{aП} \sin \psi_a - X_{aП} \cos \theta_a \cos \psi_a - Y_{aЯ} \sin \theta_a \cos \gamma_{aЯ} - X_{aЯ} \cos \theta_a = 0 \\ Y_{aП} \cos \theta_a \cos \gamma_{aП} - Y_{aЯ} \cos \theta_a \cos \gamma_{aЯ} + X_{aП} \sin \theta_a + X_{aЯ} \sin \theta_a - G_{П} - G_{Я} = 0 \\ Y_{aП} \sin \gamma_{aП} \cos \psi_a - Y_{aП} \sin \theta_a \cos \gamma_{aП} - X_{aП} \cos \theta_a \sin \psi_a - Y_{aЯ} \sin \gamma_{aЯ} = 0 \end{cases}$$

Введём допущения и обозначения:

$$\frac{Y_{aП}}{X_{aП}} = K_{П}, \quad \frac{Y_{aЯ}}{X_{aЯ}} = K_{Я}, \quad K_{Я} = K_{П} = K = const;$$

$$\frac{Y_{aЯ}}{Y_{aП}} = k, \quad \frac{X_{aЯ}}{Y_{aП}} = \frac{1}{K} \frac{Y_{aЯ}}{Y_{aП}} = \frac{1}{K} k;$$

$$\bar{Y}_a = \frac{Y_{aП}}{G_{П} + G_{Я}}.$$

Тогда получим:

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \theta_a = \frac{1}{K} \frac{\cos \psi_a + k}{\cos \gamma_{a\Pi} - k \cos \gamma_{aЯ}} - \frac{\sin \gamma_{a\Pi}}{\cos \gamma_{a\Pi} - k \cos \gamma_{aЯ}} \sin \psi_a \\ \bar{Y}_a = \frac{\cos \theta_a}{\cos \gamma_{a\Pi} - k \cos \gamma_{aЯ}} \\ k = \frac{\sin \gamma_{a\Pi}}{\sin \gamma_{aЯ}} \cos \psi_a + \frac{1}{K} \frac{\cos \theta_a}{\sin \gamma_{aЯ}} \sin \psi_a \end{cases} \quad (1)$$

Первое уравнение системы (1) можно представить в виде:

$$\operatorname{tg} \theta_a = \bar{P}_{\text{эф}} - \frac{1}{K_{\text{эф}}},$$

$$\text{где } K_{\text{эф}} = K \frac{\cos \gamma_{\Pi} - k \cos \gamma_{Я}}{\cos \psi_a + k}, \quad \bar{P}_{\text{эф}} = \frac{\sin \gamma_{\Pi}}{\cos \gamma_{\Pi} - k \cos \gamma_{Я}} \sin \psi_a.$$

Нетрудно видеть, что это классическое уравнение установившегося полёта самолёта в вертикальной плоскости. Для малых углов рыскания эффективное аэродинамическое качество системы определяется углами крена планеров, поскольку уменьшается вертикальная составляющая подъёмной силы. Эффективная тяга возникает вследствие наличия углов крена и рыскания и в их отсутствии не существует. Очевидно, что на «однозвенном» планере получить такой эффект, в стационарной постановке задачи, невозможно.

При малых значениях параметра k , используя первое и третье уравнения системы (1), можно получить условие, при котором возможен горизонтальный полёт двухзвенной планерной системы:

$$\psi_{a \min} = \frac{kK - \sqrt{(kK)^2 - 4(1+k)}}{2}.$$

При полёте без скольжения угол рыскания $\psi_{a \min}$ – это минимальный угол между общей скоростью двухзвенной планерной системы и полной воздушной скоростью «планера». Тангенс этого угла характеризует минимальную скорость сдвига ветра ΔW в долях скорости всей системы. Для планеров с аэродинамическим качеством 40 и значений параметра $k = 0,4 \dots 0,6$ доля ΔW составит $7 \dots 8\%$ (рис. 2), т.е. при скорости 100 км/ч, для горизонтального полёта сдвиг ветра должен составлять 1,94...2,22 м/с. Нужный сдвиг ветра обеспечивается за счёт длины троса, которым связаны планера. Например, при градиенте ветра 4 м/с на 1 км высоты, для приведённых условий расстояние между планерами составит около 500 м.

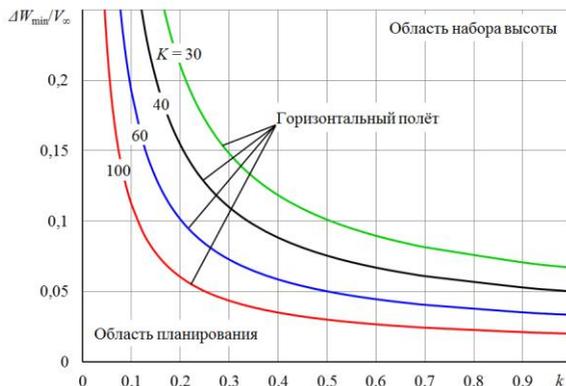


Рис. 2 Вид сверху на двухзвенную планерную систему и силы, действующие на неё в горизонтальной плоскости

В целом, можно утверждать, что при должном прогнозировании ветровой обстановки и методике полёта, двухзвенная планерная система способна достаточно длительное время парить в атмосфере используя только энергию сдвига ветра. Однако необходимо учитывать изменения силы и направления ветра, как во времени, так и в пространстве.

Литература:

1. Engblom W. Dual-Aircraft Atmospheric Platform // U.S. Patent Application No. 13/414,451, March 17, 2012.
2. Engblom W. Novel Approach to High-Altitude Long-Endurance Stationkeeping // AIAA 2012-3203, 30th AIAA Applied Aerodynamics Conference, New Orleans, 2012.

**ОБТЕКАНИЕ МОДЕЛИ БПЛА ПРИ ПОПАДАНИИ
В ТУРБУЛЕНТНЫЙ СЛЕД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ
ИСТОЧНИКА ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

А.В. Быков¹, А.М. Павленко², Б.Ю. Занин²

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, bykov.4nton@yandex.ru

²Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича, г. Новосибирск

Представлены результаты визуализации обтекания крыла дозвуковым потоком при попадании в турбулентный след. В качестве источника турбулентности использовались шерстяные нити и лески различного диаметра. Показано, что разные источники могут давать схожие результаты.

This paper presents the results of visualization of subsonic flow around the wing when it enters the turbulent wake. Hairy threads and fishing lines of different diameters were used as a source of turbulence. It is shown that different sources may give similar results.

Попадание летательного аппарата в турбулентный след не является редкостью и может приводить к катастрофическим последствиям. Говоря об беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) проблема становится более актуальной. Это связано с тем, что БПЛА, особенно малоразмерные, двигаются на низких высотах, где источников турбулентности становится в разы больше. В качестве таких источников могут выступать различные объекты от многоэтажных домов до птиц.

Изучению процессов, происходящих в пограничном слое, уделяется много внимания. Например, в научном труде [1] представлено большое количество информации об обтекании модели прямого крыла в различных условиях. Изучалось влияние выступов на поверхности крыла, звука и света на пограничный слой. В статье [2] описано влияние турбулентного следа от нити на обтекание модели прямого крыла.

Настоящая работа проводилась на базе ИТПМ СО РАН в аэродинамической трубе Т-324. Уровень турбулентности трубы составлял 0.04%. Велось изучение влияния турбулентного от различных источников турбулентности на обтекание моделей БПЛА. Размеры БПЛА приведены ниже (рис.1). В качестве источников турбулентности использовались гладкие лески с диаметрами 0.8, 2 и 3 мм, а также шерстяные нити с диаметрами 0.5, 1.5 и 3 мм.

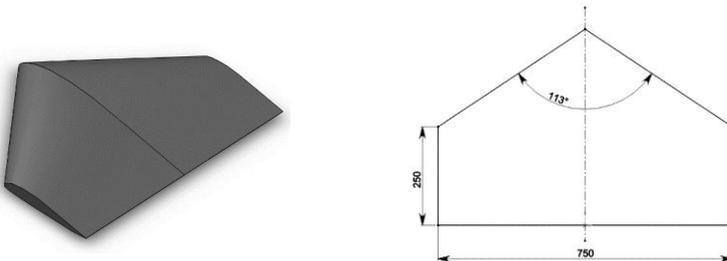


Рис. 1 – Модель БПЛА и ее геометрические размеры

Для визуализации обтекания использовался метод сажемаслянного покрытия. В качестве визуализирующего состава выступала смесь дву-

окси титана и керосина. Суть метода заключается в следующем: на поверхность модели, заранее установленной под нужным углом атаки в рабочую часть аэродинамической трубы, наносится состав при помощи кисти; далее труба выводится на необходимый режим; после высыхания керосина получившаяся картина линий тока фиксируется при помощи фотоаппарата.

Серия экспериментов проводилась при постоянном угле атаки $\alpha = 18^\circ$ и постоянной скорости свободного потока $U_\infty = 22.5$ м/с. Результат визуализации обтекания крыла потоком с базовой турбулентностью (Рис. 2, а) показывает, что при данном режиме происходит срыв потока с передней кромки и образуется возвратное течение с парой вихрей. Такая картина обтекания характера для критического угла атаки. Затем в рабочей раи натягивалась нить/леска ниже передней кромки модели на 20 мм, если угол атаки равен нулю. Когда модель попадает в след от лески диаметром 0.8 мм, срыв вблизи передней кромки сохраняется, также наблюдается возвратное течение и вихри (Рис. 2, б). Увеличение диаметра лески до 2-х мм привело к уменьшению вихря в левой части и сместило его фокус к левому концевому обтекателю (Рис. 2, с). Далее была установлена леска диаметром 3 мм. В результате размер правого вихря немного уменьшился в остальном, данный и предыдущий результат схожи (Рис. 2, d). Воздействие турбулентного следа от нити диаметром 0.5 мм похоже на воздействие лески диаметром 3 мм (Рис. 2, е). Увеличение диаметра нити до 1.5 миллиметров дало

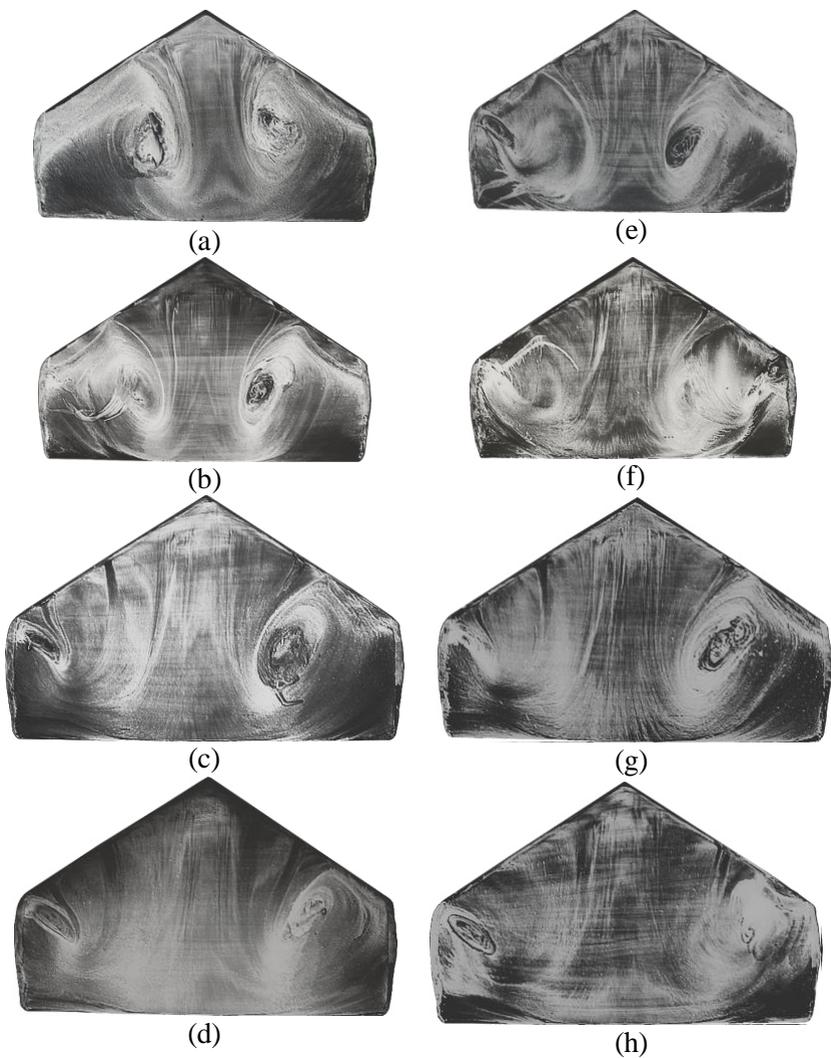


Рис. 2 – визуализация обтекания при $\alpha = 18^\circ$, $U_\infty = 22.5$ м/с;
 а – свободный поток; б – леска $\varnothing 0.8$ мм; в – леска $\varnothing 2$ мм; д – леска
 $\varnothing 3$ мм; е – нить $\varnothing 0.5$ мм; ф и г – нить $\varnothing 1.5$ мм; h – нить $\varnothing 3$ мм

интересные результаты (Рис. 2, f, g). Эксперимент с одинаковыми условиями повторялся многократно и было выяснено, что на крыле может образовываться два типа течения. Для первого типа характерно значительное увеличение зоны присоединенного течения и смещение фокусов вихрей к концевым обтекателям модели (Рис. 2, f). Второй тип повторяет результат полученные при попадании модели в след от нити диаметром 0.5 мм (Рис. 2, g). Дальнейшее увеличение диаметра нити до 3-х мм привело к значительному увеличению зоны присоединенного течения как в левой, так и в правой части крыла, фокусы вихрей смещаются к концевым обтекателям (Рис. 2, h).

Итак, в результате проделанной работы были получены фотографии, визуализации обтекания модели БПЛА при попадании в турбулентный след от различных источников. Было показано, что попадание в след может существенно повлиять на обтекание. При некоторых вариантах обтекания наблюдается увеличение зоны присоединенного течения лишь на половине крыла. Это может привести к срыву ЛА в штопор, поскольку может сместиться результирующая подъемной силы в сторону с наибольшей присоединенной зоной.

Литература:

1. Занин Б.Ю., Козлов В.В. Вихревые структуры в дозвуковых отрывных течениях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 116 с.
2. Михаэлис М.В., Занин Б.Ю., Катасонов М.М. Влияние турбулентного следа на отрыв потока на модели крыла // Вестник НГУ. Серия: Физика. – 2011. – Т.6, №1. – С. 50 – 59.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ЦИЛИНДРА С ПЕРЕДНЕЙ ПОРИСТОЙ ВСТАВКОЙ СВЕРХЗВУКОВЫМ ПОТОКОМ ГАЗА ПОД УГЛОМ АТАКИ

И.Р. Валиуллин^{1,2}, С.Г. Миронов¹

¹ **Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича, г. Новосибирск**

² **Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, valiullin.ilya@gmail.com**

В работе экспериментально исследуется влияние угла атаки на аэродинамические силы цилиндра с передней газопроницаемой пористой вставкой, обтекаемого сверхзвуковым потоком воздуха. Получены данные о влиянии длины, диаметра пор передней вставки и угла атаки модели на коэффициенты сопро-

тивления и подъемной силы. Показано, что использование газопроницаемых пористых вставок приводит к снижению сопротивления всей модели цилиндра более чем на 25%. При этом метод пористых вставок малочувствителен к изменению угла атаки в диапазоне от нуля до 25 градусов.

The effect of the angle of attack on the aerodynamic forces of a cylinder with a front gas-permeable porous insert flowed around by a supersonic air stream is experimentally investigated. The data on the influence of the length, pore diameter of the front insert and the angle of attack of the model on the coefficients of resistance and lift are obtained. It is shown that the use of gas-permeable porous inserts leads to a decrease in the resistance of the entire cylinder model by more than 25%. At the same time, the method of porous inserts is insensitive to a change in the angle of attack in the range from zero to 25 degrees.

Материалы и методы

Эксперименты проводились на аэродинамической трубе Т-327А ИТПМ СО РАН с коническим соплом, критический диаметр которого – 20мм, а выходной диаметр – 220 мм [1,2]. Экспериментальная модель состояла из сплошного цилиндра диаметром $D=14.5$ мм, передней пористой вставки из высокопористого ячеистого материала (ВПЯМ [3]) и тонкостенной подвижной трубки, изменяющей длину передней вставки из высокопористого ячеистого материала (ВПЯМ). Использовались образцы ВПЯМ с коэффициентом пористости $k=0.95$ (отношение общего объема пористого образца к объему скелета) и с диаметром пор $d=2$ мм.

Для определения аэродинамических характеристик моделей были проведены весовые измерения. Для этого были выбраны аэродинамические весы на основе тензометрического способа измерения нагрузок (см. Рис. 1).

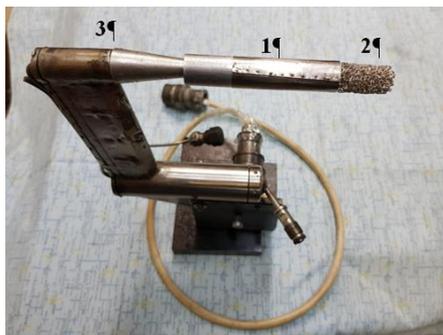


Рис. 1 – Экспериментальная модель: 1 - цилиндр с передней газопроницаемой вставкой; 2 - передняя пористая вставка из вспененного никеля; 3 - аэродинамические весы тензометрического типа

Результаты

Собрана и протарирована схема измерения числа Маха на выходе сопла.

Выполнены измерения распределения числа Маха поперек выхода сопла и определена область примерного постоянства числа Маха используемая для весовых измерений.

Протарированы тензометрические весы.

Проведены измерения аэродинамических сил вдоль потока и поперек потока при разных длинах пористой вставки и углах атаки. Получены данные о влиянии длины выдвижения передней пористой вставки на коэффициенты сопротивления и подъемной силы цилиндра (Рис. 2). Показано, что при относительной длине пористой передней вставки более 1 аэродинамические коэффициенты слабо меняются. С другой стороны, с ростом угла атаки аэродинамические коэффициенты существенно увеличиваются.

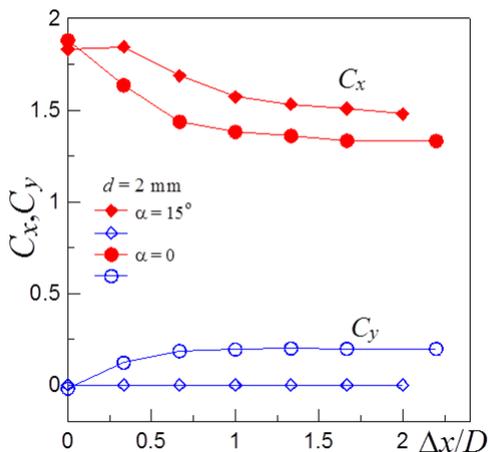


Рис. 2 – Зависимость коэффициентов сопротивления C_x и подъемной силы C_y цилиндра с передней вставкой из ВПЯМ от относительной длины пористой вставки $\Delta x/D$: $D=14.5\text{мм}$, $M_\infty = 7$, $Re_1 = 1.5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$, $d=2\text{мм}$.

Проведены измерения аэродинамических коэффициентов в зависимости от угла атаки как для сплошного цилиндра C_{x0} (Рис.3), так и для цилиндра с передней пористой вставкой C_x (Рис.4). Показано, что при углах атаки больше 25° коэффициенты сопротивления и подъемной силы приближаются к значениям аэродинамических коэффициентов сплошного цилиндра. Нормированный коэффициент сопротивления C_x/C_{x0}

также возрастает с ростом угла атаки, что говорит о снижении эффективности метода пористой вставки с увеличением угла атаки (Рис. 4). Однако в пределах углов атаки 0-15° эффективность метода достаточно высока (снижение сопротивления цилиндра с передней пористой вставкой достигает 25%).

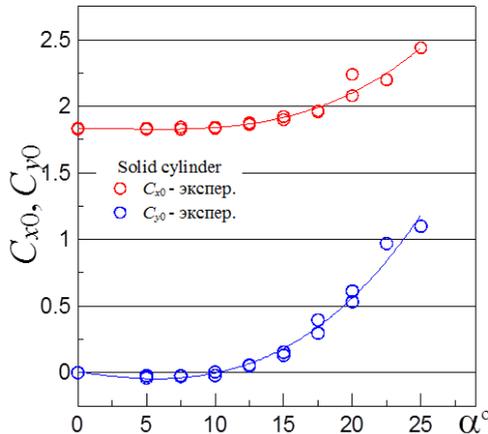


Рис.3 – Коэффициенты сопротивления и подъемной силы сплошного цилиндра. $D=14.5\text{mm}$, $M_\infty = 7$, $Re_1 = 1.5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$

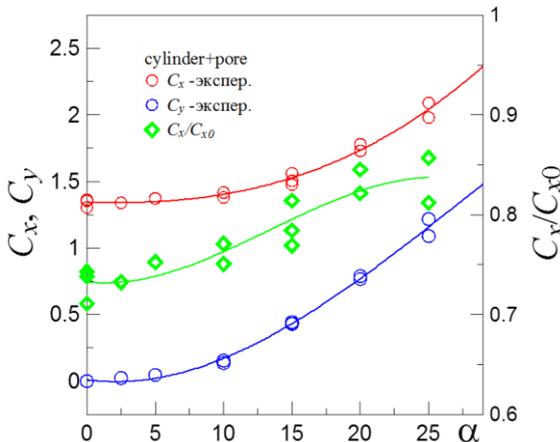


Рис.4 – Коэффициенты сопротивления и подъемной силы цилиндра с передней пористой вставкой: $D=14.5\text{mm}$, $M_\infty = 7$, $Re_1 = 1.5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$, $\Delta x/D = 2$, $d = 2 \text{ мм}$

План дальнейшей работы: Сопоставление данных измерений с результатами численного моделирования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант № 19-08-00113).

Литература:

1. Миронов С.Г., Цырюльников И.С., Маслов А.А. Управление аэродинамическими силами с помощью газопроницаемых пористых материалов // Письма ЖТФ. 2014. Т. 40. Вып. 19. С. 83-88.
2. Maslov A.A., Mironov S.G., Poplavskaya T.V., Kirilovskiy S.V. Supersonic flow around a cylinder with a permeable high-porosity insert: Experiment and numerical simulation // Journal of Fluid Mechanics. 2019. Vol. 867. P. 611-632.
3. Пористые проницаемые материалы. Справочное издание./ под. ред. С.В.Белова. М.: Металлургия, 1987.

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЙ В ПРОСТОМ ВОЗДУХОЗАБОРНИКЕ

И.Р. Васнев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sin9119@yandex.ru**

В данной статье рассмотрены особенности сверхзвукового вязкого и невязкого течений с ламинарным и турбулентным режимами первого в плоском воздухозаборнике. Проанализированы результаты численных расчётов из ANSYS FLUENT. Проведено сравнение численных расчётов с аналитическими. Выявлены особенности течений.

This article discusses the features of supersonic viscous and inviscid flows with laminar and turbulent regimes of the former in a flat air intake. The results of numerical calculations from ANSYS FLUENT are analyzed. The numerical calculations are compared with the analytical ones. The features of the currents are revealed.

Ход работы

Исходная геометрия воздухозаборника представлена на Рис.1.

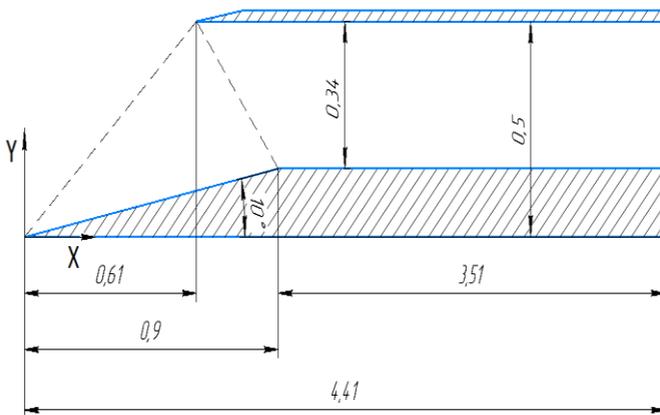


Рис. 1 – Исходная геометрия

Аналитическое решение предусматривает расчётный режим при $M_0 = 2$.

Расчётный режим – это режим сверхзвукового невязкого течения, на котором все скачки уплотнения, формируемые клином воздухозаборника на участке внешнего сжатия, фокусируются на переднюю кромку обечайки для обеспечения максимально возможного расхода воздуха через воздухозаборник.

Численный расчёт будет производиться при параметрах невозмущенного набегающего потока $T_0 = 216,65 \text{ К}$, $P_0 = 564 \text{ Па}$.

При численном расчёте невязкого течения проводится решение уравнений Эйлера методом установления.

Граничное условие Pressure outlet на выходе канала ВЗ.

При численном расчёте вязкого течения в турбулентном режиме проводится решение осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса методом установления, используется модель турбулентности $k - \omega$ SST (Shear-Stress Transport), которая эффективно сочетает устойчивость и точность стандартной $k - \omega$ модели в пристеночных областях и $k - \epsilon$ модели на удалении от стенки.

Были проведены расчеты на сетке с числом ячеек 100 в поперечных сечениях канала, число ячеек по длине участков канала выбиралось таким образом, чтобы расчетная сетка была близка к равномерной, общее число ячеек было равным 165 000 для всех вариантов расчета течений.

Невязкое течение

Распределение числа Маха и линия тока, исходящая из координаты $Y = 0.3$ набегающего потока, в данном течении представлены на Рис.2.

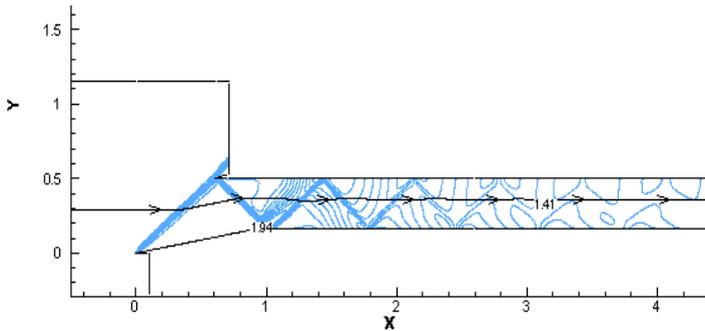


Рис. 2 – Распределение числа Маха по расчётной области при невязком течении

Вязкое течение, ламинарный режим

Распределение числа Маха и линия тока, исходящая из координаты $Y = 0.3$ набегающего потока, в данном течении представлено на Рис.3.

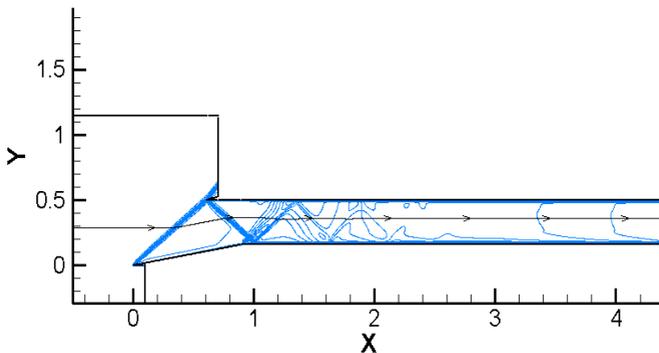


Рис. 3 – Распределение числа Маха по расчётной области в вязком течении при ламинарном режиме

Вязкое течение, турбулентный режим

Распределение числа Маха и линия тока, исходящая из координаты $Y = 0.3$ набегающего потока, в данном течении представлено на Рис.4.

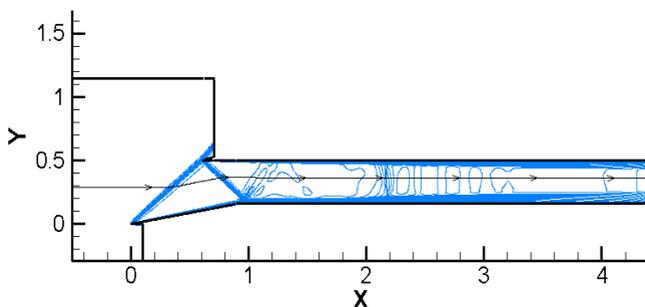


Рис.4 – Распределение числа Маха по расчётной области в вязком течении при турбулентном режиме

Вязкое течение, турбулентный режим, $M_0 = 1.7$

Распределение числа Маха и линия тока, исходящая из координаты $Y = 0.15$ набегающего потока, в данном течении представлены на Рис.5.

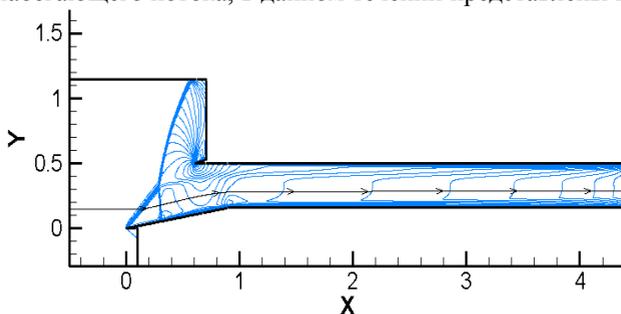


Рис.5 – Распределение числа Маха по расчётной области в вязком течении при турбулентном режиме

Для каждого режима были построены графики зависимости коэффициента давления $C_p(x)$ на верхних и нижних стенках воздухозаборника от координаты x и числа Маха $M(x)$ в зависимости от расположения на соответствующей линии тока, которые показаны на рисунках выше. Проведено сравнение с аналитическим методом. Выявлены особенности течений. Выявлены особенности течения, такие как влияние нарастания пограничного слоя на параметры потока, возникновения системы прямых скачков в горле, возникновения и перемещение точки трёх-скачковой конфигурации, и отрыв пограничного слоя.

Работа выполнена под руководством старшего научного сотрудника ИТПМ СО РАН Гунько Ю.П.

Литература:

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: 1987. – 840 с.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. Ч.1. – М.: 1991. – 600 с.
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. Ч.2. – М.: 1991. – 304 с.

**РАСЧЁТ ВЗЛЁТНО-ПОСАДОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

А.С. Виноградова¹, М.А. Акимов^{1,2}

**¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, angelsr1996@ngs.ru**

²Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

В работе средствами программирования численно интегрируется уравнение движения самолета, и сравниваются формулы для расчета разбега по методике Егера С.М., Бадягина А.А.

In this paper the software numerically integrates the equation of motion of the aircraft and compares the formulas for calculating the takeoff by the method of Jaeger, Badyagin, as well as.

В настоящее время проблемы расчета взлетно-посадочных характеристик (ВПХ) самолета занимают важное место. Частое несоответствие расчётных оценок фактическим результатам, предоставленных лётной исследовательской базой послужило поводом для настоящей работы.

Создание современного самолета невозможно без понимания основ динамики полета. На этапе разработки необходимо рассчитывать ВПХ, так как взлет и посадка являются наиболее сложными и ответственными этапами полета.

Проблема согласования натуральных и расчётных условий, ошибки пилотирования, которые зачастую заканчиваются трагически, поскольку времени и запаса высоты для их исправления практически нет, заставляет разрабатывать динамические модели.

Цель работы: создание программного обеспечения для расчета ВПХ, позволяющие пользователю описывать различные сценарии полёта и корректно оценивать и прогнозировать ВПХ на этапе разработки авиационной техники, проведения испытаний и во время эксплуатации.

1. Расчет по методике Егера С.М. и Бадягина А.А.

Для расчета длины разбега с достаточной точностью Бадягин в руководстве по проектированию лёгких самолётов [1] предлагает следующую формулу:

$$L_{раз} = \frac{m_0}{2g} \frac{v_{omp}^2}{P_{cp} - \frac{1}{3} \frac{m_0}{K_{взл}} - \frac{2}{3} f m_0}. \quad (1)$$

Выразим длину разбега через удельную нагрузку на крыло и тяговооруженность:

$$L_{раз} = \frac{P_{уд}}{0,7 C_{y_{a \max \text{взл}}} \rho \left(k_p P_0 - k_r \frac{1}{K_{разб}} - k_f f_{разб} \right)}, \quad (2)$$

где $k_p = 0,95$ $k_f = 0,33$ $k_r = 0,67$.

Егер С.М. приводит следующую формулу для расчета длины разбега (3):

$$L_{раз} = \frac{v_{omp}^2}{2g} \frac{1}{\left(\frac{10P}{m_0 g} \right)_{cp} - \frac{3}{2} f_{раз} - \frac{1}{2K_{разб}}}. \quad (3)$$

Так же приводим ее к безразмерному виду (4):

$$L_{раз} = \frac{1,2 P_{уд}}{C_{y_{\max \text{взл}}}} \cdot \frac{1}{k_p P_0 - k_f f_{разб} - \frac{k_r}{K_{разб}}}, \quad (4)$$

где $k_p = 0,95$ $k_f = 1,5$ $k_r = 0,5$.

Корректность работы данных формул для расчета длины разбега проверялась путём сопоставления с данными из руководства по летной эксплуатации (РЛЭ).

2. Интегрирование уравнения движения

Дистанция взлёта и посадки являются одними из основных критериев оптимизации, поэтому прибегнем к численным методам и проинтегрируем уравнение движения самолёта.

Поскольку взлёт и посадка осуществляется в плоскости симметрии взлётно-посадочной полосы (ВПП) и отклонения от траектории малы для корректного расчёта длин пробега и разбега достаточно одномерной модели движения материальной точки.

Система уравнений (5) является приближённым решением дифференциального уравнения движения в конечно-разностном виде:

$$\begin{cases} L_{i+1} = L_i + V_i \Delta t + 0,5 a_i \Delta t^2 \\ V_{i+1} = V_i + a_i \Delta t \\ a_{i+1} = \Delta P(V_{i+1})/m \end{cases} \quad (5)$$

где L – перемещение, V – скорость, a – ускорение, m – масса самолёта, ΔP – избыточная тяга двигателя, результирующая сил действующих на самолёт параллельно плоскости ВПП, i – номер шага по времени.

Начальные условия для расчёта разбега:

$$\begin{cases} L_0 = 0 \\ V_0 = 0 \\ a_0 = \Delta P(0)/m \end{cases} \quad (6)$$

Условие остановки интегрирования для разбега:

$$Y_k \geq G \quad (7)$$

Условие (7) показывает, что подъёмная сила крыла превысила вес самолёта на k -том шаге по времени и самолёт оторвался от ВПП. При малом шаге по времени за приближённое решение можно взять результат, полученный на k -том шаге по времени.

Для расчёта дистанции разбега необходимо задать начальную скорость выше ожидаемой скорости посадки и выполнить несколько предварительных итераций до достижения условия (7), когда подъёмная сила крыла станет меньше веса самолёта, что означает касание поверхности ВПП, полученная при этом скорость принимается за начальную скорость пробега.

3. Программное обеспечение для расчёта ВПХ

Программное обеспечение написано на языке С#. Объектно-ориентированный язык является очень удобным и эффективным способом написания программ для современной среды вычислительной обработки данных.

4. Отладка программного обеспечения

Наиболее достоверным источником информации о ВПХ самолётов являются руководства по эксплуатации (РЛЭ). Используя, упрощённые

моделей сил, действующих на самолёт, были проведены расчёты для самолётов Ан-2, Ан-26, Як-40, Ту-154, Ан-124-100.

Результаты расчетов приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Результаты расчетов длины разбега

Самолет	Ан-2[5, 29] (5,5т)]	Як-40 [2,27] (17,2т)	Ту-154 [1, 32] (100 т)	Ан-26 [4,20] (24 т)	Ан-124-100[3,17] (392т)	Як-52 (1315 кг)
Данные из РЛЭ	210 м	850 м	1500 м	870 м	2200 м	180 м
$E, м$	226	950	1746	877	2155	156
$\delta_E, \%$	7	11,7	16,4	0,8	2,0	13,3
$B, м$	182	679	1330	720	1656,2	138
$\delta_B, \%$	13	20	11,3	17	24,7	23,3
$DM, м$	229	897	1582	931	2310	182
$\delta_{DM}, \%$	9	5,5	5,46	7	5	1,11
$V_{от}, км/ч$	100	200	280	205	275	120
$P_{уд}, кг/м^2$	76,9	232,6	497,5	320,1	624	87,66
P_0	0,36	0,26	0,31	0,34	0,28	0,58

Максимальные погрешности в определении длин разбега по методике Егера и Бадягина превысили 10%, это говорит о том, что данные формулы считают «грубо» и недостоверно. Созданное нами программное обеспечение считает с минимальной погрешностью (менее 10%), и данный результат является приемлемым для дальнейшего использования.

Заключение

Результаты верификации показали приемлемость принятых допущений. Максимальные погрешности в определении длина разбега не превысили 10%.

Дальнейшим направлением работы станет совершенствование моделей сил, действующих на самолёт, путём учёта особенностей поляр и характеристик двигателей каждого их самолётов.

Литература:

1. Бадягин А. А., Мухамедов Ф. А. Проектирование легких самолётов/ А.А. Бадягин, Ф.А.Мухамедов.- М.: Машиностроение, 1978.-208 с.

2. Егер С. М., Мишин В. Ф., Лисейцев Н. К. и др. Проектирование самолётов: Учебник для вузов / Под ред. Егер С. М. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.

3. Подход к взвешенной оценке взлётно-посадочных характеристик самолёта / А. С. Виноградова, М. А. Акимов // Наука. Технологии. Инновации // Сборник научных трудов в 9ч./ под ред. Гадюкиной А.В.– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. –Часть 9. –241 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ В ЯЧЕЙКАХ КОМПЛАНАРНЫХ КАНАЛОВ

А.В. Золотухин, В.И. Терехов

**Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1
Новосибирский государственный технический университет,
630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20**

Главной особенностью данной исследовательской работы является экспериментальное изучение тонкой структуры течения, турбулентности и тепловых полей как в отдельной ячейке, так и группе ячеек компланарных каналов. В экспериментах используются бесконтактные оптические диагностические методы, такие как лазер-доплеровский измеритель скорости и тепловизионная техника с омическим нагревом тонких теплопроводящих слоев.

The main feature of this research work is an experimental study of the fine flow structure, turbulence and thermal fields in a separate cell, as well as a group of coplanar channels cells. The experiments use contactless optical diagnostic methods, such as laser-Doppler velocity meter and thermal imaging technology with ohmic heating of thin heat-conducting layers.

Компланарные каналы представляют собой оригинальную конструкцию с перекрестно расположенными ребрами, выполненными на противоположных поверхностях канала, и обеспечивающих перекрестное течение теплоносителя [1]. В одних из первых работ компланарные тракты были получены путем скрепления двух гофрированных поверхностей так, чтобы они соприкасались друг с другом, но канавки в них были под разными углами [2, 3]. Затем между этими сопряженными поверхностями пропускали теплоноситель.

Работы большинства авторов, выполненные по данной тематике, говорят о том, что использование компланарных трактов вместо гладких каналов значительно увеличивает гидравлическое сопротивление, но также способствует возрастанию теплообмена в **3 – 6 раз**, что очень

актуально в отраслях промышленности, в которых используются детали и агрегаты с высокими тепловыми нагрузками. Они активно используются в охлаждаемых лопатках ГТД (газотурбинных двигателей), камерах ЖРД (жидкостных ракетных двигателей), рекуперативных теплообменниках и зеркалах лазеров [4, 5].

Проблема заключается в том, что большинство экспериментальных данных получены интегрально, т.е. без изучения местных эффектов. А изученные локально достаточно неточны, так как получены численными методами, которые имеют множество допущений, что не может дать точной картины всех процессов, происходящих внутри компланарных трактов. Поэтому целью данной экспериментальной работы является изучение локальных эффектов и обнаружение возможных местных феноменов.

После изучения имеющихся на данный момент работ по компланарным каналам, было обнаружено, что самые используемые углы скрещивания ребер – 60° , 90° и 120° [1, 4, 5].



Рис. 1 – Фото рабочих участков. Угол между перекрещенными ребрами 2β равен 60° , 90° и 120° (слева направо)

На рис.1 представлены фотографии трех участков с компланарными каналами, которые образованы скрещивающимися ребрами под углом 2β равным 60° , 90° и 120° . 2β – это так называемый угол «скрещива-

ния», в то время как просто β – это угол между ребром и вектором направления основного потока.

Рабочий канал имеет длину 406 мм, ширину 150 мм и высоту 20 мм. Материалом, из которого сделаны стенки основного канала, является текстолит. Он обладает необходимыми массово-прочностными характеристиками и является относительно доступным. Ребра, которые образуют компланарные каналы, выполнены из стали толщиной в 1 мм и шириной 10 мм. Большинство ребер имеют разную длину и все покрыты пластмассой черного цвета, предотвращая тем самым возникновение бликов при изучении аэродинамики с использованием оптических методов, а также позволяя избежать короткого замыкания между ребрами при изучении теплообмена в компланарных каналах.

Части входного участка (перед рабочим каналом) были выполнены из стали и покрыты полимерной краской черного цвета (для предупреждения коррозии металла, а также для избегания возможных бликов в процессе экспериментов с помощью оптических методов измерения). Входной участок состоит из переходника, диффузора, поворотного колена, участка отбора давления и конфузора, который выполнен с применением профиля Витошинского. Основная функция входного участка – вносить как можно меньше возмущений в поток воздуха, протекающего в нем, и уменьшать все возможные возмущения и пульсации, которые могут быть в потоке до него.

Для диагностики вихревого потока в ячейках компланарных каналов используется лазерно-доплеровская измерительная система для 2D диагностики ЛАД-06С. Измерительная система перемещается с помощью трехмерного координатного устройства вдоль оси сканирования с шагом 0,0125 мм

На рис. 2 изображен график, на котором показана зависимость измеренного перепада давления в рабочих участках с компланарными каналами при разных углах β от числа Re , вычисленному по гидравлическому диаметру канала. Три кривые наглядно показывают, на сколь существенно влияет каждый рабочий участок на сопротивление в канале. С повышением угла скрещивания β между ребрами, возрастает и перепад давления – например, при одном и том же числе Re (возьмем $1,4 \cdot 10^4$) перепад в канале с ребрами под углом $\beta = 30^\circ$ меньше чем в канале с $\beta = 60^\circ$ примерно в 9,5 раз. Столь сильная разница в сопротивлении говорит и о различной структуре движущегося в канале потока, а, следовательно, и на теплообмен, который в дальнейшем предстоит изучить.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект РФФИ 19-38-90030).

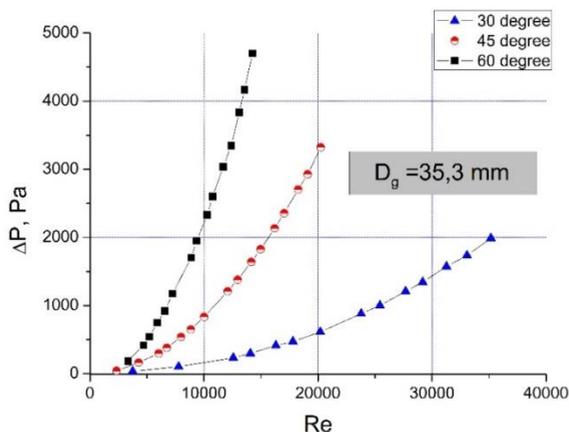


Рис. 2 –Зависимость перепада статического давления ΔP (Па) в тракте с компланарными каналами от числа Рейнольдса

Литература:

1. Теплогидравлическая эффективность применения компланарных трактов охлаждения камер ЖРД/Александренков В.П.//Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2015. № 2 (101). С. 44-56.
2. Характеристики теплоотдачи и гидравлического сопротивления теплообменных поверхностей со скошенными каналами/Говард// Энергетические машины и установки. – 1965. – 87, № 1. – С. 85-101.
3. Кейс В.М. Компактные теплообменники: [пер. с англ.] /В.М. Кейс, А.Л. Лондон – М.: Энергия, 1967. – 224 с.
4. Эффективные методы интенсификации теплообмена в системах охлаждения лопаточных аппаратов высокотемпературных газовых турбин/Ануров Ю.М.//Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / С.-Петерб. гос. политехн. ун-т. Санкт-Петербург, 2005
5. Гидравлические сопротивления в каналах прямоугольного сечения со скрещивающимся оребрением/Соколов Н.П., Полищук В.Г., Андреев К.Д.//Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2013. № 2 (171). С. 85-94.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ПОВОРОТНО-РАСШИРЯЮЩЕМСЯ ПОТОКЕ

С.В. Какаулин, Д.П. Езендеева, М.Р. Гордиенко, А.К. Кабардин
Новосибирский государственный технический университет,
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, kakaulin_sergeri@mail.ru

Проведены экспериментальные исследования турбулентного потока в поворотно-расширяющемся рабочем участке при различных режимных параметрах. Определены характеристики турбулентного потока. Проведено численное моделирование и сопоставление с экспериментальными данными на основе известных современных моделей турбулентности, проведен сравнительный анализ для выявления области применимости каждой модели

Experimental studies on the rotation-divergent flow control with detailed diagnostics of turbulent characteristics were performed. A numerical simulation and comparison with experimental data on the basis of the well-known modern models of turbulence has been performed, a comparative analysis has been carried out to identify the region of applicability of each model.

Эффективность массопереноса обусловлена равномерностью полей скорости и мелкомасштабной турбулентности в реагирующем потоке. Потоки реагентов в реальных установках и реакторах осуществляют в условиях сложной геометрии с поворачивающимися и расширяющимися участками, в которых происходят отрывы потока, а также формируются пристенные струи и зоны возвратного течения. При появлении зон возвратного течения с отрывом пограничного слоя формируются нестационарные дорожки Кармана. Подобные эффекты, как правило, увеличивают гидродинамическое сопротивление потока и ухудшают равномерность турбулентного массопереноса. При численном моделировании таких явлений требуется верификация и модернизация моделей турбулентности для адекватного описания массопереноса, а также чтобы понять какая полуэмпирическая модель турбулентности может адекватно описывать турбулентное течение в поворотно-расширяющихся каналах.

Актуальность объясняется исключительной сложностью турбулентности как физического явления и частой реализацией турбулентной формы движения в задачах интенсификации массопереноса.

Выбор модели осуществлялся на основе сравнения результатов расчетов, выбранных моделей турбулентности в выбранном диапазоне параметров и экспериментальных данных. Из моделей турбулентности выбраны модель Спаларта-Аллмарэса, $k-\epsilon$ модель турбулентности, $k-\omega$ модели турбулентности, $k-kl-\omega$ модели турбулентности, модель переноса

са Рейнольдсовых напряжений, модель моделирования крупных вихрей. Измерение полей скоростей было решено проводить с помощью оптических методов диагностики методом Лазерной доплеровской анемометрии и цифровой трассерной визуализации, поскольку они обладают высокой точностью и не возмущают поток.

Для исследования области применимости моделей турбулентности в задачах интенсификации тепломассообмена в поворотно-дивергентном течении создан рабочий участок и аэродинамический измерительный стенд для его испытания (рис. 1). Рабочий участок состоит из следующих функциональных блоков: секция перед поворотным устройством, два поворотно-расширяющихся участка, и двух секция секциях контроля потока.

Проведены экспериментальных исследования кинематики потока в макете распределения газовых потоков с помощью метода лазерной доплеровской анемометрии.

Получены данные по распределению скорости и проведен анализ структуры газовых потоков и степени неоднородности течения газа. Измерения проводились в трех сечениях на входе в макет, в поперечном сечении перед первым поворотом и в измерительной секции после первого поворота.

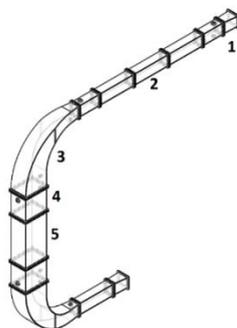


Рис. 1 – 3D-модель рабочего участка (1-входное отверстие; 2-участок перед поворотным устройством, 3 - поворотное устройство, 4 – секция контроля, 5 - участок перед вторым поворотным устройством)

Эксперимент и расчеты показывают, что после поворота течение имеет две характерные области. Первая область отвечает области струйного течения, где сосредоточен основной поток. Вторая область – область возвратного течения. При этом в эксперименте область возвратного те-

чения занимает примерно 2/3 от площади поперечного сечения потока, а в расчете 1/3.

Определение границ применимости моделей турбулентности произведено путем сравнения результатов экспериментальных измерений и результатов численного моделирования (рис. 2,3). Сравнялось как качественное соответствие результатов расчет так и количественные характеристики. Анализировалось поле скорости перед первым поворотом в продольном сечении, поле скорости в продольном сечении после первого поворота и поле скорости в выбранном поперечном сечении после поворота. В качестве количественных характеристик выбраны следующие величины: ширина зоны возвратного течения, величина максимума скорости в пристенной струе, максимум скорости в зоне возвратного тока и положения максимума скорости пристеночной струи, и максимума возвратного тока.

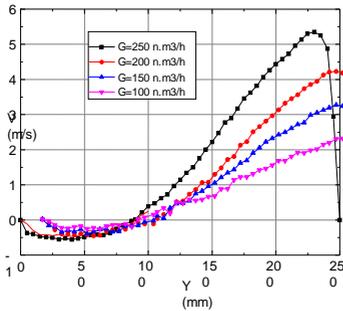


Рис. 2 – Профили скорости после поворотного устройства при разных значениях массового расхода

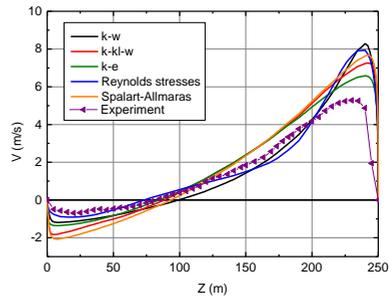


Рис. 3 – Сравнение эксперимента и расчета для расхода $G = 250 \text{ н.м}^3 / \text{ч}$

Лучшее соответствие с экспериментом показали модели k-ε и модель переноса Рейнольдсовых напряжений. Обе модели хорошо описывают течение на качественном уровне. Обе модели хорошо описывают размер зоны возвратного течения в диапазоне расхода 50-250 н.м3/час, однако дают большое расхождение по величине максимум пристеночной струи и величины максимума зоны возвратного тока для всех величин расхода кроме 50 н.м3/час. Остальные модели менее адекватно описывают течение.

Экспериментальное исследование кинематических свойств потока выполнено в рамках государственного задания ИТ СО РАН (АААА-А18-118051690120-2), исследование границ применимости моделей турбулентности выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 18-31-20036)

Литература:

1. Гарбарук А. В., Стрелец М. Х., Травин А.К., Шур М. Л. Современные подходы к моделированию турбулентности, – СПб, Изд-во Политехн. ун-та. - 2016. – 238 с.

2. Reynolds O. On the Dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion//Phil. Trans. Roy. Soc. - 1895. - Vol. 186. - P. 123–161.

РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИИ СПУСКА СУБОРБИТАЛЬНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.А. Королёв¹, А.В. Кашковский²

**1. Новосибирский Государственный Технический Университет, г.
Новосибирск, koroleval97@mail.ru**

2. Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича

Поскольку космический туризм является перспективным и развивающимся направлением туризма, то существует интерес для исследования и создания летательных аппаратов, позволяющих совершить такой полёт по низкой цене. Целью данной работы является расчёт параметров и траектории спуска суборбитального космического летательного аппарата (КЛА) с помощью специально разработанной программы.

Since space tourism is a promising and developing area of tourism, there is interest in the research and development of aircraft that allow such a flight at a low price. The purpose of this work is to calculate the parameters and trajectory of the descent of the suborbital spacecraft using a specially developed program.

Для того, чтобы попасть в космос, достаточно пересечь линию Кармана: условную границу Земной атмосферы, проходящей на высоте 100 км. Поэтому, один из способов космического туризма является суборбитальный полёт. Туристический аппарат с помощью ракетных двигателей забрасывается на высоту более 100 км и спускается на землю. Спуск является наиболее важным этапом полета. При баллистическом спуске в разреженной атмосфере аппарат разгоняется до сверхзвуковых скоростей, и входя в более плотные слои атмосферы подвергается интенсивному торможению с перегрузками до 10 g, что не комфортно для

туристов [1,2]. Использование подъёмной силы крыльев позволяет перевести КЛА в горизонтальный полёт с меньшими перегрузками, и осуществить посадку по-самолётному. Но и переход в горизонтальный полёт на сверхзвуковой скорости тоже может привести к большим перегрузкам и поэтому, требует поиска оптимальной траектории [3].

В данной работе расчёты проводились для модели КЛА с возможностью отклонения рулевых поверхностей (см. Рис. 1).

Траекторию полёта можно разделить на этапы:

Этап 1. Свободное падение с высоты H_0 (обычно 100 км) до высоты H_1 . На данном этапе управление рулями высоты не осуществляется, так как на большой высоте атмосфера разрежена, поэтому эффективность рулей недостаточна для управления аппаратом. Начальное положение рулей задаётся в диапазоне $-30\dots30^\circ$. Падение происходит с начальным углом атаки α_0 , начальной скоростью V_0 .

Этап 2. Осуществляется выход из падения. Данный этап начинается при достижении высоты H_1 и оканчивается началом горизонтального полёта, условием которого является равенство вертикальной составляющей скорости $V_y = 0$ м/с. Работа рулей высоты осуществляется по специальному алгоритму, позволяющему снизить значение перегрузки.

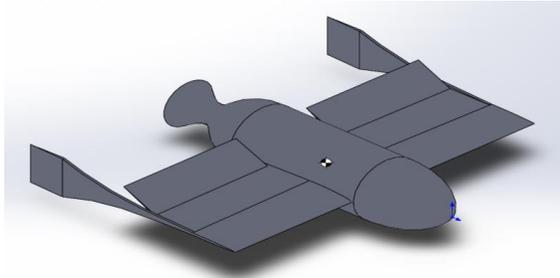


Рис. 3 - Модель КЛА с отклонёнными рулями высоты

Этап 3. При достижении вертикальной составляющей скорости движения $V_y = 0$ м/с, осуществляется перевод рулей высоты в положение, обеспечивающее достаточное значение коэффициента подъёмной силы C_y для совершения горизонтального полёта [4]. В случае, когда поддерживать необходимое значение C_y с помощью рулей высоты невозможно, происходит переход на планирование.

Этап 4. Планирование осуществляется с таким углом атаки α , при котором достигается максимальное аэродинамическое качество аппарата [5]. На данном этапе расчёт заканчивается.

Было проведено по 4 расчёта: для двух значений α_0 и двух значений H_1 , которые указаны в таблице 1.

Таблица 1- Начальные данные

Номер расчёта	Начальный угол атаки α_0 , град.	Высота отклонения рулей H_1 , км
1	90	95
2	90	65
3	0	95
4	0	65

Для расчёта траектории использовались уравнения движения и вращения, которые решались методом Рунге-Кутты 4 порядка с автоматическим изменением шага по времени [6,7]. Для ускорения вычислений использовались табулированные значения аэродинамических характеристик КЛА, которые были предварительно рассчитаны для чисел Маха от 1.1 до 4, углов атаки от -180 до 180. Промежуточные значения аэродинамических характеристик определялись с помощью линейной интерполяции [8].

На рисунках 2-3 показано изменение угла атаки по времени. Этап 1 и 2 реализуется в период от 0 до примерно 100 с, этап 3 примерно до 200 с, и затем начинается этап 4.

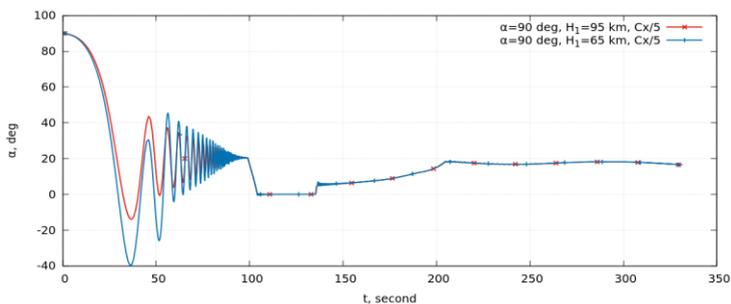


Рис. 4 - Изменение угла атаки при $\alpha_0=90^\circ$

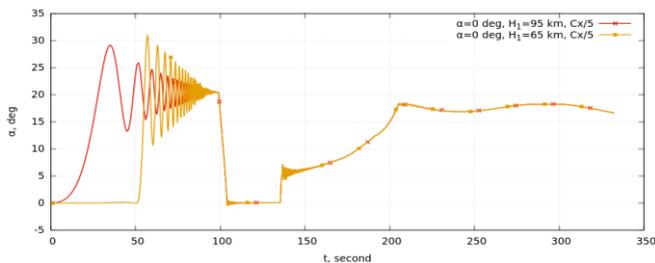


Рис. 5 - Изменение угла атаки при $\alpha_0=0^\circ$

Видно, что на этапе выхода из падения реализуется наибольшая амплитуда колебаний, и значит, наибольшие вращательные ускорения. Далее все изменения угла атаки и угловой скорости связаны с изменением положения руля. При угле атаки $\alpha_0=0^\circ$ и отклонении рулей в самом начале движения осуществляется наиболее оптимальный вариант полёта, обеспечивающий наименьшую продолжительность и величину колебаний.

В качестве основных результатов работы можно выделить:

- Наиболее выгодный вариант начального положения КЛА соответствует углу атаки $\alpha_0=0^\circ$, и установки положения руля высоты на выход из падения на максимальной высоте полёта. При данном варианте реализуется наименьшая амплитуда колебаний КЛА.
- Управление рулём высоты позволяет уменьшить перегрузки до приемлемых величин.

Литература:

1. Справочник по физике / Яворский Б.М., Детлаф А.А. – 3-е изд., испр. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 624 с.
2. Чепурных И. В. Динамика полёта самолётов: учеб. пособие – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 112 с.
3. Аэромеханика самолёта: Динамика полёта: учебник для авиационных вузов / А. Ф. Бочкарёв, В. В. Андреевский, В. М. Белоконов [и др.]; под ред. А. Ф. Бочкарёва, В. В. Андреевского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 360 с.
4. Динамика полета, Учебник для авиационных вузов / Мхитарян А.М. (ред.) — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1978. — 424 с.
5. Саленко С. Д., Обуховский А. Д. Динамика полета. Ч.1. Траектории летательных аппаратов: учеб. пособие – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014 –140 с.

6. Заусаев А. Ф. Разностные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. // Учебное пособие. Самарский гос. техн. ун-т. – Самара, 2010 - 100 с.
7. Iserles A. A First Course in the Numerical Analysis of Differential Equations. — Cambridge: Cambridge University Press, 1996 – 459 p.
8. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. — 6-е изд. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008 — 636 с.

СРАВНЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ УГЛОВ С ПОМОЩЬЮ МНОГОКАНАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА ВОЗДУШНОГО ДАВЛЕНИЯ

В.В. Куликов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, asmodey3598@yandex.ru**

В данной статье рассмотрены проблемы методики оценки погрешности определения аэродинамических углов с помощью многоканального приемника воздушного давления МПВД. Проанализирована методика определения погрешности и различные варианты канальности зондов. На данной основе было выявлено проведено сравнение результатов полученных для 5-ти и 7-ми канального зонда, а также был проведен расчет на двух углах при заданных результатах и заранее подобранных датчиков давления.

This article discusses the problems of the methodology for assessing the error in determining aerodynamic angles using a multichannel receiver of air pressure. The methodology for determining the error and various options for the probability of the probes is analyzed. On this basis, a comparison was obtained of the results obtained for the 5 and 7-channel probe, and also a calculation was made at two angles with the given results and pre-selected pressure sensors.

Давно известны способы определения параметров атмосферы в процессе полета или взлета-посадки. Ярким примером этого является МПВД, который применяется для определения параметров атмосферы [1-3].

Существует множество различных конфигураций данного зонда [4-5], варьирование которых напрямую влияет на погрешность измерения. Например с уменьшением канальности зонда или с изменением схемы подключения на нестандартную падает точность.

Актуальность изучения обусловлена применением результатов исследования в решении таких задач как:

Обработка методики вычисления погрешности и использования принципа аналогии расчета в иной конфигурации;

Усовершенствование конфигурации зонда.

Цель исследования заключается в сравнение результатов погрешности для 5-ти и 7-ми канального зонда, для выявления зависимостей в определении, а также проведения расчета при заданных параметрах для таких зондов.

В работе сравниваются: 1) 5-ти и 7-ми канальные зонды; 2) схемы измерения с N- абсолютными датчиками давления (здесь N=5,7 – количество приемных отверстий) и схемы с (N-1) дифференциальными датчиками и 1 датчиком абсолютного давления.

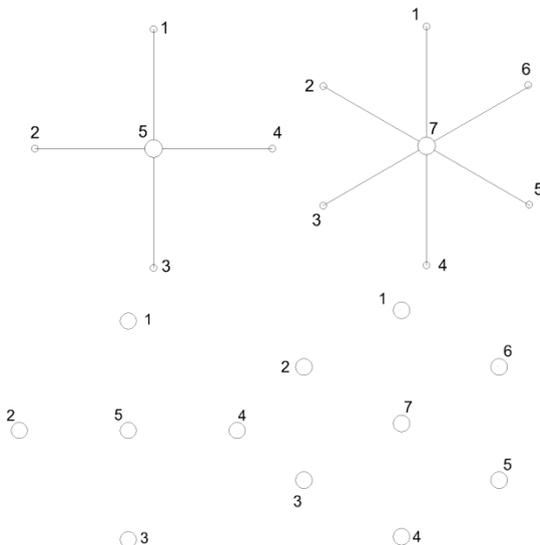


Рис. 1 – Схема подключения 5-ти и 7-ми канального МПВД для 1 (правые схемы) и N – абсолютными датчиками давления соответственно.

Как показано в [4,6], ошибка в определении угла при использовании схемы с одним абсолютным датчиком давления определяется следующим образом:

$$\sigma_{\theta 5} = \frac{tg\psi(1 + 3\cos 2\theta)^2}{16(3 + \cos 2\theta)} \cdot \sqrt{2 + \frac{1}{4}C_{\theta 5}^2} \cdot \frac{\sigma_w}{C_q} \cdot \frac{1}{q}$$

$$\sigma_{\theta 7} = \frac{tg\psi(1 + 3\cos 2\theta)^2}{\frac{16}{\sqrt{3}}(3 + \cos 2\theta)} \cdot \frac{\sqrt{2 + \frac{1}{6}C_{\theta 7}^2}}{C_q} \cdot \frac{\sigma_w}{q}$$

Здесь:

$$C_{\theta 5}^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{8\sqrt{2} \sin(2\theta)}{tg\psi(1 + 3\cos 2\theta)} \right)^2$$

$$C_{\theta 7}^2 = \frac{3}{4} \left(\frac{8\sqrt{2} \sin(2\theta)}{tg\psi(1 + 3\cos 2\theta)} \right)^2$$

$$C_q = \frac{9}{32} (1 - \cos 2\psi)(1 + 3\cos 2\theta)$$

$\psi = 35^\circ$ – угол, под которым располагаются отверстия относительно центрального;

θ – угол между вектором скорости набегающего потока и осью, проходящей через центральное отверстие;

σ_w — инструментальная погрешность датчика давления;

q — скоростной напор.

В случае расчета по схеме с N- абсолютными датчиками давления, меняется лишь коэффициент при $C_{\theta 5}^2$ и $C_{\theta 7}^2$ на 19/18 и 55/36 соответственно.

За инструментальную погрешность датчиков примем значения представленные в таблице 2.

Результаты расчетов сведены в таблицы 3 и 4.

Таблица 1. — Входные данные

Величина	v , м/с	P , Па	T , °C	ρ , кг/м ³	q , Па
Значение	30	10^5	15	1,21	544,5

Таблица 2. — датчики давления и их погрешность

Название датчика	Тип	Погрешность	Максимальное показание
NSCDJN005NDU NV	дифференциальный	0,25%	1245 Па
SDX15A2	абсолютный	0,2%	103421 Па

Таблица 3. — Результаты расчета 5-ти канального зонда

	Абсолютные датчики		Дифференциальные датчики	
	$\theta = 0$	$\theta = 20$	$\theta = 0$	$\theta = 20$
Величина	$\sigma_{\theta 5}, ^\circ$			
Значение	7,2791	16,7304	0,1095	0,1221

Таблица 4. — Результаты расчета 7-ми канального зонда

	Абсолютные датчики		Дифференциальные датчики	
	$\theta = 0$	$\theta = 20$	$\theta = 0$	$\theta = 20$
Величина	$\sigma_{\theta 7}, ^\circ$			
Значение	6,3119	14,270	0,0949	0,1057

Как видно, погрешность для 7-ми канального зонда меньше погрешности для 5-ти канального.

На данном этапе было рассмотрено влияние количества приемных отверстий МПВД на ошибки измерения. Работа выполнена под руководством Старшего научного сотрудника ИТПМ СО РАН Шевченко А.М. и младшего научного сотрудника ИТПМ СО РАН Шмакова А.С.

Литература:

1. Brandon M. Witte, Robert F. Singler and Sean C. C. Bailey. Development of an Unmanned Aerial Vehicle for the Measurement of Turbulence in the Atmospheric Boundary Layer // Atmosphere/8,195/ 2017.
2. Radiance Calmer, Greg Roberts, Jana Preissler, Solène Derrien, and Colin O'Dowd. 3D Wind Vector Measurements using a 5-hole Probe with Remotely Piloted Aircraft // Atmospheric Measurement Techniques Discussions/ 233 / 2017.
3. Aline van den Kroonenberg and Tim Martin. Measuring the Wind Vector Using the Autonomous Mini Aerial Vehicle M⁽²⁾AV// Journal of atmospheric and oceanic technology/1970/ 2008.
4. A. M. Shevchenko, D. R. Berezin, L. N. Puzirev, A. Z. Tarasov, A. M. Kharitonov, and A. S. Shmakov. Multi-hole pressure probes to air data system for subsonic small-scale air vehicles// AIP Conference Proceedings /1770, 030005/ 2016.
5. A. M. Shevchenko, and A. S. Shmakov. Multi-hole pressure probes to wind tunnel experiments and air data systems. // AIP Conference Proceedings/ 1893, 030088/ 2017.
6. Бродецкий М.Д., Шевченко А.М. Оценка ошибок пневмометрической системы измерения параметров пространственного потока // Теплофизика и аэромеханика. 2001, №3, С. 441-452.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТЕПЛОВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ Д-36

О.А. Куликова¹; А.М. Красюк²

¹ Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, olatennis@211.ru

² Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск

При эксплуатации газотурбинных двигателей в качестве тепловентиляционных установок для протяженных железнодорожных тоннелей в условиях резко-континентального климата Сибири и Дальнего востока двигатели могут работать как на крейсерском, так и номинальном режиме работы. В данном исследовании определены параметры работы газотурбинной установки на базе турбореактивного двигателя Д-36, использующей в качестве топлива сжиженный углеводородный газ.

When operating gas turbine engines as thermal ventilation units for long railway tunnels in the sharply continental climate of Siberia and the Far East, the engines can operate both at cruising and nominal operating conditions. In this study, the parameters of the gas turbine installation based on the d-36 turbojet engine, using liquefied petroleum gas as fuel, are determined.

Одной из основных проблем эксплуатации протяженных железнодорожных тоннелей в условиях резко-континентального климата Сибири и Дальнего востока (к примеру, Северо-Муйского тоннеля) является наледообразование на внутренних конструкциях тоннеля [1,2]. Наледообразование происходит при прохождении поезда по тоннелю из-за поступления холодного воздуха снаружи и теплотрат на нагрев железнодорожного состава [2, 3], при этом припортальные калориферные установки прогревают воздух только на небольшом удалении от порталов тоннеля. В средней части тоннеля образуются наледи и сосульки, которые приходится сбивать вручную, для обеспечения безопасности прохождения поездов [2]. В работах [1,4,5] проведено обоснование применения конвертируемого турбореактивного авиадвигателя Д-36 в качестве тепловентиляционной установки (ТВУ) для обогрева тоннелей. В качестве топлива предлагается использовать сжиженный углеводородный газ – СУГ. Так как СУГ, в отличие от авиационного топлива, не имеет в своем составе связанного азота, величина выбросов окислов азота снижается в 1,5-2 раза.

Авиационный двигатель может работать в нескольких режимах, в частности, номинальном и крейсерском. Главное отличие данных режимов заключается в различной тяге R , кН. На крейсерском режиме (К)

она составляет 16 кН, на номинальном (Н) – 50 кН. В качестве тепло-вентиляционной установки для обеспечения теплового режима железнодорожного тоннеля двигатель может использоваться как на крейсерском, так и на номинальном режимах в зависимости от температуры холодного атмосферного воздуха.

В качестве примера приведен термодинамический расчёт двигателя при температуре атмосферного воздуха -40°C . Исходными данными для расчёта ТРДД является тяга R , степень двухконтурности m , степень повышения давления воздуха во внутреннем контуре $\pi^*_{к\Sigma}$, степень повышения давления воздуха в наружном контуре (в вентиляторе) $\pi^*_{вл II}$, температура перед турбиной $T^*_Г$. Декомпозиционная схема двухконтурного турбореактивного двигателя Д-36 с характерными точками, в которых определяются термодинамические параметры газового и воздушного потоков, показана на рисунке 1.

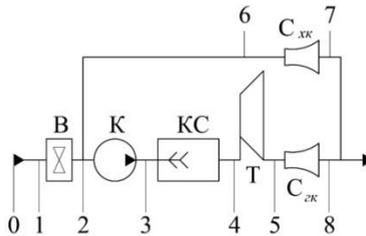


Рис. 1 – Декомпозиционная схема Д-36: В – вентилятор, К – компрессор, КС – камера сгорания, Т – турбина, $C_{вн}$ – сопло внутреннего контура, $C_{вн}$ – сопло внешнего контура, 0 – начальные условия, 1 – вход в вентилятор, 2 – выход из вентилятора, 3 – вход в камеру сгорания, 4 – вход в турбину, 5 – вход в сопло внутреннего контура, 6 – вход в сопло внешнего контура, 7 – выход из сопла внешнего контура, 8 – выход из сопла внутреннего контура

Проведен расчёт термодинамических параметров работы авиационного двухконтурного двигателя Д-36 на крейсерском (К) и на номинальном (Н) режимах. Результаты расчёта сведены в таблицу 1. Характерные точки 0...8 приведены на рисунке 1.

**Таблица 1- Результаты термодинамического расчета
двигателя Д-36**

Точка		0	1	2	3	4	5	6	7	8
К	Т, К	233	233	251	401	1253	1013	251	237	875
	Р, Па	933 25	9239 0	1164 00	93320 0	90520 0	3525 00	1152 00	9332 5	9332 5
Н	Т, К	233	233	263	472	1510	1152	263	239	995
	Р, Па	933 25	9239 0	1340 00	18660 00	18100 00	5412 00	1326 00	9332 5	9332 5

Расходы воздуха во внутреннем и наружном контурах составили:

– в крейсерском режиме: $G_{\text{вк}}=59,1$ кг/с, $G_{\text{зк}}=10,5$ кг/с;

– в номинальном режиме: $G_{\text{вк}}=151,8$ кг/с, $G_{\text{зк}}=27,1$ кг/с.

Литература:

1. Красюк А.М., Лугин И.В., Куликова О.А.О применении двухконтурного турбореактивного двигателя для обеспечения теплового режима железнодорожных тоннелей в суровых климатических условиях / А.М. Красюк, И.В. Лугин, О.А. Куликова// ГИАБ. – Москва, 2018. – №2. – с. 103-110.

2. Лугин И.В., Витченко А.А.Поддержание требуемого температурного режима в северо-муйском тоннеле в холодный период года средствами тоннельной вентиляции / И.В. Лугин, А.А. Витченко// Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – Новосибирск : ИГД СО РАН, 2014. – т. 1. – №1. – с. 210-214.

3. Лугин И.В., Куликова О.А.Влияние конструктива вагонов и вида перевозимого груза товарного состава на процессы теплообмена в протяженных железнодорожных тоннелях в холодный период года / И.В. Лугин, О.А. Куликова //Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – Новосибирск : ИГД СО РАН, 2017. – т. 4. – №1. – с. 136-141.

4. Куликова О.А., Лугин И.В. Влияние топлива на эффективность использования турбореактивного двигателя в качестве тепловентиляционной установки в тоннеле / О.А. Куликова, И.В. Лугин // Наука. Промышленность. Оборона, труды XVII Всероссийской

научно- технической конференции. – Новосибирск : НГТУ, 2016. – с. 294-297.

5. Красюк А.М., Лугин И.В., Куликова О.А. Исследование термодинамических процессов в теплообменнике при использовании турбореактивного двигателя для подогрева воздуха в железнодорожном тоннеле / А.М. Красюк, И.В. Лугин, О.А. Куликова // ИнтерэкспоГеоСибирь. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – т.5. – с. 91-95.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДУШНЫХ СТРУЙ НА ПОВЕРХНОСТИ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

К.С. Меньшиков

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kirill.menshikov.1997@mail.ru**

Проведены измерения сил, действующих на трубы конвективных поверхностей охлаждения больших котельных агрегатов при воздействии на них импульсных воздушных струй от системы очистки. Представлены экспериментальные результаты ударно-волнового воздействия.

The forces acting on the tubes of convective cooling surfaces of large boiler units when exposed to pulsed airflow from the cleaning system were measured. The experimental results of the shock-wave action are presented.

Введение

Генеральное направление энергетической и энергопотребляющих отраслей промышленности состоит в повышении эффективности работы энергетических установок. Важным резервом повышения эффективности тепловых энергетических установок является устранение загрязнения теплообменных поверхностей золовыми отложениями, содержащимися в дымовых газах (проблема шлакования).

В любом случае появление золовых отложений вызывает серьезные ограничения в обеспечении длительных максимальных нагрузок работы энергетических агрегатов. Регулярное включение систем очистки позволяет поддерживать поверхности нагрева в конвективной шахте котла в эксплуатационно-чистом состоянии, в результате чего улучшается теплообмен между уходящими газами и поверхностями нагрева и, следовательно, снижается температура уходящих газов.

Известны различные способы борьбы с проблемой шлакования. Длительное время основными способами очистки поверхностей печей были газоимпульсная очистка, паровая обдувка и дробеочистка. Однако экс-

плутация паровых и водогрейных котлов, котлов-утилизаторов, нагревательных печей, показала недостаточную эффективность и надежность традиционных средств очистки [1]. Как показывает опыт эксплуатации, надежных и эффективных средств очистки поверхностей нагрева от золовых отложений до настоящего времени не существует.

Пневмоимпульсная очистка предназначена для удаления рыхлых и сыпучих золовых отложений на конвективных поверхностях нагрева с помощью высокоэнергетических воздушных струй. В основу пневмоимпульсных систем очистки заложено ударно-волновое воздействие мощных импульсных струй воздуха на золовые отложения. Воздействие осуществляется с помощью специальных пневмогенераторов (ПГ), который заполняется воздухом, а затем выбрасывает этот воздух за доли секунды, что позволяет увеличить секундный расход в сотни раз и организовать мощное импульсное воздействие на обрабатываемые поверхности [2].

Описание установки

Экспериментальное исследование производилось при помощи специального стенда (рис.1). В основу экспериментального стенда входит: пневмоимпульсный генератор ПГ-25/8 и система труб. Перед экспериментом производится тарировка датчиков давления и тензодатчиков (рис.2). С помощью АЦП снимаются показания, которые преобразуют непрерывный (аналоговый) входной сигнал в цифровую форму для удобства обработки сигнала при помощи ПК. Для более точного результата необходима повторяемость эксперимента, что в данной работе легко выполнимо.



Рис. 1 – Экспериментальный стенд

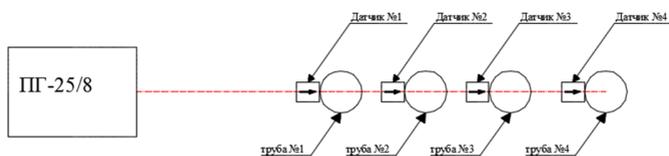


Рис. 2 – Схема расположения тензодатчиков

Результаты экспериментов

Перед началом основных исследований было выявлено давление в нестационарной воздушной струе (рис.3). Давление в форкамере ПГ монотонно уменьшается (синяя линия). Через 15 мс ударная волна достигает трубы №1 (черная линия).

Измерения сил определялись рядом экспериментов при $P=7,8$ атм на расстоянии 1, 1.5 и 2 м. Типичные результаты приведены на рис. 4-7.

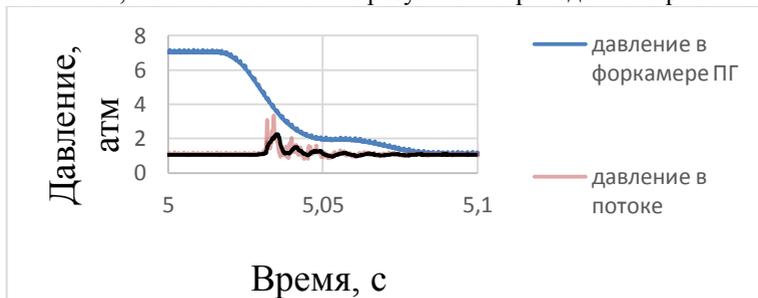


Рис. 3 – Зависимость давления по времени

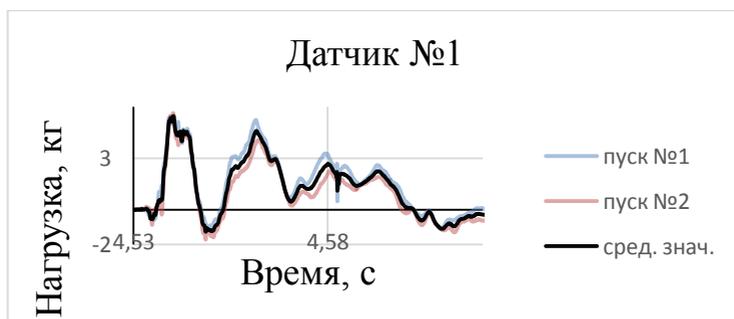


Рис. 4 – Зависимость нагрузки по времени для двух запусков при $P=7$ атм

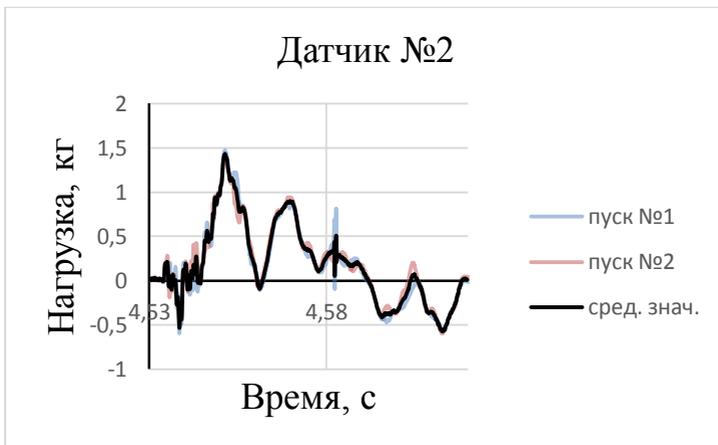


Рис. 5 – Зависимость нагрузки по времени для двух запусков при $P=7$ атм

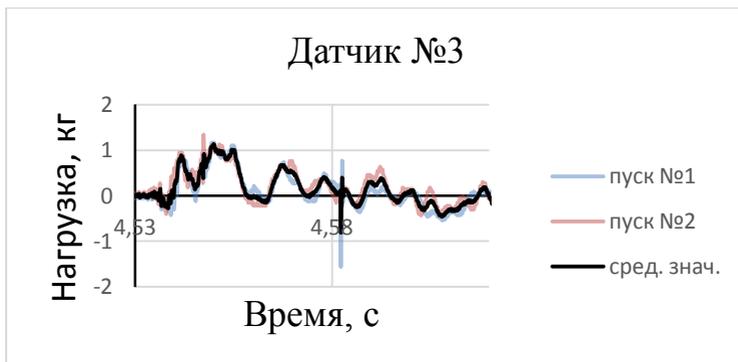


Рис. 6 – Зависимость нагрузки по времени для двух запусков при $P=7$ атм

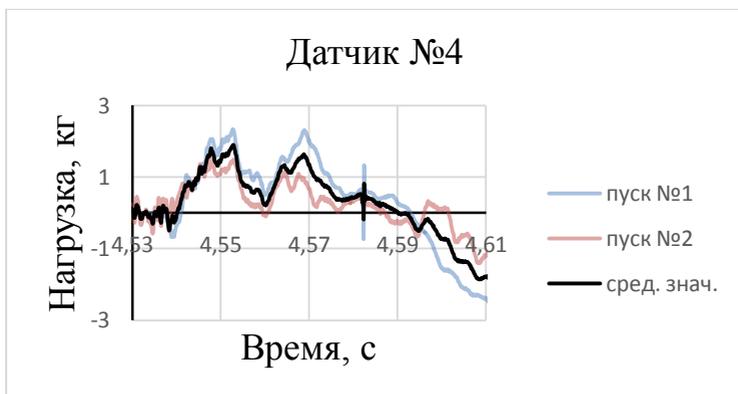


Рис.7 – Зависимость нагрузки по времени для двух запусков при $P=7$ атм

Стоит отметить тот факт, что один конец трубы жестко закреплен, ударная волна приходит в середину трубы, а датчики расположены на другом её конце, поэтому величину нагрузки, снятую с датчиков, увеличиваем вдвое (рис. 8).

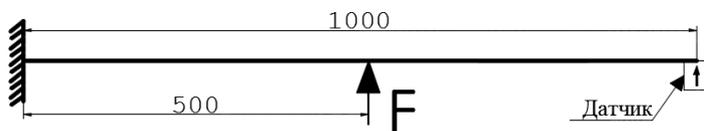


Рис. 8 – Схема измерения сил

Литература:

1. Пугач Л.И. Шлакование котельных агрегатов и способы борьбы с ними / Ч. III. Пассивные способы борьбы со шлакованием. Новосибирск, Сибтехэнерго. Технический отчет, №4136, 1976.
2. Звезинцев В.И. Газодинамические установки кратковременного действия. В двух частях. Часть 2. Установки для промышленных приложений. – Новосибирск: Параллель, 2015. – 339.

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХЗВУКОВОГО СТРУЙНОГО НЕРАСЧЕТНОГО ТЕЧЕНИЯ

И.В. Меньщикова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, imenshhikova@yandex.ru**

Представлена методика и результаты исследования сжимаемого струйного течения контактно-бесконтактным методом. Метод основан на решении уравнения Бернулли с помощью результатов экспериментов (измерение поля скорости методом PIV и измерение поля давления трубкой Пито). Рассмотрено сверхзвуковое нерасчетное струйное течение с параметрами $M_\infty=1$, $N_{pr}=9$.

The method and results for investigating of compressible jet flow by a contact - contactless method are presented. The method is based on the solution of the Bernoulli equation using experimental results (it is measuring the velocity field by PIV method and measuring the pressure field by Pitot tube). A supersonic off-design jet flow with parameters $M_\infty=1$, $N_{pr}=9$ is considered.

Введение

Один из подходов расчетно-экспериментального определения газодинамических параметров - метод определения поля давления по полю скорости, полученному методом PIV [1]. Метод основан на решении системы уравнений сохранения количества движения (уравнения Эйлера, Навье-Стокса или Рейнольдса), с подставленными в нее исходными данными PIV-измерения. Далее определяется поле давления, а затем и все остальные требуемые параметры. Такой метод был применен для дозвуковой струи [2], были выявлены его достоинства и недостатки. Недостаток метода в том, что результаты зависят от качества исходных данных, а полученные в эксперименте данные необходимо численно дифференцировать, что может привести к накоплению большой погрешности окончательных результатов.

Для устранения этой погрешности был предложен еще один расчетно-экспериментальный контактно-бесконтактный метод, представленный в данной работе. В данном методе дифференцирование исходных данных не нужно, так как расчет проводится с измеренными значениями параметров потока.

Полученные результаты сравнивались с численным расчетом в программном пакете ANSYS Fluent.

Методика исследования

В качестве исходных данных используются: поле скорости, измеренное методом PIV и поле осредненного полного давления, измеренное трубкой Пито.

Из уравнения Бернулли с использованием уравнения состояния Менделеева – Клапейрона определяются все требуемые газодинамические параметры потока. Давление p определялось из формулы Рэля в зависимости от числа Маха:

$$\left. \begin{aligned} \frac{p_0}{p} &= \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}, & M < 1 \\ \frac{p'_0}{p} &= \frac{\frac{2k}{k+1} M^2 - \frac{k-1}{k+1}}{\left[\frac{4k}{(k+1)^2} - \frac{2(k-1)}{(k+1)^2} \frac{1}{M^2}\right]^{\frac{k}{k-1}}}, & M \geq 1 \end{aligned} \right\},$$

где p_0 – полное давление, p'_0 – полное давление за прямым скачком уплотнения, p – статическое давление, M – число Маха, k – постоянная адиабаты.

Результаты исследования

Метод проверен на примере восстановления газодинамических параметров звуковой недорасширенной струи с числом Маха на срезе сопла $M_a = 1$ и $N_{pr} = 9$ (здесь N_{pr} – “Nozzle pressure ratio” – отношение давления в форкамере установки к давлению окружающего струю воздуха).

На рис.1 показаны исходные данные, измеренные в эксперименте (рис.1 *a* – шпирен-фотография исследуемого течения, рис.1 *б* – поле осредненного полного давления, измеренное трубкой Пито, рис.1 *в* – поле продольной компоненты скорости, измеренные методом PIV, рис.1 *г* – поле радиальной компоненты, измеренные методом PIV).

На рис.2 показаны восстановленные с помощью уравнения Бернулли поля чисел Маха и статического давления по данным эксперимента.

На рис.3 *a* показаны осевые профили чисел Маха. На рис.3 *б* представлено сравнение осевых профилей статического давления, полученных разными методами: контактно-бесконтактным методом (на графике линия обозначена как эксперимент), бесконтактным методом (интегрирование по двум направлениям, продольному x и радиальному y) и численное решение в пакете ANSYS Fluent (на графике линия обозначена как расчет).

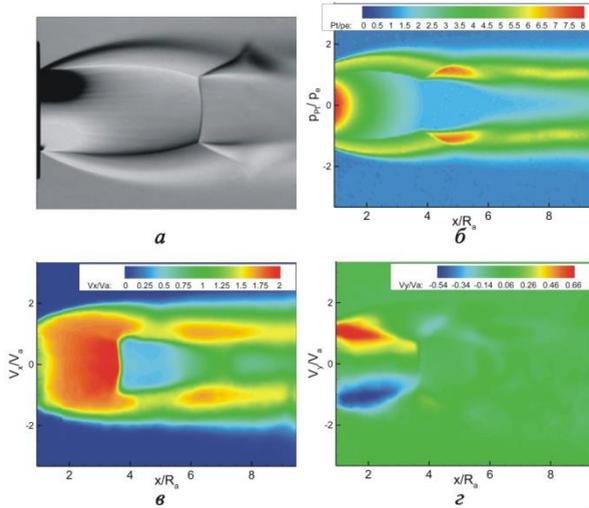


Рис. 1 – Исходные экспериментальные данные: а - шлирен-фотография исследуемого течения; б - исходное поле давления; в – исходное поле продольной компоненты скорости; г – поле радиальной компоненты скорости

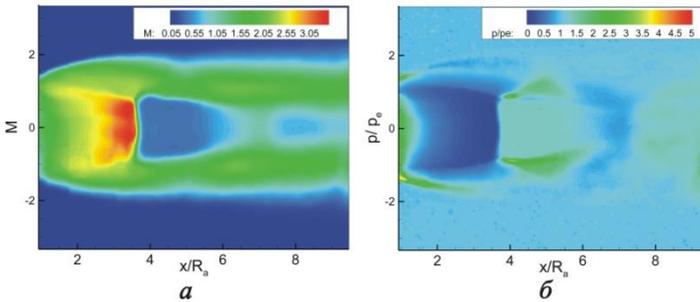


Рис. 2 – Восстановленные поля: а – число Маха; б – статическое давление

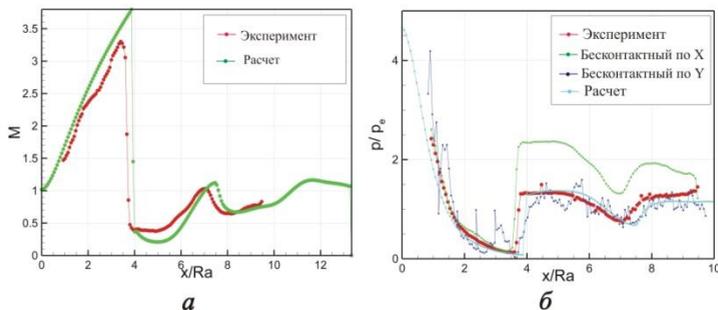


Рис. 3 – Осевые профили: *a* – число Маха; *б* – статическое давление

По графикам осевых профилей видно, что результаты, полученные рассматриваемым методом, лучше соответствуют результатам численного расчета Fluent по сравнению с методом, описанным в [1, 2].

Литература:

1. van Oudheusden B.W., Scarano F., Roosenboom E.W.M., Casimiri E.W.F., Souverein L.J. Evaluation of integral forces and pressure fields from planar velocimetry data for incompressible and compressible Flows // Experiments in Fluids. – 2007. – N 43 – P. 153–162. – doi 10.1007/s00348-007-0261-y.

2. Меньщикова И.В., Кавун И.Н. Бесконтактный метод определения параметров сжимаемого струйного течения // Наука. Технологии. Инновации (НТИ-2018): сборник научных трудов: в 9-и ч. (Новосибирск, 03-07 декабря 2018 г.). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 9. – С. 19-23.

3. В.И.Запругаев, И.Н.Кавун, А.А.Пивоваров Расчет параметров течения в сверхзвуковой неизобарической струе с использованием бесконтактного метода PIV// XXV Всероссийский семинар с международным участием по струйным отрывным и нестационарным течениям: Тезисы докладов. Спб.:Балт.гос.техн.ун-т. – 2018. – С.99-100

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ СКЕЛЕТНОЙ МОДЕЛИ ПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА В ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СВЕРХЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ ЦИЛИНДРА С ПЕРЕДНЕЙ ГАЗОПРОНИЦАЕМОЙ ВСТАВКОЙ

Т.С. Милицина^{1,2}, Т.В. Поплавская¹

¹ Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича, г. Новосибирск,

² Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, mili_tanya@mail.ru

В данной работе рассматривается сверхзвуковое ($M_\infty=7$) обтекание цилиндра с газопроницаемой передней вставкой из высокопористого ячеистого материала с пористостью 95% и диаметром пор 2мм. Трехмерная структура материала моделируется системой соосных колец разного диаметра, расположенных в шахматном порядке в радиальном и продольном направлениях (кольцевая скелетная модель пористой среды). С использованием данной кольцевой скелетной модели проведено численное моделирование трехмерного обтекания цилиндра с передней пористой вставкой на базе трехмерных уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу. Получены расчетные данные по форме головной ударной волны и аэродинамическому сопротивлению цилиндра. Коэффициенты аэродинамического сопротивления сопоставлены с расчетными данными, полученными с помощью двумерной кольцевой модели и с результатами трубных экспериментов.

In this paper, we consider a supersonic ($M_\infty=7$) flow around a cylinder with a gas-permeable front insert of highly porous cellular material with a porosity of 95% and a pore diameter of 2 mm. The three-dimensional structure of the material is modeled by a system of coaxial rings of different diameters staggered in the radial and longitudinal directions (ring skeletal model of a porous medium). Using this ring skeletal model, a three-dimensional flow around a cylinder with a front porous insert was numerically simulated based on three-dimensional Navier-Stokes equations averaged by Reynolds. The calculated data on the shape of the head shock wave and the aerodynamic resistance of the cylinder are obtained. The drag coefficients are compared with the calculated data obtained using the two-dimensional ring model and with the results of tube experiments.

Постановка задачи и методы решения

Практические потребности сверхзвуковой аэродинамики требуют проведения численных исследований обтекания тел с газопроницаемыми вставками под углами атаки (несимметричное обтекание). Трехмерная постановка задачи предполагает разработку трехмерных моделей пористой среды. Для условий обтекания цилиндра под нулевым углом атаки (осесимметричное обтекание) была разработана и успешно реализована кольцевая скелетная модель высокопористого ячеистого матери-

ала (ВПЯМ) [1,2]. В данной работе на основе двумерной кольцевой модели сконструирован трехмерный скелет ВПЯМ из набора соосных колец разного диаметра, расположенных в шахматном порядке в радиальном и продольном направлениях (3D кольцевая скелетная модель пористой среды), для реализации возможности несимметричного обтекания цилиндра.

Задача обтекания цилиндра с газопроницаемой передней вставкой решается в двумерной и трехмерной постановке при следующих условиях: диаметр цилиндра $D = 14.5$ мм с передней пористой вставкой длиной $\Delta x = 29$ мм и с диаметром пор ВПЯМ $d = 2$ мм, число Маха набегающего потока $M_\infty = 7$, температура потока $T_\infty = 26.85$ К, единичное число Рейнольдса $Re_1 = 1.5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$, угол атаки $\alpha = 0$. Эти условия соответствуют условиям экспериментов, проводимым аэродинамической трубе Т-327 ИТПМ СО РАН по измерению аэродинамических сил на модели цилиндра с передней пористой вставкой, представленной на Рис. 1а.

Численное моделирование задачи сверхзвукового обтекания цилиндра с газопроницаемой передней вставкой проведено как на базе решения двумерных (осесимметричное обтекание), так и трехмерных (3D случай) уравнений Навье–Стокса, осредненных по Рейнольдсу. В плоскости осевого сечения и двумерная, и трехмерная кольцевая скелетная модель пористой вставки представляют собой набор непроницаемых квадратных элементов, расположенных в шахматном порядке (Рис. 1б). Общий вид 3D модели цилиндра с передней вставкой из кольцевых элементов показан на Рис. 1в.

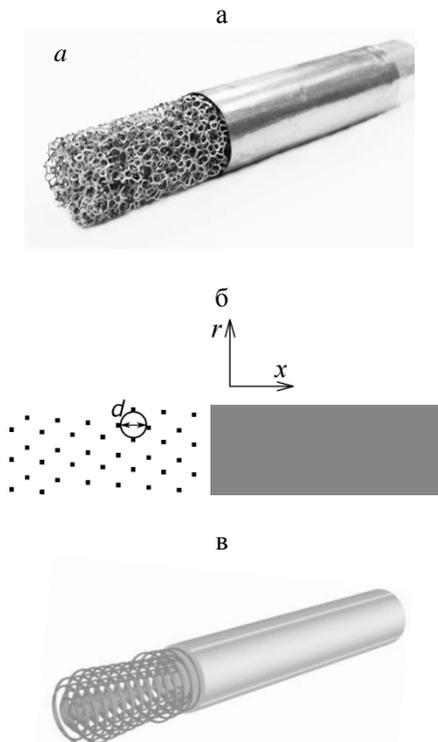


Рис. 1 – Экспериментальная модель цилиндра с передней пористой вставкой (а); Модель цилиндра, используемая в численном моделировании: с 2D-скелетом передней пористой вставки (б) и с 3D-скелетом из соосных колец (в). $L=100\text{мм}$, $D=14.5\text{ мм}$, $\Delta x = 29\text{мм}$, $k=0.95$, $d=2\text{мм}$.

Проекция расчетной области на плоскость представляет собой прямоугольник, нижняя сторона которого совпадает с осью симметрии цилиндра. Общее число ячеек в расчетной области составляло в 2D случае 400тыс., в 3D случае - 12млн.

Построение 3D-скелета пористой зоны осуществлялось в системе SolidWorks, на основе ранее построенного двумерного скелета кольцевой модели. Полученная модель экспортируется в ANSYS Workbench, где происходит построение трехмерной нерегулярной расчетной сетки. В ANSYS Fluent на поверхности колец задается граничное условие wall,

а объем между кольцами является газопроницаемым (задается условием interior).

Расчеты задачи проводились методом установления с использованием пакета ANSYS Fluent. Для аппроксимации конвективных потоков использовался Roe-FDS метод расщепления с TVD-ограничителем для сохранения монотонности решения вблизи разрывов и локальных экстремумов течения.

Результаты

На Рис. 2 показаны поля плотности при обтекании сплошного цилиндра (а) и цилиндра с передней пористой вставкой (б) для двумерной задачи. На рисунках хорошо виден переход от дугообразного головного скачка уплотнения на сплошном цилиндре к косому скачку при наличии газопроницаемой пористой вставки. Видно, что при таком удлинении газопроницаемой вставки изменяется картина обтекания цилиндра: при обтекании сплошного цилиндра головная УВ отходит от переднего торца модели, при обтекании цилиндра с передней газопроницаемой вставкой головная УВ входит в пористый материал, и за ней возникают более слабые косые скачки.

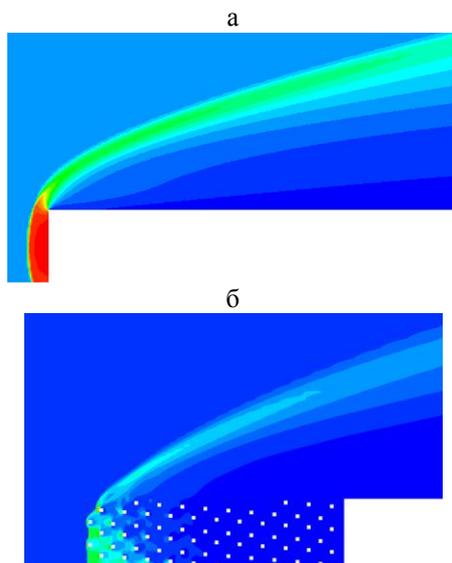


Рис. 2 – Расчетные поля плотности в нормальном направлении к оси x для двумерной осесимметричной задачи $M_\infty = 7$, $T_\infty = 26.85\text{K}$, $Re_{1\infty} = 1.5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$, $\alpha = 0$, $\Delta x = 29 \text{ мм}$, $d = 2 \text{ мм}$:

а – сплошной цилиндр; б – цилиндр с пористой вставкой

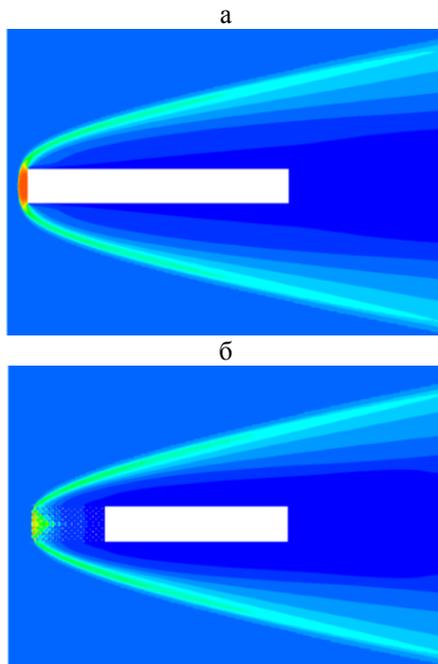


Рис. 3. Расчетные поля плотности для трехмерной задачи $M_\infty = 7$, $T_\infty = 26.85\text{K}$, $Re_{1\infty} = 1.5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$, $\alpha = 0$, $\Delta x = 29 \text{ мм}$, $d = 2\text{мм}$: а – сплошной цилиндр; б – цилиндр с пористой вставкой

На Рис. 3 показаны поля плотности при обтекании сплошного цилиндра (а) и цилиндра с передней пористой вставкой (б) для трехмерной задачи. Видно, что угол наклона к поверхности цилиндра с передней пористой вставкой уменьшается по сравнению с картиной обтекания сплошного цилиндра, и как следствие снижается коэффициент сопротивления цилиндра с передней пористой вставкой.

В работе проведено сравнение расчетных коэффициентов сопротивления сплошного цилиндра C_{x0} и цилиндра с передней пористой вставкой из ВПЯМ с $d=2\text{мм}$ (C_x) с экспериментальными данными, полученными в аэродинамической трубе Т-327А ИТПМ СО РАН, и с расчетными данными [2]. Результаты сравнения приведены в таблице. Видно согласие расчетных и экспериментальных данных и существенное (до 30%) снижение аэродинамического сопротивления для цилиндров с передней пористой вставкой.

Таблица. Коэффициенты сопротивления цилиндра $D=14.5$ мм, $M_\infty = 7$, $Re_{1\infty} = 1.5 \times 10^6 \text{ м}^{-1}$, $\alpha=0$, $\Delta x = 29$ мм, $d=2$ мм

	C_{x0}	C_x	C_x/C_{x0}
Эксперимент	1.83 ± 0.015	1.304 ± 0.015	0.712
CFD	1.8651	1.351	0.727
Отличие	2%	3.5%	2%

Планы дальнейшей работы: Численное моделирование задачи сверхзвукового обтекания цилиндра с передней пористой вставкой под углом атаки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (грант № 19-08-00113).

Литература:

1. Кириловский С.В., Маслов А.А., Миронов С.Г., Поплавская Т.В. Применение скелетной модели высокопористого ячеистого материала для моделирования сверхзвукового обтекания цилиндра с передней газопроницаемой вставкой // Известия РАН. МЖГ. 2018, № 3, С. 1-9.

2. Maslov A.A., Mironov S.G., Poplavskaya T.V., Kirilovskiy S.V. Supersonic flow around a cylinder with a permeable high-porosity insert: experiment and numerical simulation // JFM. 2019. V. 867. P. 611-632.

**РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОГО САМОЛЕТА**

Д.П. Полевщиков¹, А.В. Кашковский²

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, dpp1997@rambler.ru

²Институт теоретической и прикладной механики
им. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Представлена методика расчета до- и сверхзвуковых аэродинамических характеристик воздушно-космического самолета, совершающего суборбитальный полет на высоту 100 км. Создан программный модуль для выполнения расчета АДХ. На сверхзвуковом режиме используются соотношения Рэнкина-Гюгонио и Прандтля-Майера. Для дозвукового режима используются эмпирические формулы. Спроектирован тестовый ВКС, и получены его АДХ в широком диапазоне углов атаки, чисел Маха и скоростей вращения.

The paper considers calculation methods of subsonic and supersonic aerodynamics of aerospace vehicle, performing suborbital flight with reaching 100 km. The program

module for calculation of aerodynamics has been developed. Rankine-Hugoniot jump relations and theory of Prandtl-Meyer expansion fan are used to compute supersonic aerodynamics. Subsonic aerodynamics calculation bases on empirical equations. The test aerospace vehicle has been designed and its aerodynamic data has been obtained in a wide range of angles of attack, Mach numbers and rotation rates.

Космический туризм на сегодняшний момент является развивающейся отраслью. Существует несколько способов доставить человека в космос. Например, полет на низкую околоземную орбиту на МКС или же суборбитальный полет воздушно-космического самолета (ВКС) на высоту 100 км (условная граница атмосферы Земли) с последующим спуском. Последний же является наиболее предпочтительным для космического туризма, вследствие чего и рассматривается в данной работе. Важнейшим этапом такого полета является баллистический спуск. При входе в плотные слои атмосферы аппарат разгоняется до сверхзвуковых скоростей полета, и возникают перегрузки, достигающие значений в 10g. Используя аэродинамическую подъемную силу, можно снизить перегрузки, однако переход в аэродинамический режим полета на сверхзвуковой скорости также может привести к большим перегрузкам. Вследствие этого, необходимо определить оптимальную траекторию спуска. Для этого необходимы аэродинамические характеристики (АДХ) соответствующего ВКС в широком диапазоне углов атаки, чисел Маха и скоростей вращения.

Целью данной работы является создание методики расчета аэродинамических характеристик ВКС с помощью инженерных методов при числах Маха полета от 0 до 4, соответствующих характерным режимам обтекания ВКС при суборбитальном полете. Результаты используются для моделирования полета аппарата и анализа его траектории.

Расчет АДХ разбивается на два этапа:

- 1) Расчет АДХ при сверхзвуковых скоростях полета ($1,1 < M < 4$).
- 2) Расчет АДХ при $0 < M < M_{кр}$, где $M_{кр}$ – критическое число Маха.

Расчет АДХ при сверхзвуковых скоростях полета основан на теории сверхзвукового обтекания тонкой пластины. Для вычисления давления на пластину используются соотношения Рэнкина-Гюгонно на косой ударной волне для сжимающегося сверхзвукового потока (наветренная сторона) и Прандтля-Майера для расширяющегося сверхзвукового потока (подветренная сторона) [1,2].

Алгоритм расчета сверхзвуковых АДХ:

- 1) Триангуляция поверхности рассчитываемого ВКС. Расчет аэродинамики каждого треугольника ведется независимо от остальных.
- 2) Учет выпуклости поверхности посредством анализа каждого треугольника на условие клин-конус. В случае если треугольник – часть

конуса, для расчета давления используется аппроксимация для конуса [4].

3) Определение АДХ ВКС путем интегрирования результатов по поверхности.

Расчет дозвуковых АДХ ВКС основан на эмпирических формулах [3].

Для исследования возможных траекторий спуска был спроектирован тестовый ВКС в трех конфигурациях: без отклонения рулей, с отклонением рулей на угол $\pm 30^0$ (см. рис.1).

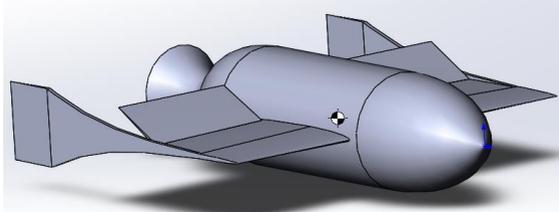


Рис. 1 – Модель тестового ВКС. Отклонение рулей вверх на угол 30^0

Расчеты проводились при углах атаки в диапазоне от -180^0 до 180^0 для сверхзвука и в диапазоне от -30^0 до 30^0 для дозвука. В результате расчета тестового ВКС получены его аэродинамические характеристики в трех различных конфигурациях. Зависимости АДХ от угла атаки представлены на рис. 2-5.

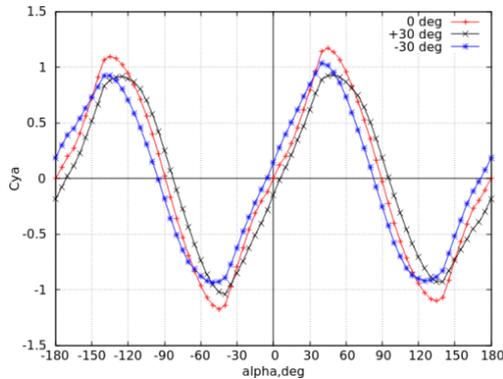


Рис. 2 – Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки при $M=4$

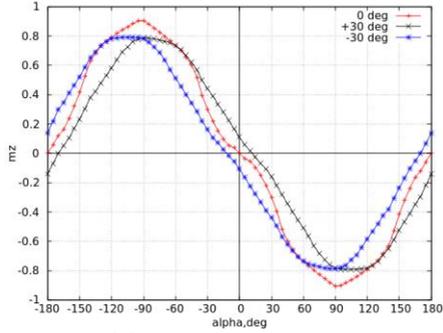


Рис. 3 – Зависимость коэффициента продольного момента от угла атаки при $M=4$

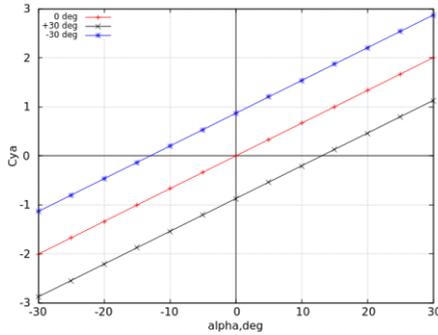


Рис. 4 – Зависимость коэффициента подъемной силы от угла атаки при $M=0,5$

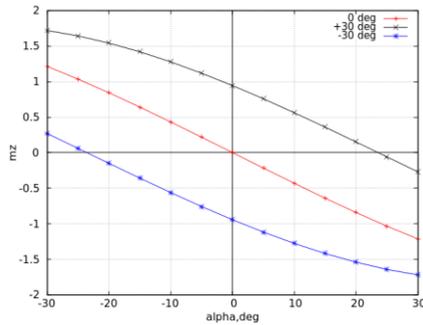


Рис. 5 – Зависимость коэффициента продольного момента от угла атаки при $M=0,5$

Разработана методика расчета АДХ ВКС для широкого диапазона углов атаки, чисел Маха и скоростей вращения. В соответствии с методикой создана программа на языке C++. Был спроектирован тестовый ВКС, и получены его АДХ. Вычисленные АДХ были использованы для анализа траектории полета ВКС.

Литература:

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч. 1: Учебное руководство: Для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 600 с.
2. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. Изд. 3-е, перераб. М., “Энергия”, 1974. – 592 с.
3. Деришев С.Г. Расчет аэродинамических характеристик летательного аппарата: метод. пособие / С.Г. Деришев, А.В. Игнатьева, В.Л. Чемезов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 35 с.
4. Approximations for Supersonic Flow over Cones / W.E. Simon, L.A. Walter // AIAA Journal. – 1963. – Vol. 1, iss. 7. – P. 1696 – 1698. – doi: 10.2514/3.1899.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА
В ПРОТОЧНОМ ТРАКТЕ ПРЯМОТОЧНОГО
ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Н.П. Скибина, В.В. Фарапонов

**Национальный исследовательский Томский государственный
университет, г. Томск, uss.skibina@gmail.com**

В работе описано экспериментально-теоретическое исследование обтекания модели прямооточного воздушно-реактивного двигателя сверхзвуковым потоком с числами Маха $M=5\div 7$. Представлены полученные распределения газодинамических параметров течения рабочего газа в проточном тракте. Приведено качественное и количественное сравнение результатов физического и математического моделирования изучаемого процесса.

In this paper an experimental-theoretical study of supersonic flow over model of ramjet engine by free-stream with velocity in Mach numbers $M=5-7$ is described. The distribution of gas-dynamic flow parameters of working substance inside ramjet duct of engine is represented. A qualitative and quantitative comparison of the results of physical modeling and numerical simulation of the supersonic flow over the model is given.

В настоящее время актуальной темой научных исследований является проектирование создания гиперзвуковых летательных аппаратов различного целевого назначения. На основании экспериментально-теоретических и расчетных работ осуществляется выбор оптимальной формы ЛА, схемы тепловой защиты и силовой установки, отвечающей за разгон и поддержание скорости в заявленном диапазоне.

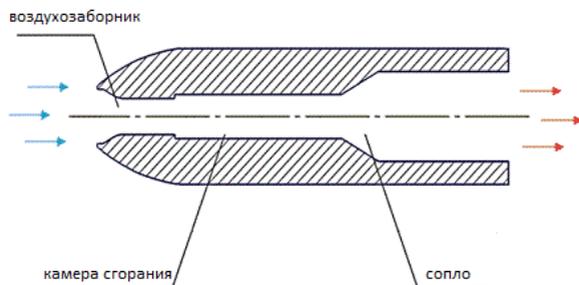


Рис.1 – Схема прямооточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД)

Воздушные реактивные двигатели (ВРД), основной особенностью которых является использование атмосферного воздуха в качестве окислителя, подразделяются на два типа: турбореактивные двигатели (ТРД) и прямооточные воздушно-реактивные двигатели (ПВРД).

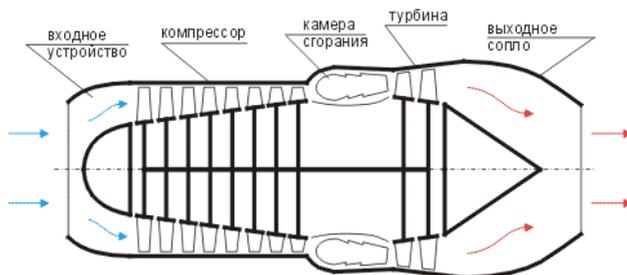


Рис.2 – Схема турбореактивного двигателя (ТРД)

ПВРД (Рисунок 1) в сравнении с ТРД (Рисунок 2) имеет более простую конструкцию, однако для работы двигательной установки такого типа необходим предварительный разгон летательного аппарата до скорости порядка $M \geq 5$, после чего через воздухозаборное устройство окислитель попадает в камеру сгорания, где инициируется процесс горения твердотопливного заряда.

Изучение нестационарного течения рабочего тела в проточном тракте прямоточного воздушно-реактивного двигателя и получение распределений газодинамических параметров имеет большую практическую значимость, так как они определяют условия для работы топлива.

Целью комплексного экспериментально-теоретического исследования обтекания ПВРД является получение распределений термогазодинамических параметров на стенках проточного тракта (камеры сгорания кольцевого типа) модели: валидация результатов численных расчетов путем сравнения с эмпирически полученными данными и анализ течения рабочего тела в канале сложной геометрии.

Экспериментальная часть работы выполнялась с использованием импульсной аэродинамической установки [1] Томского государственного университета. Для модели прямоточного воздушно-реактивного двигателя (Рисунок 3) получена визуализация структуры течения рабочего тела в проточном тракте, распределения температур и давлений на стенке, измерено число Маха на оси за критическим сечением.

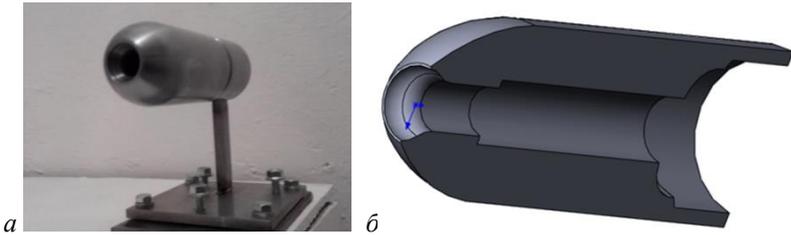


Рис.3 – Модель ПВРД (*a* – общий вид, *б* – геометрия в сечении)

С использованием ранее проведенного экспериментально-теоретического исследования обтекания моделей в рабочей части импульсной аэродинамической установки [2] проведено математическое моделирование взаимодействия сверхзвукового набегающего потока ($M=5\div 7$) с ПВРД. В результате численного расчета получены поля распределения скорости, плотности, давления и температуры.

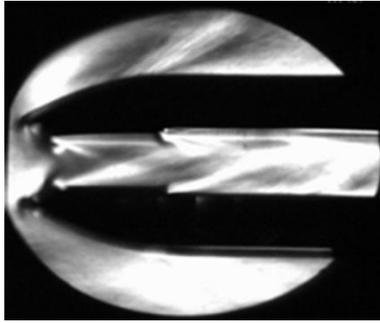


Рис.4 – Кадр визуализации процесса обтекания, полученный в ходе съемки высокоскоростной видеокамерой (скорость набегающего потока $M=5$)

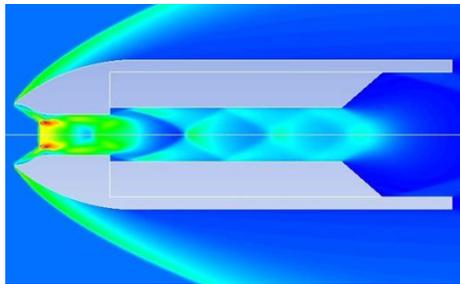


Рис.5 – Распределение плотности (скорость набегающего потока $M=5$)

В ходе анализа полученных данных выявлено хорошее качественное согласование: структура течения, приведенная на фрагменте визуализации (Рисунок 4), совпадает со структурой течения, показанной на примере распределения плотности (Рисунок 5). Также хорошее согласование получено по характеру изменения температуры и давления на стенке: скачкообразное изменение данных величин на стенке, выявленное экспериментально, также присутствует в результатах численного расчета. Относительная погрешность по величине скорости потока на оси за критическим сечением модели составила $\delta M=2,5\%$.

Таким образом, в рамках проведенного исследования нестационарного течения получено распределение термогазодинамических параметров в проточном тракте модели прямого воздушного реактивного двигателя. Разработаны экспериментальные методики для измерения давлений и температур на стенке канала, проведены измерения числа Маха на

оси модели. Получено хорошее количественное и качественное совпадение результатов физического и математического моделирования.

Литература:

1. Звезгинцев В. И. Газодинамические установки кратковременного действия. Часть I. Установки для научных исследований / – Новосибирск: Параллель, 2014. 551 с.

2. Н. П. Скибина, Н. В. Савкина, В. В. Фарапонов, Е. А. Маслов. Комплексный подход к решению задачи высокоскоростного обтекания тела в импульсной аэродинамической установке и проверка согласованности полученных результатов // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. № 59. С. 118–129. DOI: 10.17223/19988621/59/12

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСКОРЕНИЯ И НАГРЕВА ЧАСТИЦ В СТРУЯХ, ИСТЕКАЮЩИХ ИЗ ЗВУКОВОГО СОПЛА ПРИ ХГН

С.Ю. Усынин

**Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН,
г. Новосибирск, usynin.serega@yandex.ru**

В работе получены поля скоростей и температур струй, истекающих из звукового сопла, при разных давлениях и температурах торможения воздуха в форкамере. Рассчитаны скорости и температуры микрочастиц алюминия при движении в сверхзвуковой струе, натекающей на преграду. Показано, что применение звуковых сопел в ХГН позволяет ускорять такие частицы до скоростей $\approx 200-300$ м/с, что может быть использовано на практике, например в задачах снижения эрозионного воздействия на преграду.

In this work, the velocity and temperature fields of the jets exhausted from a sonic nozzle at different stagnation pressures and temperatures of air in a prechamber were obtained. The velocities and temperatures of aluminum microparticles are calculated when moving in a supersonic jet flowing onto a substrate. It was shown that the use of sonic nozzles in cold spray allows accelerating such particles to velocities of $\approx 200-300$ m/s, which can be used in practice, for example, in problems of reducing erosive effects on the substrate.

В области изучения процесса холодного газодинамического напыления (ХГН) [1] существует ряд задач, когда для успешного формирования покрытия необходимо уменьшать скорость удара частиц. Очевидным путем решения данной проблемы является снижение давления ра-

бочего газа. Однако, использование сверхзвуковых сопел в этом случае затруднительно из-за возникновения отрыва потока от стенок сопла. Применение звуковых сопел, в которых скорость истечения газа достигает скорости звука на срезе, позволяет существенно уменьшить давление торможения газа без эффекта отрыва потока внутри сопла и, соответственно, снизить скорость напыляемых частиц. Целью данной работы являлся расчет поля газового течения, а также скорости и температуры металлических микрочастиц в сверхзвуковой струе, натекающей на преграду, с использованием ANSYS Fluent.

Сопловой узел, используемый в экспериментах, представляет собой форкамеру постоянного сечения диаметром 15 мм и длиной 110 мм, и сужающийся участок длиной 20 мм с диаметром выходного сечения 6 мм (рис. 1). В качестве рабочего газа использовался воздух. Поставленная задача решается в двухмерной постановке. Численное исследование проводилось как внутри сопла, так и в области, прилегающей к ней, с целью получения характеристик поведения газового потока при истечении из сужающегося конического сопла.

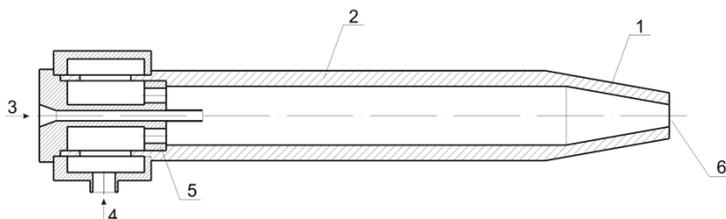


Рис. 1 – Схема звукового сопла используемого в ХГН. 1 – сужающийся участок, 2 – форкамера, 3 – подача порошка, 4 – подача газа, 5 – хоникомб, 6 – выходное сечение.

Для построения расчетной геометрии использовался встроенный в ANSYS модуль – DesignModeler. Для повышения точности решения задачи была проведена адаптация сетки во встроенном модуле Meshing, как показано на рис. 2.

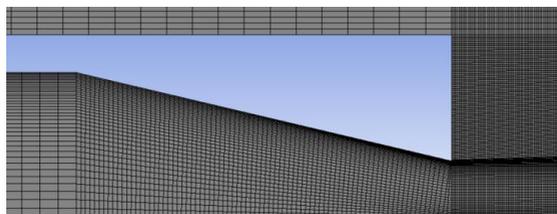


Рис. 2 – Модель сетки во встроенном модуле Meshing

Для замыкания уравнения Навье-Стокса была выбрана модель турбулентности $k-\epsilon$ Realizable [2]. Рабочее тело – идеальный газ. Вычисление модели проводится в среде атмосферного давления (0,1 МПа) и окружающей температуры 300 К. Входные условия: давление – 0,25 МПа и 0.5 МПа, температура газа – 433К, 473К, 523К и 573 К. Для потока и кинетической энергии выбраны уравнения второго порядка.

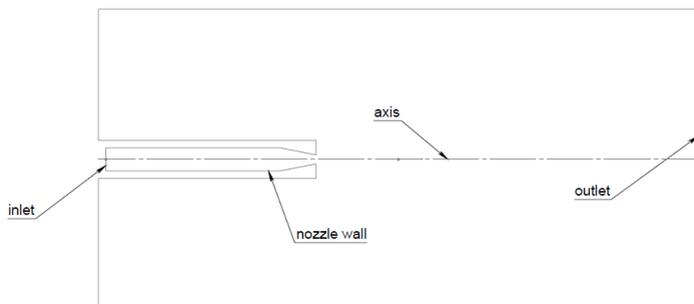


Рис. 3 – Расположение граничных поверхностей модели
Распределение скоростей в струе представлено на рис. 4.

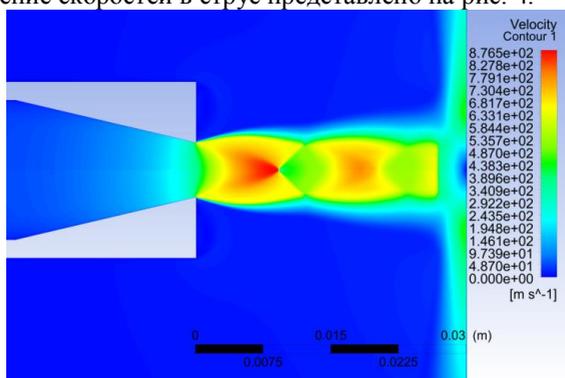


Рис. 4 – Распределение скоростей в струе при давлении торможения в форкамере $p_0 = 0,5$ МПа

В поток вдоль оси сопла вводились алюминиевые частицы диаметром 30 мкм с начальной скоростью 10 м/с и температурой 300 К.

На рис. 5 представлена зависимость скорости частиц от температуры газа в форкамере при давлении 0.25МПа и 0.5МПа.

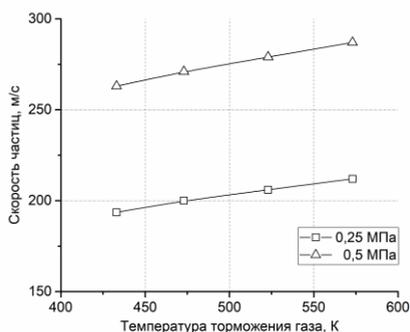


Рис. 5 – Зависимость скорости частицы от температуры газа в форкамере сопла.

Получены поля скоростей и температур струй, истекающих из звукового сопла, при разных давлениях и температурах торможения воздуха в форкамере. Рассчитаны скорости и температуры микрочастиц алюминия размером 30 мкм при движении в сверхзвуковой струе, натекающей на преграду. При увеличении давления в форкамере от 0,25 до 0,5 МПа скорость частиц увеличивается примерно на 70 м/с. Увеличение температуры на 140 К (от 433 до 573 К) при обоих давлениях даёт прирост скорости примерно на 20 м/с. Результаты расчета показывают, что температура частиц увеличивается с ростом температуры торможения газа, но практически не зависит от давления торможения в исследуемом диапазоне. Показано, что применение звуковых сопел в ХГН позволяет ускорять такие частицы до скоростей $\approx 200-300$ м/с, что может быть использовано на практике, например в задачах снижения эрозионного воздействия на преграду.

Литература:

1. Алхимов А. П., Косарев В. Ф., Папырин А. Н. Метод “холодного” газодинамического напыления // Доклады Академии наук СССР. 1990. Т. 315, № 5. С. 1062–1065.
2. Картанова А. Дж. Компьютерное моделирование истечения струи из сопла Лаваля / Картанова А. Дж., Сулайманова С.М. // Вестник КPCY – 2017 – Т. 17 – №5. – С. 31-33.

ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ИХ ДИСПЕРСИИ ДЛЯ ТИПОВОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ ЛЁГКОГО ТУРБОВИНТОВОГО РЕГИОНАЛЬНОГО САМОЛЁТА

И.В.Хворов¹, М.А. Акимов^{1,2}, В.Л. Чемезов^{1,3}

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ivankhvorov10@gmail.com

²Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

³Сибирский научно-исследовательский институт авиации
им. С. А. Чаплыгин, г. Новосибирск

Целью работы является разработка типовой аэродинамической схемы легко-го турбовинтового регионального самолета путем изучения и анализа ряда прототипов.

The aim of the work is to develop a typical aerodynamic scheme of a light turboprop regional aircraft by studying and analyzing a number of prototypes

Самолёты, созданные для одних и тех же задач, часто имеют схожие размеры, пропорции, аэродинамические и лётно-технические характеристики [1, 2]. Для концептуального проектирования классических самолётов предлагается использовать типовую аэродинамическую компоновку (ТАК). Под ТАК подразумевается некая характерная аэродинамическая компоновка, у которой расположение элементов компоновки (крыла, фюзеляжа, двигателей, шасси и т.д.), их пропорции и размеры в среднем соответствуют наиболее часто встречающимся серийно производимым самолётам выполняющих определённую задачу.

В настоящей работе рассматривается ТАК лёгкого турбовинтового регионального самолёта (ЛТРС). Под ЛТРС подразумевается турбовинтовой самолёт, предназначенный для обслуживания региональных воздушных линий с ограниченной длиной взлётно-посадочной полосы (менее 2000 м) и имеющий в экономическом варианте салона три кресла в ряду по схеме 2+1. ЛТРС – является промежуточным звеном между самолётами местных воздушных линий (пригородных, commuter transport), которые, как правило, способны использовать инфраструктуру авиации общего назначения (грунтовые аэродромы), и региональными турбовинтовыми самолётами, которые, как правило, предполагают использование инфраструктуры региональных аэропортов.

Для получения ТАК ЛТРС был рассмотрен основной ряд самолётов прототипов: Ан-24, АTR-72, Bombardier Dash 8 Q400 и L-410 UVP E-20. Для доопределения отдельных геометрических характеристик также

использовались данные о самолётах: Ил-112, Ан-140 и ряда других подобных по компоновке или по назначению самолётов. Очевидно, большая часть самолётов не соответствует понятию ЛТРС, однако их целевое назначение, скорости полёта и условия базирования удовлетворяют ему. Более того, подобный подход позволяет интерполировать промежуточное звено между классами и создать новый тип самолёта. ТАК ЛТРС – это свободнотранспортный высокоплан с двумя турбовинтовыми двигателями, расположенными на крыле, с однокилевым вертикальным оперением и горизонтальным оперением, расположенным на киле. Схема шасси трёх опорная с передней стойкой, основные опоры расположены на фюзеляже. Характерным для всех рассмотренных самолётов является достаточно большое удлинение крыла, в среднем оно получается равным около 12.

Чтобы получить представление о ТАК ЛТРС, мысленно совместим изображения прототипов. Поскольку все абсолютные размеры необходимо пересчитать на схему салона 2+1, для сопоставления пропорций самолётов за характерный размер был выбран диаметр фюзеляжа. Отнеся все размеры к характерному, совместим, например, виды в плане по одной четвёртой корневых хорд (рис. 1). Можно видеть, пропорции крыльев и горизонтального оперения близки. Положение двигателей на крыле практически идентично. Существенно отличаются лишь удлинения фюзеляжа, которые, в сущности, определяют вместимость самолётов. Выбирая средние значения геометрических параметров элементов компоновки, существенное отклонение удлинения фюзеляжа от среднего можно позиционировать как семейство самолётов, построенных на основе одной ТАК.

Получив ТАК в безразмерном виде, определим её в абсолютных величинах. По характерным размерам пассажирских кресел и ширине прохода определим диаметр фюзеляжа, соответствующий ЛТРС. По среднему удлинению фюзеляжа, определим пассажироместимость и максимальную взлётную массу (МВМ) базового самолёта семейства. По МВМ, через удельную нагрузку определяем площадь крыла и оперения. Размеры мотогондол пропорциональны мощности силовой установки, которая определяется через энерговооружённость самолёта.

Определив абсолютные размеры самолёта с ТАК, перейдём к расчёту его аэродинамических характеристик. Для этих целей задействуем одну из классических методик [3]. Отклонения значений геометрических параметров прототипов от соответствующих параметров ТАК дают дисперсию по каждому из них. Поэтому имеет смысл строить поляры самолётов для случаев отклонений на одну, две и три σ . В пределах двух σ будет укладываться подавляющее большинство ($\approx 95\%$) всевозмож-

ных компоновок ЛТРС. На основе чего, можно оценивать наиболее вероятные лётно-технические и экономические характеристики воздушных судов такого типа.

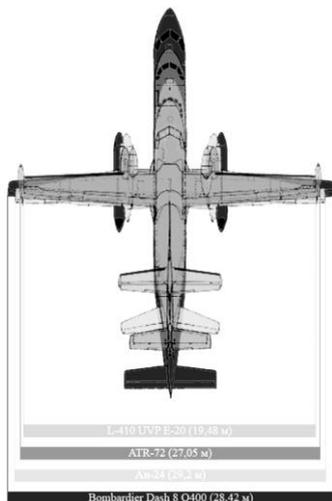


Рис. 1 – Сравнение пропорций региональных самолётов (не в масштабе)

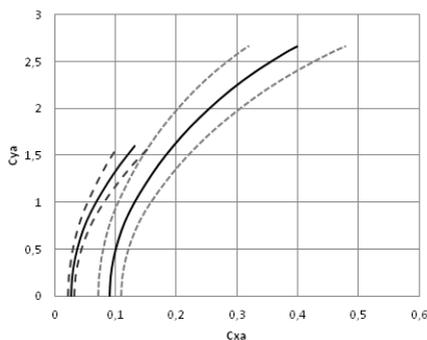


Рис.2 – Поляры самолёта ТАД с механизацией и без, в крейсерском режиме и поляры, отличающиеся на две σ

В заключении стоит привести примеры некоторых практически значимых задач: определение геометрических характеристик ТАК малоизученного класса самолётов, построение поляры ТАК на различных

режимах полёта, и, построение некой области поляра, по которой, в перспективе, можно будет оценивать наиболее вероятные лётно-технические и экономические характеристики воздушных судов такого типа. Целью работы было не создание принципиально новой компоновки самолёта ЛТРС, а создание типовой для данного класса самолётов.

Литература:

1. Акимов М.А., Подход к организации и автоматизации инженерных расчётов аэродинамических и лётно-технических характеристик летательных аппаратов / Авиакосмические технологии (АКТ-2017): Тезисы XVIII Международной научно-технической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. I Тур 14-15 июня – Воронеж: ООО Фирма "Элист"; 2017. - с. 26-28 ISBN 978-5-87172-091-2

2. Акимов М.А., Гостеев Ю.А., Подход к концептуальному проектированию аэродинамической компоновки и формирование обобщённой математической модели самолёта (АКТ-2017): Тезисы XVIII Международной научно-технической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. II Тур 19-20 октября – Воронеж: ООО Фирма "Элист"; 2017. - с. 90-96 ISBN: 978-5-87172-094-3

3. Бадягин А.А., Мухамедов Ф.А., Проектирование легких самолетов. – М.: "Машиностроение", 1978. — 208 с., ил.

**ВЛИЯНИЕ ЕДИНИЧНОГО ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА
НА НАБЕГАЮЩИЙ ПОТОК ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
СО СЛАБОЙ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ ПРИ $M=2,5$**

Ю.И. Чудинова^{1,2}, А.Д. Косинов², Н.В. Семенов², Ю.Г. Ермолаев²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт теоретической и прикладной механики

им. Христиановича СО РАН,

г. Новосибирск, u.i.chudo.98@mail.ru

В настоящей работе были проведены экспериментальные исследования в малотурбулентной аэродинамической сверхзвуковой трубе Т-325 ИТПМ СО РАН в набегающем потоке для $M = 2,5$ при различных единичных числах Рейнольдса $Re_1 = 8 \cdot 10^6$ и $Re_1 = 11,8 \cdot 10^6$. В результате анализа данных было получено, что при увеличении единичного числа Рейнольдса не происходит изменения среднего течения, но наблюдается рост амплитуды возмущений с 0,8 до 1,2 %. При

этом максимальная величина пульсаций при $Re_1 = 11,8 \cdot 10^6$ для первого и второго пика выравнивается.

In this article, experimental studies were carried out in a low-turbulence aerodynamic supersonic wind tunnel T-325 ITAM SB RAS in the incoming flow for $M = 2,5$ at different Reynolds unit numbers $Re_1 = 8 \cdot 10^6$ and $Re_1 = 11,8 \cdot 10^6$. As a result of data analysis, it was found that with an increase in the unit Reynolds number, there is no change in the mean flow, but there is an increase in the amplitude of disturbances from 0,8 to 1,2 %. In this case, the maximum ripple value at $Re_1 = 11,8 \cdot 10^6$ for the first and second peaks is equalized.

Искажение набегающего потока может влиять на устойчивость и, как следствие, ламинарно-турбулентный переход в пограничных слоях, реализующихся около поверхности летательных аппаратов. Источниками возмущений могут являться неровности на фюзеляже или след от впереди летящего самолета. Возникающие слабые ударные волны (возмущения) могут приходиться на переднюю кромку крыла летательного аппарата, в результате воздействия которых увеличивается тепловая нагрузка на кромку крыла, что может привести к ее разрушению. При этом в зависимости от характеристик потока воздействие, полученное от «N-волн», может быть разным. Например, в работе [1] изучалось влияние толщины двумерной шероховатости на свободный поток. Измерения показали, что амплитуда и пространственные масштабы порождаемой пары слабых ударных волн возрастают при увеличении ширины и толщины двумерной неровности. Также в статье [2] выполнены экспериментальные исследования по влиянию единичного числа Рейнольдса на положение ламинарно-турбулентного перехода в пограничном слое на скользящем крыле при сверхзвуковых скоростях потока. Показано, что увеличение числа Маха набегающего потока и уровня пульсаций в рабочей части аэродинамической трубы приводит к уменьшению влияния Re_1 на положение перехода. Поэтому придается большое значение исследованию различных случаев взаимодействия пары слабых ударных волн и сверхзвукового потока.

Цель настоящей работы – провести интегральный анализ экспериментальных исследований при значениях единичного числа Рейнольдса $Re_1 = 8 \cdot 10^6$ и $Re_1 = 11,8 \cdot 10^6$. Сделать выводы о том, как влияет Re_1 на сверхзвуковой набегающий поток при взаимодействии с «N-волной».

Для получения необходимых данных и дальнейшего анализа были проведены экспериментальные исследования в малотурбулентной сверхзвуковой аэродинамической трубе Т-325 ИТПМ СО РАН при числе Маха $M = 2,5$. На боковой части рабочей части устанавливалась двумерная неровность, которая генерировала пару слабых ударных волн, имеющих вид «N-волны». Этой неровностью являлась клейкая лента ПВХ следующих размеров: ширина $b = 14$ мм, толщина $h = 130-135$

мкм. Лента находилась на расстоянии $L = 225,5 \div 225,8$ мм от модели плоской пластины с острой передней кромкой.

Измерения проводились в сечении $x = -10$ мм перед пластиной, т.е. в набегающем потоке, при двух различных значениях единичного числа Рейнольдса $Re_1 = 8 \cdot 10^6$ и $Re_1 = 11,8 \cdot 10^6$. Для определения пульсаций и характеристик среднего течения использовался датчик термоанемометра постоянного сопротивления.

Схема экспериментальных исследований представлена на рис. 1.

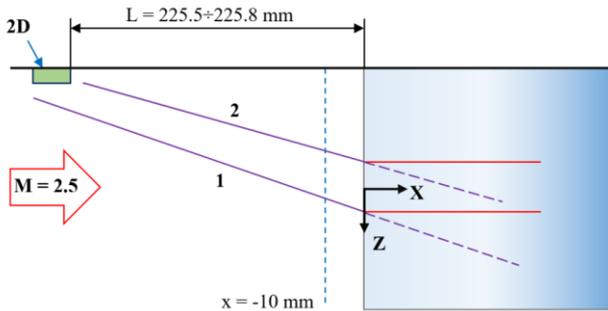


Рис. 1 – Схема экспериментальных исследований

По результатам исследований был проведен интегральный анализ и построены графики среднеквадратичных пульсаций и среднего течения, которые представлены на рис. 2.

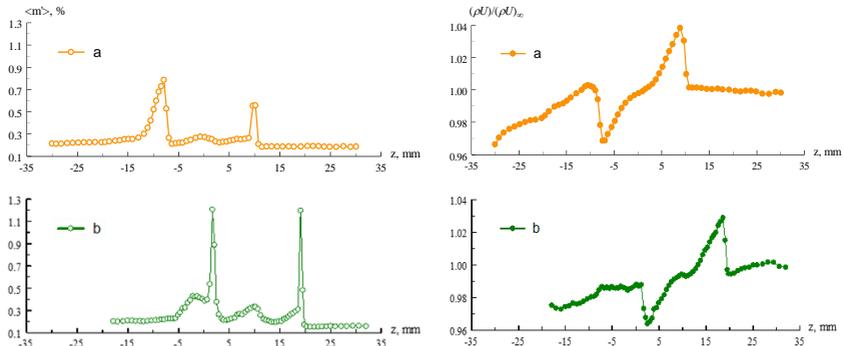


Рис. 2 – Схема зависимости среднеквадратичных пульсаций (слева) и среднего расхода (справа) от координаты z при $x = -10$ мм: а - $Re_1 = 8 \cdot 10^6$, б - $Re_1 = 11,8 \cdot 10^6$

Исходя из полученных данных, можно сделать следующие выводы. При увеличении единичного числа Рейнольдса не происходит изменения среднего течения, но наблюдается рост амплитуды возмущений с 0,8 до 1,2 %. При этом максимальная величина пульсаций при $Re_1 = 11,8 \cdot 10^6$ для первого и второго пика выравнивается.

Для получения более полной картины необходимо продолжить исследования в этом направлении и провести спектральный и статистический анализы.

Литература:

1. Ермолаев Ю.Г., Косинов А.Д., Кочарин В.Л., Семенов Н.В., Яцких А.А. Об экспериментальном исследовании воздействия слабых ударных волн на пограничный слой плоской притупленной пластины при числе Маха 2.5 // Известия РАН. Механика жидкости и газа. - 2019. -No.2. -С. 112-118.

2. Ермолаев Ю.Г., Косинов А.Д., Семенов А.Н., Семенов Н.В., Яцких А.А. Влияние единичного числа Рейнольдса на ламинарно-турбулентный переход на скользящем крыле при сверхзвуковых скоростях потока // Теплофизика и аэромеханика. - 2018. -Т.25, No.5. -С. 685-692.

КАФЕДРА ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

д.т.н., проф. Чичиндаев А.В.

31 мая 1984 года Министерство высшего и среднего образования СССР издало приказ об организации кафедры «Механическое оборудование летательных аппаратов» (МОЛА) на Самолетостроительном факультете НЭТИ для подготовки инженеров по специальности 0565 – «Механическое оборудование ЛА». Базой для создания кафедры явился цикл этой специальности при кафедре «Самолетостроение», созданный в 1976 г. В 1997 году на кафедре была открыта новая специальность «Техника и физика низких температур» и кафедра получила новое название – «Технической теплофизики» (ТТФ). В 2019 году кафедра отметила 35-летний юбилей, дав путевку в жизнь около 1500 специалистам.

СПЕЦИАЛЬНОСТИ, НАПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время кафедра ТТФ выпускает инженеров по специальности «Системы жизнеобеспечения и оборудование ЛА», бакалавров «Климатическая и холодильная техника» и магистров «Техническая теплофизика» по направлению «Техническая физика», магистров – «Авиа- и ракетостроение».

УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Основные дисциплины по специальностям: информатика, термодинамика, тепломассообмен, системы кондиционирования воздуха, САПР, численное моделирование теплофизических процессов, гидрогазовые системы, системы индивидуального жизнеобеспечения, системы защиты ЛА, холодильные машины и установки, установки и системы низкотемпературной техники, теплообменные устройства, САПР систем оборудования ЛА.





Профессорско-преподавательский состав кафедры (включая совместителей):

- Абдрахманов Рифат Хабибрахманович – старший преподаватель;
- Будасова Светлана Алексеевна – к.т.н., доцент;
- Браун Светлана Николаевна – учебный мастер;
- Горбачев Максим Викторович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой;
- Дьяченко Алексей Юрьевич – к.т.н., доцент;
- Дьяченко Юрий Васильевич – д.т.н., профессор;
- Зыков Андрей Николаевич – учебный мастер;
- Макаров Максим Сергеевич – к.ф.-м.н., доцент;
- Наумкин Виктор Сергеевич – к.ф.-м.н., доцент;
- Сажин Игорь Александрович – к.т.н., доцент;
- Серов Анатолий Федорович – д.т.н., с.н.с., профессор;
- Сиденко Денис Евгеньевич – ассистент;
- Спарин Владимир Александрович – к.т.н., доцент;
- Терехов Виктор Иванович – д.т.н., профессор;
- Хромова Ирина Владимировна – к.т.н., доцент;
- Чичиндаев Александр Васильевич – д.т.н., профессор;
- Ярыгин Вячеслав Николаевич – д.т.н., профессор.

Кафедра Технической теплофизики располагает комплексом учебных лабораторий: термодинамики и теплопередачи, гидравлики, агрегатов СКВ ЛА, гидрогазовых систем ЛА, систем защиты ЛА, систем аварийного покидания ЛА, систем кислородного питания и высотного снаряжения, тепловых машин, конструкции двигателей внутреннего сгорания.

Кафедра имеет филиал в Институте теплофизики СО РАН им. С.С. Кугателадзе (Академгородок), заведующий филиалом – профессор Терехов В.И., сотрудники филиала 4 доктора технических наук. Филиал располагает современными научно-исследовательскими стендами для обучения магистров и аспирантов. Целый ряд выпускников кафедры закончили аспирантуру, защитили кандидатские и докторские диссертации и работают в этом институте.



НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Основными научными направлениями кафедры Технической теплофизики являются:

- исследование работы агрегатов и авиационных систем кондиционирования воздуха, в частности в условиях повышенной влажности атмосферного воздуха;
- исследование теплогидравлических процессов в системе термостабилизации человека;
- исследование компактных теплообменников при работе на влажном воздухе;
- численное моделирование и анализ процессов испарительного охлаждения.

В составе кафедры работает Научно-образовательный центр «Системы жизнеобеспечения и оборудование летательных аппаратов» для целевой и дополнительной подготовки высококвалифицированных специалистов в области разработки систем жизнеобеспечения и оборудования летательных аппаратов.

На кафедре работает научная школа в области теплофизики и теоретической теплотехники. В рамках научной школы совместно с филиалом кафедры выполняются научно-исследовательские проекты, осуществляется подготовка научно-педагогических кадров через аспирантуру и

докторантуру, подготовлены и защищены 15 кандидатских и 3 докторских диссертаций.

Большое внимание кафедры Технической теплофизики уделяет научно-исследовательской работе студентов. Основные развиваемые направления – компьютерное моделирование, исследование и оптимизация: агрегатов и систем кондиционирования воздуха, теплообменных аппаратов, теплофизических процессов в системе «человек – окружающая среда», систем защиты человека от воздействия вредных факторов.

Результаты исследовательских работ многократно отмечались призовыми дипломами на ведущих конференциях страны: «Авиация и космонавтика» (МАИ), «Гагаринские чтения» (МАТИ), «Туполевские чтения» (КАИ) и других. Кроме того, студенты неоднократно отмечались именными стипендиями: Президента и Правительства РФ, фирмы «Боинг», Областной администрации, Мэрии Новосибирска, грантами НГТУ, а также медалями: Министерства образования и науки РФ, Российской Академии наук.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ЭЛЕМЕНТЕ КОМПАКТНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

**О.Р. Верховцев, Б.Ч. Аюров, И.Д. Белоусов, И.В. Хромова,
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, olegatr902@gmail.com**

The paper describes methods and approaches to modeling thermal processes in the heat exchanger-condenser of the aircraft air conditioning system using the Ansys Fluid computing package. The purpose of this work is to develop improved methods of calculation and to carry out studies for further optimization of structural and thermal-physical parameters.

Целью настоящей работы является разработка и верификация методов моделирования и анализа эффективности применения переменных термических сопротивлений в широком диапазоне изменения режимных и конструктивных параметров компактного пластинчато-ребристого теплообменника для защиты теплопередающей поверхности от обмерзания. В основе методов лежит идея получения заданной температуры поверхности за счет изменения термических сопротивлений в процессе теплопередачи. Для этого необходимо учесть переменные термические сопротивления по длине горячего и холодного тракта. В частности, параметры процессов теплоотдачи, задаваемые геометрией ребрений и режимами течения, а также локальные процессы тепломассообмена при фазовых переходах.

Предлагаемый подход позволяет дополнительно изменить распределение температур поверхностей: увеличить температуру самой холодной части поверхности в конденсаторе выше 0 °С. При этом гидравлические сопротивления остаются практически неизменными. В отдельных случаях наиболее сложных режимов предлагается применять и изменение режимов течения теплоносителя, с учетом целесообразности увеличения гидравлических сопротивлений. Данный метод позволит убрать зоны обмерзания по всей поверхности в конденсаторе.

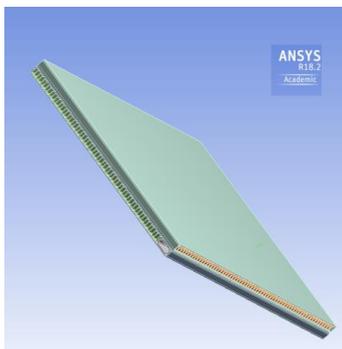


Рис. 1. Элемент компактного теплообменника: пакет оребренных пластин для горячего и холодного трактов

При математическом моделировании теплопередачи в теплообменнике с помощью вычислительного пакета Ansys Fluent в качестве расчетного элемента используется одна пара оребренных пакетов: горячего и холодного (рис. 1). Такой подход дает возможность, с одной стороны, разработать упрощенную инженерную методику расчета, с другой стороны позволяет изучать влияние неоднородностей распределения воздуха поперек пакета, а при необходимости исследовать любую пару пакетов из всего набора, составляющего теплообменник. Для моделирования предлагается методика, основанная на численном решении системы уравнений теплопередачи для элементарного участка теплообменной поверхности.

Выбранный расчетный элемент имеет переменную по длине интенсивность теплоотдачи, вызванную спецификой развития стесненного пограничного слоя в каналах малого эквивалентного диаметра. Наличие оребрения в ряде задач приводит к необходимости учитывать неоднородность температуры по высоте ребра. Перекрестная схема движения горячего и холодного теплоносителей требует учитывать неоднородность температурных напоров в процессах теплоотдачи как внутри расчетного элемента, так и при переходе от одного элемента к другому по длине и ширине пластины. Таким образом, модель расчета учитывает пространственную неоднородность тепловых процессов.

Использование современных средств трехмерного CAD моделирования дает возможность расширить границы и повысить эффективность проводимых исследований, улучшить визуализацию и ускорить передачу данных для дальнейшего проектирования и оптимизации конструктивных и режимных параметров теплообменных аппаратов в авиационных СКВ.

Литература:

1. Чичиндаев А.В. Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников. Теоретические основы : учебное пособие / А.В. Чичиндаев . – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 436 с. - (Серия «Учебники НГТУ»).

2. Чичиндаев А.В. Влияние переменного отношения термических сопротивлений на распределение температур в компактном пластинчато-ребристом теплообменнике / А.В. Чичиндаев, И.Г. Диомидов // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 4. – С. 197–201.

3. Системы жизнеобеспечения и оборудование летательных аппаратов: учебное пособие / А.В. Чичиндаев, Ю.В. Дьяченко, В.А. Спарин, И.В. Хромова; под ред. А.В. Чичиндаева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 319 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

4. Дьяченко Ю.В. Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе: учеб пособие / Ю.В. Дьяченко, А.В. Чичиндаев. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с.

5. Компьютерное моделирование типовых гидравлических и газодинамических процессов двигателей и энергетических установок в ANSYS Fluent: учеб. пособие / Л.С. Шаблий, А.В. Кривцов, Д.А. Колмакова. – Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2017. – 108 с.: ил.

6. Введение в Ansys Workbench: Учеб.-метод. пособие для студентов естественно-научных дисциплин. – Саратов: Амирит, 2016. – 56 с.: ил.

7. Методические указания к решению задачи о ламинарном течении вязкой несжимаемой жидкости в трубе с помощью вычислительного пакета Ansys Fluent: Учеб.-метод. пособие для преподавателей, аспирантов, студентов и магистрантов, слушателей ФПК / Л.Л. Миньков – Томск: STT, 2016. – 68 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СКАФАНДРА

А.И. Гравит, И.В. Хромова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, anastasiya_gravit@mail.ru

В данной работе рассматриваются современные модели систем терморегуляции. Описана автоматическая система охлаждения скафандра. Рассмотрена проблема теплового комфорта космонавтов, работающих на международной космической станции. Выполнен комплекс модельных исследований работы системы терморегуляции в условиях невесомости. Отдельно рассмотрено вли-

яние интенсивной физической нагрузки на тепловые процессы. Получены локальные теплофизические параметры, которые могут быть полезны при усовершенствовании элементов системы охлаждения скафандров.

This paper discusses the application of modern models of thermoregulation systems. The automatic cooling system of the suit is described. The reason of the problem of thermal comfort of astronauts working on the international space station is considered. The complex of model researches of operation of system of thermoregulation in the conditions of weightlessness is executed. The influence of intense physical activity on the process of thermoregulation is considered separately. Local thermophysical parameters were obtained to improve the cooling system of spacesuits.

Актуальной задачей в области разработки систем жизнеобеспечения летательных аппаратов является обеспечение теплового комфорта для человека и предотвращение перегрева во время выполнения физических нагрузок на МКС.

Цель настоящей работы – обзор элементов системы охлаждения скафандров, анализ области применения современных моделей систем терморегуляции для решения инженерных задач, проведение модельных исследований работы системы терморегуляции для получения локальных теплофизических параметров, которые позволят усовершенствовать элементы системы охлаждения.

В работе описана автоматическая система охлаждения скафандра, представляющая собой костюм водяного охлаждения. Основным минусом такой системы является низкая скорость установления температуры в костюме до необходимой величины, что влечет за собой тепловой либо холодовой дискомфорт космонавта.

В данной работе представлен обзор современных моделей систем терморегуляции, которые позволяют описать тепловые процессы в различных условиях. Одной из таких моделей является, разработанная на кафедре ТТФ НГТУ методика расчета тепловых процессов в системе «человек - окружающая среда». В большей части рассмотренных в обзоре работ участки организма человека представлены как многослойные цилиндры с внутренним источником тепла. Математическим описанием моделей являются системы дифференциальных уравнений. В представленных моделях нет максимального приближения к реальному объекту, а описывается лишь отдельный (главный) процесс. Кроме того, большую сложность представляет собой учет тепла, которое переносится с кровью между расчетными элементами и слоями. Однако такие модели позволяют проводить расчетные исследования и устанавливать рамки для необходимых экспериментов.

В работе выполнен комплекс модельных исследований работы системы терморегуляции в условиях невесомости с учетом работы исполни-

тельных механизмов, в том числе переноса тепла с током крови, и внутренних источников тепла.

Выполнены серии расчетов для условий Земли и невесомости с целью определения тепловых потерь (рис. 1) и распределения температур отдельно для каждого расчетного элемента (части тела). Исследовано влияние мощности внутренних источников тепла при физической работе в условиях МКС. Проведена оценка вклада каждой составляющей теплового потока в суммарные тепловые потери. Выполнен анализ влияния перераспределения теплоносителя между «ядром» и «оболочкой» в условиях невесомости на процесс теплоотдачи в системе терморегуляции человека.

Отдельное исследование посвящено оценке теплового комфорта космонавта после длительного пребывания в условиях невесомости и воздействия тяжелой формы гиподинамии в момент приземления в неблагоприятных погодных условиях. Проведен анализ влияния величины термического сопротивления защитной одежды на процесс теплоотдачи и предложены места и материалы специальных утепляющих вставок.

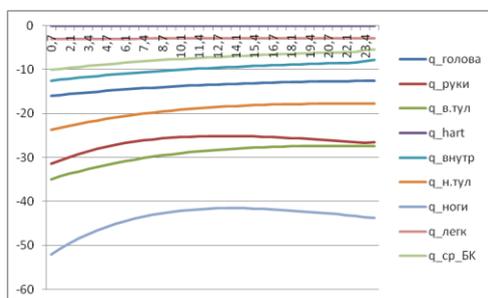


Рис.1. Тепловые потери (Вт) различных частей тела человека в зависимости от времени (мин) при температуре 24 °C

Результаты работы могут быть использованы при проектировании систем охлаждения скафандров, для оптимизации элементов индивидуальных систем обеспечения теплового комфорта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Новосибирского государственного технического университета (проект С19-22).

Литература

1. *Основы космической биологии и медицины*. Том I. Космическое пространство как среда обитания. М.: Наука, 1975. - 450 с.

2. *Основы космической биологии и медицины*. Том II. Книга первая. Экологические и физиологические основы космической биологии и медицины. М.: Наука, 1975. - 422 с.

3. Катунцев В.П., Филипенков С.Н. / Тепловое состояние космонавтов при автоматическом регулировании теплосъема в период внекорабельной деятельности с борта международной космической станции // *Медицина экстремальных ситуаций*. – 2019. – 10 с.

4. Лучаков Ю.И. / Перенос тепла в организме человека // *Вестник СПбГУ*. – 2007. – 7 с.

6. Ермакова И.И. / Информационная платформа мультикомпарментальных моделей терморегуляции человека // *Кибернетика и вычисл. Техника*. – 2013. – 11 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВНОГО БЛОКА ОХЛАЖДЕНИЯ СКВ ЛА

А.Б. Дагаева^{1,2}, Б.Ч. Аюров², И.Д. Белоусов²

¹АО «ОКБ «Аэрокосмические системы»»

г. Дубна, alexadag@gmail.com

²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, e-mail shirorisan@gmail.com

Аннотация. В работе приведены схемы и назначение агрегатов основного блока охлаждения в авиационных системах кондиционирования воздуха. Целью настоящей работы является разработка усовершенствованных методов проектирования данных агрегатов для проведения расчетных исследований и оптимизации конструктивных и теплофизических параметров.

Abstract. The report describes schemes and the purpose of the main cooling unit components in aviation air conditioning systems. The aim of this research is to develop improved for designing these components, conducting calculation studies and optimizing structural and thermophysical parameters.

Основной блок охлаждения состоит из двух теплообменных аппаратов и предназначен для получения давления и температуры, пригодных для работы блока «петля».

Первичный теплообменник. Это первый теплообменник узла охлаждения (рис. 1). Основная цель – уменьшить входную температуру 200 °С примерно до 100 °С, пригодных для работы компрессора турбохолодильной установки (ТХУ). Продувается забортным воздухом с помощью вентилятора ТХУ. Изготавливается уже из недорогих алюминиевых сплавов (дюралюминий). Однако, как и предварительный теплообменник, работает на больших перепадах температур, что также приво-

дит к возникновению термических напряжений. Ввиду меньших прочностных свойств, чем у жаропрочных сталей, а также за счёт явления малоцикловой усталостной прочности, происходит частичное разрушение орёбрений и нарушение герметичности. Это приводит к необходимости периодического ремонта или замены теплообменника.

Основной теплообменник. Основная цель теплообменника – отвести тепло, полученное от компрессора ТХУ и довести температуру до пригодной для работы турбины ТХУ. Работает в комфортном диапазоне температур для дюралюминия. Основная эксплуатационная особенность – впрыск капельной влаги в продувочный тракт для повышения эффективности охлаждения. Капельная влага выделяется в теплообменнике-конденсаторе, улавливается влагоотделителем и через систему впрыска подается на вход продувочного воздуха. Происходящее испарение капель воды изменяет теплофизические параметры воздуха по тракту теплообменника.



Рис. 1. Основной блок охлаждения СКВ ЛА

В работе выполнен анализ специфики работы, а также трехмерное CAD моделирование параметров теплообменных аппаратов, входящих в основной блок охлаждения СКВ ЛА.

Литература:

1. Системы жизнеобеспечения и оборудование летательных аппаратов: учебное пособие / А.В. Чичиндаев, Ю.В. Дьяченко, В.А. Спарин, И.В. Хромова; под ред. А.В. Чичиндаева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 319 с. (Серия «Учебники НГТУ»).
2. Дьяченко Ю.В. Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе: учеб пособие / Ю.В. Дьяченко, А.В. Чичиндаев. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с.
3. Руководство по технической эксплуатации самолета Ту-204.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБОХОЛОДИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА АВИАЦИОННЫХ СКВ

А.Б. Дагаева^{1,2}, Д.А. Переладов², А.С. Герасимов²

¹АО «ОКБ «Аэрокосмические системы»»

г. Дубна, alexadag@gmail.com

²Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, e-mail a.gerasimov99@mail.ru

В работе приведены устройство, назначение и принцип работы турбохолодильника в авиационных системах кондиционирования воздуха. Целью настоящей работы является разработка усовершенствованных методов проектирования данного агрегата для проведения расчетных исследований и оптимизации конструктивных и теплофизических параметров.

The report describes the device, purpose and working principle of a cooling turbine in aviation air conditioning systems. The aim of this research is to develop improved design methods for this unit for conducting calculation studies and optimizing structural and thermophysical parameters.

В настоящей работе с целью дальнейшего усовершенствования и проектирования рассмотрены устройство, назначение и принцип работы турбохолодильника.

Назначение ТХ. Турбохолодильник представляет собой устройство, в котором происходит газодинамическое расширение потока с целью снижения его температуры. Выделяемая при этом энергия газа с помощью специального устройства (тормоза) преобразует в механическую работу. На самолёте ТУ-204 применён так называемый трёхколёсный турбохолодильник, когда на валу ротора располагаются три газодинамических устройства: причём к одной турбине подключены два тормоза – вентилятор и компрессор.

Устройство ТХ. Конструктивно турбохолодильник образован из пяти основных узлов (рис. 1): турбины 10 – для расширения и охлаждения газа, тормозного устройства (состоящего из компрессора 6 и вентилятора 3) – для передачи высвобождённой энергии вспомогательной среде, вала 8 – для передачи энергии от турбины к тормозу, корпуса 4 – для крепления узлов, размещения подшипников и системы смазки ТХ.

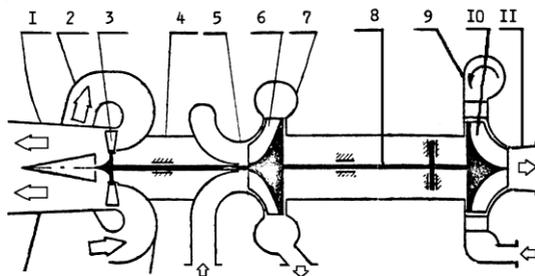


Рис. 1. Принципиальная схема трёхколёсного турбохолодильника СКВ Ту-204: 1 – выхлопной патрубок вентилятора; 2 – входная улитка вентилятора, 3 - вентилятор; 4 – корпус турбохолодильника; 5 – входная улитка компрессора; 6 - компрессор, 7 – выходная улитка компрессора, 8 – ротор турбохолодильника; 9 - входная улитка турбины; 10 - турбина; 11 – выхлопной патрубок турбины

Турбина ТХ. Состоит из трёх элементов: входной улитки 9 для подвода воздуха высокого давления, колеса турбины 10 и выхлопного патрубка 11 для вывода охлаждённого воздуха низкого давления (в холодный тракт конденсатора).

Компрессор ТХ. Включает в себя следующие элементы: входную улитку 5 для подвода предварительно охлаждённого воздуха повышенного давления, колесо компрессора 6 и выходную улитку 7 для вывода воздуха высокого давления. Компрессор включён в основную линию СКВ и используется для дополнительного частичного повышения давления воздуха в системе.

Вентилятор ТХ. Имеет в составе аналогичные элементы: входную улитку 2 для подвода охлаждающего воздуха из продувочного тракта теплообменников СКВ, колесо вентилятора 3 и выхлопной патрубок 1 для сброса отработанного воздуха в атмосферу. Вентилятор подключён к продувочному тракту теплообменника и используется для прокачки через него теплоносителя.

Принцип действия ТХ. Принцип действия охлаждающей турбины. Внутренняя энергия газа преобразуется в соплах улитки 9 в кинетическую энергию движения высокоскоростной струи. За счет аэродинамического воздействия струи на рабочее колесо 10 происходит преобразование кинетической энергии газа во вращательное движение вала 8. Затраченная при этом работа с помощью вала передается на тормозное устройство. В результате этого из выхлопного патрубка 11 турбины вы-

ходит газ, внутренняя энергия которого уменьшается на величину произведенной работы, то есть с более низкой температурой и давлением.

Принцип действия компрессора. Жестко закрепленное на валу 8 рабочее колесо 6 осуществляет: во-первых, захват газа в улитке 5 посредством аэродинамического воздействия своих профилированных лопаток; во-вторых, сжатие и разгон воздуха. При этом происходит преобразование механической работы вращения в потенциальную и кинетическую энергию газа. В спрямляющем аппарате и улитке 7 производится торможение потока, сопровождающееся преобразованием кинетической энергии в дополнительную потенциальную энергию давления потока. В результате этого из улитки 7 выходит газ, внутренняя энергия которого увеличена на величину совершенной над ним работы, то есть с более высокой температурой и давлением.

Принцип действия вентилятора. Закрепленное на валу 8 рабочие колесо вентилятора 3 осуществляет захват газа в патрубке 2 и проталкивание его в выхлопной патрубков 1.. При этом происходит преобразование части механической работы вращения в кинетическую энергию газа. В патрубке 1 производится частичное торможение потока, сопровождающееся незначительным повышением потенциальной энергии потока. В результате этого из патрубка 1 выходит высокоскоростной поток продувочного забортного воздуха, сбрасываемого далее в атмосферу.

Основные особенности трехколёсного ТХ. Данный тип турбохолодильника имеет следующие характерные особенности. Во-первых, он обладает большей экономичностью, т.к. позволяет осуществлять более полное и рациональное использования выделяемой в турбине мощности, чем классический двухколёсный турбохолодильник. На рабочем режиме на компрессор отводится около 75 % мощности турбины, а на вентилятор – 25 %. Во-вторых, он даёт возможность устойчивой работы в широком диапазоне угловых скоростей вращения ротора (т.е. различных давлениях воздуха на входе в турбину). Это вызвано тем, что вентилятор – эффективнее на больших оборотах вала, а компрессор – на малых. Поэтому, в случае падения оборотов турбины большую долю тормозной нагрузки несёт компрессор, а в случае повышения оборотов турбины – происходит перераспределение тормозного момента на колесо вентилятора. В-третьих, в турбохолодильнике применены подшипники на газовых опорах, повышающие эксплуатационную надёжность и упрощающие обслуживание элементов системы кондиционирования в целом.

В настоящей работе выполнен анализ специфики работы, а также трехмерное САД моделирование параметров трехколесного турбохолодильника авиационных СКВ.

Литература:

1. Чичиндаев А.В. Тепломассообмен влажного воздуха в компактных пластинчато-ребристых теплообменниках : монография / А.В. Чичиндаев. – Новосибирск : изд-во НГТУ, 2012. - 298 с. (Серия «Монографии НГТУ»).

2. Чичиндаев А.В. Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников. Теоретические основы : учебное пособие / А.В. Чичиндаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 436 с. - (Серия «Учебники НГТУ»).

3. Системы жизнеобеспечения и оборудование летательных аппаратов: учебное пособие / А.В. Чичиндаев, Ю.В. Дьяченко, В.А. Спарин, И.В. Хромова; под ред. А.В. Чичиндаева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 319 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

4. Дьяченко Ю.В. Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе: учебное пособие / Ю.В. Дьяченко, А.В. Чичиндаев. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с.

5. Руководство по технической эксплуатации самолета Ту-204.

6. Aircraft Maintenance Manual Airbus A320 (a/c VLG) – Chapter 21 (Air conditioning).

7. Boeing 757 aircraft maintenance manual – Chapter 21 (Air conditioning).

ПРОБЛЕМЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С.В. Дворецкий, Е.Ю. Макарова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sergei-dvoreckii@mail.ru**

В работе проведен анализ проблем беспилотных летательных аппаратов на предмет возможности эксплуатации в воздушном пространстве. Предложены пути решения данных проблем.

The paper analyzes the problems of unmanned aerial vehicles for the possibility of operation in the airspace. The ways of solving these problems are proposed.

В настоящее время в России стремительно разрабатываются концепции развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Быстрое развитие микроэлектроники в последние годы привело к появлению новых видов и классов устройств, помогающих решать разноплановые задачи во многих областях деятельности и отраслях промышленности. Стремительный рост числа БПЛА и расширение масштаба их эксплуатации в интересах государственных и коммерческих заказчиков обнаружил целый ряд проблем. На первом месте стоит высокая аварийность

БПЛА на втором необходимость выполнять полеты в едином воздушном пространстве с пилотируемыми воздушными судами.

Более 400 единиц БПЛА разбилось в результате аварий с 2001 года, согласно данным расследования, проведенным журналистами издания Washington Post. С момента начала военных действий в Афганистане и Ираке, когда вооруженные силы США, начали массовое использование БПЛА, большое количество аппаратов потерпело аварию по причине технических поломок, человеческого фактора, плохой погоды и других причин [1].

Одним из главных аспектов в решении вопроса высокой аварийности БПЛА – это подготовка операторов. Основная задача оператора БПЛА избегать столкновения с другими участниками воздушного движения и, в случае необходимости, безопасно прекратить полет, не нанося ущерб третьим лицам на земле. Оператор БПЛА должен иметь подготовку, прежде всего, как участник воздушного движения и пользователь воздушного пространства. Владение же только навыками пилотирования БПЛА, без твердого знания правил полетов и порядка использования воздушного пространства, для безопасности полетов явно недостаточно.

Вторая проблема, это эксплуатация БПЛА происходит в едином воздушном пространстве с пилотируемыми воздушными судами. На борту БПЛА нет человека, а системы теленаблюдения и линии передачи данных не позволяют оператору своевременно увидеть опасность или другой летательный аппарат, реализовать принцип полетов по правилам визуальных полетов весьма сложно. Реакция оператора, как правило, запаздывает. Использование воздушного пространства БПЛА осуществляется посредством установки временного и местного режимов, а также кратковременных ограничений в интересах пользователей воздушного пространства, организующих полеты беспилотным летательным аппаратом. То есть на сегодняшний день, для использования БПЛА, например, для мониторинга газопроводов или лесов требуется закрывать значительную часть воздушного пространства для пилотируемой авиации. Решение данной проблемы гарантирует безопасность пилотируемых воздушных судов от столкновений с беспилотными летательными аппаратами, но не способствует развитию беспилотной авиации [2].

При более подробном рассмотрении вопроса создания автоматических комплексов управления, отмечается недостаточная проработка инструментов планирования действий и управления в реальном времени группой БПЛА совместно выполняющих общую задачу. Большинство существующих программных решений предназначены для планирования и управления действиями автономных БПЛА, действующих в одиночку, при этом имеет место низкий уровень проработанности механизмов

планирования, контроля и управления действиями объединенной группы БПЛА. Такие механизмы позволили бы наиболее эффективно, в части финансовых и временных затрат, использовать имеющиеся в распоряжении ресурсы (навесное оборудование, заряды аккумуляторов или запасы топлива, аппаратные вычислительные ресурсы БПЛА и временные ресурсы) и, при необходимости, оперативно распределять поступающие в режиме реального времени новые задачи между отдельными аппаратами группы непосредственно в процессе выполнения заданий [3].

Часть заданий, совместно выполняемых группой БПЛА имеют чрезвычайную значимость (например, задачи, поиска людей под завалами при ликвидации последствий ЧС, задачи поиска очага возгорания и тушения пожаров и т.д.). В процессе выполнения подобных задач необходимо обеспечить оперативное принятие решений. Таким образом, появляются серьезные требования к программным средствам управления в части обеспечения высокого уровня быстродействия как следствие ограниченного запаса времени для принятия решений. В классических системах ручного и автоматизированного управления БПЛА качество и скорость решения задач напрямую зависит от решений операторов, особенно влияние принимаемых решений и последствия возможных человеческих ошибок проявляется в случае, когда оператору необходимо управлять группой БПЛА и принимать важные решения в условиях дефицита времени [3].

Общая ситуация, в условиях которой выполняется задание, требует оперативной оценки обстановки, просчета возможных вариантов и выбор выполнимого и эффективного варианта с учетом наличия множества одновременно влияющих факторов и при отсутствии единственного показателя, однозначно оценивающего качество выполнения задач.

При этом необходимо произвести расчеты индивидуальных маршрутов и действий БПЛА, согласование их между собой и обеспечение достижения заданных критериев выполнения задач (критерии могут носить разнообразный характер в зависимости от сферы практического использования БПЛА, например, по критерию обеспечения безопасности полета, критерию эффективности использования ресурсов и оборудования БПЛА, критерию по времени автономного полета и т.д. Все это требует одновременного учета множества факторов и условий внешней среды, оказывающих непосредственное влияние на ход и качество выполнения задач.

Следует отметить, что эксплуатация всех типов БПЛА должна осуществляться в светлое время суток, при визуальной видимости. Нормы эшелонирования между пилотируемыми воздушными судами и беспилотными летательными аппаратами (БЛА) должны быть разработаны с учетом особенностей их эксплуатации.

лотными ЛА необходимо увеличить. При сертификации БПЛА основное внимание должно быть уделено их надежности. Так же в нормативных документах должен быть четко и подробно указан порядок действий операторов БПЛА, органов и экипажей пилотируемых воздушных судов в форс-мажорных ситуациях.

В настоящее время не решён вопрос, чтобы сам БПЛА следил за окружающим пространством и автономно решал вопрос защиты от столкновений. Решением данной проблемы, может быть, заимствование методов управления воздушным движением у авиадиспетчеров. Не следует поручать несколько БПЛА одному оператору, так как ошибки операторов играют ключевую роль в аварийности. Необходимо следить, чтобы радио каналы управления у разных БПЛА были разнесены. Если два БПЛА работают на одной частоте одновременно, то, необходимо ввести запрет на одновременную работу.

Только при очень внимательном и серьезном подходе Россия сможет выйти на лидирующие позиции в области применения беспилотной авиации, и задачей российского авиационного сообщества является создание для этого всех условий.

Литература:

1. Аварийность беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] // <http://avia.pro/blog/avariynost-besplotnyh-letatelnyh-apparatov> (дата обращения: 25.10.2019)
2. Блинков Ю. Перспективы развития беспилотной авиации в ведущих странах НАТО. ЗВО №12, 2012. 54-57 с.
3. Ростопчин В.В. Современная классификация беспилотных авиационных систем военного назначения // Интернет-издание UAV.ru – Беспилотная авиация.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ ПУЗЫРЕЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕНИЯ НА СТЕНКЕ В ДВУХФАЗНОМ НИСХОДЯЩЕМ ПУЗЫРЬКОВОМ ТЕЧЕНИИ

И.А. Евдокименко^{1,2,3}

¹Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, evdokimenko96@ngs.ru

²Институт теплофизики им.С.С. Кутателадзе СО РАН
г. Новосибирск

³Инженерная школа Polytech Nantes, г. Сен-Назер, Франция

The effect of bubble sizes on the characteristics of the near-wall friction stress in a two-phase downward flow is investigated. Data were obtained using the electrodiffusion method. Measurements were carried out for Reynolds numbers $Re = 6000-8000$, which were calculated from the velocity of the liquid phase and with the discharge gas content $\beta = 0-0.05$. A comparison was also made of the results with other data.

Ранее было показано [1], что теплообмен в двухфазных нисходящих пузырьковых течениях протекает по разным закономерностям при различных размерах пузырей, присутствующих в потоке. Предполагается, что это связано с «ламинаризацией» потока в пристенной области (снижением степени турбулентности). Вероятность возникновения такого явления была обнаружена экспериментально [2] и позднее численно с помощью DNS [3]. В данной работе с помощью электродиффузионного метода были проведены исследования степени влияния размеров газовой фазы на распределение напряжения трения вблизи стенки трубы в диапазоне чисел Рейнольдса $Re=6000-8000$ и газосодержании $\beta = 0-0.05$.

Добавление газа в поток жидкости и его влияние на тепломассоперенос к настоящему времени представляет высокий интерес для нефтеперерабатывающей и энергетической отраслей. Также двухфазные газожидкостные потоки с успехом применяют в микробиологии, а также в авиа- и машиностроении, что делает это направление актуальным для изучения.

В настоящий момент для моделирования турбулентных течений разрабатываются современные методы (DNS, LES), которые требуют больших вычислительных мощностей, что занимает много времени даже на суперкомпьютерах. Проводятся экспериментальные исследования гидродинамики двухфазных потоков, однако количество работ, в которых рассматриваются характеристики потоков в пристенной области (касательные напряжения, теплообмен) ограничено.

В предыдущих работах [1, 2] было выяснено, что изменение размеров пузырей влияет на характеристики теплообмена в двухфазных нисходящих пузырьковых потоках. Предполагается, что это явление связано с подавлением турбулентности в пристенной области. В связи с этим,

изучение распределения напряжения трения на стенке трубы является важной задачей для исследования механизма процессов тепло-массо-переноса в течениях газ-жидкость. В данной работе были проведены эксперименты по измерению распределения напряжения трения на стенке в двухфазных газожидкостных потоках.

Экспериментальный стенд представлял собой вертикальную оргстеклянную трубу с внутренним диаметром 20 мм. Для формирования пузырей необходимого размера использовалось управление отрывным диаметром с помощью смесителя, содержащего массив капилляров. Для определения размеров пузырей использовался метод теневой съемки цифровой камерой. Измерения проводились с помощью электродиффузионного метода. Он основан на измерении тока диффундирующих к электроду и разряжающихся на нем ионов. Катод и анод были погружены в раствор, между ними создавалось постоянное напряжение от источника тока. В качестве раствора электролита был выбран стандартный электрохимический раствор. В качестве катода использовалась платиновая проволока диаметром 50 мкм. Она была зашлифована вровень со стенкой.

Эксперименты проводились в диапазоне чисел Рейнольдса $Re=6000-8000$ и газосодержании $\beta = 0-0.05$.

$$Re = \frac{ud}{\nu},$$

где u -скорость течения потока, d - гидравлический диаметр канала, ν -кинематическая вязкость жидкости.

$$\beta = \frac{V_g}{V_g + V_{ж}},$$

где V_g это объемный расход газа, $V_{ж}$ – объемный расход жидкости.

Проведены исследования распределения напряжения трения вблизи стенки трубы нисходящего пузырькового потока при субмиллиметровых (~0,60 мм) размерах пузырей (Рисунок 1).

Эксперименты проводились при значениях чисел Рейнольдса 6000, 7000 и 8000, а локальное газосодержание β было равно 0,5% , 1% и 5%.

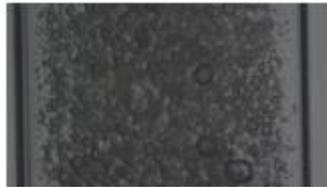


Рис. 1 – Фотография пузырей

На рисунке 2 показано распределение напряжения пульсаций на стенке при $Re=6000$ для различных газосодержаний. Полученные в работе [4] данные для однофазного течения обозначены пунктиром. В нашей работе ему соответствуют линии розового цвета. Заметно, что графики совпадают между собой. Так же были проведены эксперименты при однопроцентном и пятипроцентном газосодержании. Выяснено, что введение 1% газа практически не влияет на распределение плотности вероятности напряжения трения и практически совпадает с однофазным потоком. Но при увеличении газосодержания гистограмма меняет форму и становится более похоже на распределение Гаусса.

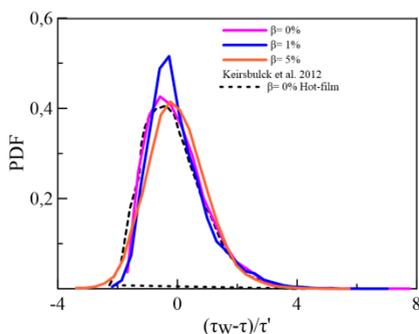


Рис. 2 – Распределение пульсаций напряжения трения на стенке при $Re=6000$

Было проведен анализ спектральных характеристик напряжения трения на стенке, показано, что при малых размерах дисперсной фазы в среднечастотной области спектра наблюдается область, подчиняющаяся закону f^1 , что является новым результатом, а для крупных пузырей наблюдается закон f^3 , что согласуется с данными работ, в которых исследована наведенная пузырями турбулентность [5,6].

В настоящий момент в отечественной и зарубежной литературе приведен анализ спектральных характеристик только для восходящих течений, а данные по нисходящему течению отсутствуют.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИТ СО РАН
Евдокименко И.А. благодарит Новосибирский Государственный Технический Университет за поддержку в проведении работы.

Литература:

1. Evdokimenko I.A., Lobanov P.D. Heat transfer in bubbly downward flow at low gas flow rates // Journal of Physics; Conference Series, –201. №115 –P. 012089
2. Lobanov P.D. Wall Shear Stress and Heat Transfer of Downward Bubbly Flow at Low Flow Rates of Liquid and Gas // J. Engin. Thermophys. . – 2018. №27. –P.232–244
3. Kashinsky O. N., Randin V. V. Downward bubbly gas-liquid flow in a vertical pipe // Int. J. Multiphase Flow. –1999. №25. –P. 109–138.
4. Lu J., Tryggvason G. Numerical study of turbulent bubbly downflows in a vertical channel // Physics of fluids. –2006. №18. –P. 1–10.
5. Keirsbulck, L., Labraga, L., & Gad-el-Hak, M. Statistical properties of wall shear stress fluctuations in turbulent channel flows // International Journal of Heat and Fluid Flow. –2012. №37 –P. 1–8.
6. Souhar, M. Some Turbulence Quantities and Energy Spectra in the Wall Region in Bubble Flows, Phys. Fluids A: Fluid Dyn., –1989. №1, –P 9.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРЕНАЖЕРОВ
ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ КОСМОНАВТОВ**

М.С. Кан, И.В. Хромова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, hallasan0304@gmail.com**

В настоящей работе были описаны негативные эффекты пребывания человека в невесомости, влияние гиподинамии на организм человека, а также устройства компенсации пребывания человека в невесомости и процесс реабилитации космонавтов после космического полета. Были выявлены особенности работы кровеносной системы в условиях невесомости и при недостаточной физической активности. Выполнен комплекс модельных исследований влияния гиподинамии на Земле и в невесомости, а так же различных видов физической нагрузки для компенсации негативного воздействия.

The problem reviewed in this topic is to describe negative impact of being in zero gravity, the effect of physical inactivity on the human body, devices for compensating a person's weightlessness and the process of rehabilitation of astronauts after a space flight. There were identified the features of the cardiovascular system in weightlessness and with insufficient physical activity. There were performed a complex of model studies of the effects of physical inactivity on Earth and in zero gravity. Also a review and analysis of the effectiveness of various fitness equipments used during space flight and in rehabilitation upon return to Earth was conducted.

Актуальной задачей в области поддержания здоровья космонавтов в условиях невесомости является компенсация негативного влияния не-

сомости и гиподинамии на организм человека для обеспечения долгосрочного пребывания человека в космосе. В настоящее время ведутся разработки для усовершенствования средств компенсации невесомости и гиподинамии. Снижение двигательной активности и другие физиологические изменения в теле человека, находящегося в невесомости приводят к нарушениям работы сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата и других систем организма.

Гиподинамия – состояние сниженной физической активности организма человека, ввиду отсутствия мышечной нагрузки, вызывающее ряд нарушений в работе организма, которые могут привести к заболеваниям сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, дыхательной и других систем. Снижение активности приводит к уменьшению мышечной массы и изменению структуры костной ткани. Изменение гравитации приводит к изменению распределения давления в теле, вследствие чего, происходит перераспределение крови в организме человека.

На сегодняшний день наиболее эффективным средством компенсации являются тренажеры, приспособленные к работе в невесомости, позволяющие оказывать достаточные нагрузки на различные группы мышц космонавта.

Цель настоящей работы – исследование влияния двигательной активности человека, типа и интенсивности физической нагрузки на различные группы мышц при разработке средств компенсации гиподинамии условиях невесомости и на Земле.

Проведенный анализ моделей работы систем организма показал, что создание расчетных методик позволяет устанавливать границы для проведения необходимых экспериментов и решать конкретные инженерные задачи при разработке элементов систем жизнеобеспечения, в частности для компенсации описанных негативных эффектов.

В работе выполнен комплекс модельных исследований воздействия гиподинамии на работу кровеносной системы человека. Выявлены особенности недостатка двигательной активности человеческого организма на Земле и в невесомости. Отдельное исследование посвящено влиянию избытка и недостатка мышечной массы на перераспределение крови по тканям. Проведен анализ влияния различных типов физической активности человека для компенсации негативного воздействия гиподинамии и потери мышечной массы в условиях невесомости. Так же выполнена оценка эффективности различных типов тренажеров и интенсивности тренировочного процесса, как одного из важнейших этапов поддержания жизнедеятельности и работоспособности на МКС.

Результаты выполненных исследований могут быть полезны специалистам в области разработки систем жизнеобеспечения космических летательных аппаратов, а так же в авиационной и спортивной медицине.

Работа выполнена при финансовой поддержке Новосибирского государственного технического университета (проект С19-22).

Литература

1. Здоровый образ жизни студентов: гиподинамия и пути ее преодоления. Евдокимова А.А. Санкт-Петербургский образовательный вестник, Изд-во Небренчин Александр Владимирович, 2016. – 12-15 с.

2. What happens to muscles in space [Электронный ресурс]: официальный сайт Канадского космического агентства. – режим доступа: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/sciences/osm/muscles.asp> - заглавие экрана.

3. What happens to bones in space [Электронный ресурс]: официальный сайт Канадского космического агентства. – режим доступа: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/sciences/osm/bones.asp> - заглавие экрана.

4. The vascular series: studying heart health in space [Электронный ресурс]: официальный сайт Канадского космического агентства. – режим доступа: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/sciences/osm/vascular.asp> - заглавие экрана.

5. Что происходит с вестибулярной системой в космосе? [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://inno.imbp.ru/library/Здоровье%20человека%20-%20что%20происходит%20с%20вестибулярной%20системой%20в%20космосе.pdf> - заглавие экрана.

6. Studying Cardiovascular Health in Microgravity [Электронный ресурс]: Richard L. Hughson, PhD – режим доступа: https://blogs.nasa.gov/ISS_Science_Blog/2016/05/04/studying-cardiovascular-health-in-microgravity/ - заглавие экрана.

7. Hazard 4: Gravity [Электронный ресурс]: Dr. Peter Norsk, 2018, – режим доступа: <https://www.nasa.gov/johnson/HWHP/hazard-4-gravity>. - заглавие экрана.

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕНА НА СУБЛИМАЦИЮ В АРГОНЕ ОДИНОЧНОЙ ЧАСТИЦЫ АЦЕТИЛАЦЕТОНАТА ХРОМА(III) И ДИПИВАЛОИЛМЕТАНАТА ЦИРКОНИЯ(IV)

К.С. Лебеда, М.С. Макаров
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kslebeda@outlook.com

Бета-дикетонаты хрома и циркония являются перспективными прекурсорами для процессов химического осаждения из газовой фазы термобарьерных и функциональных покрытий в двигателестроении, химических технологиях. В данной работе проанализированы процессы теплообмена при сублимации (десублимации) сферических частиц указанных прекурсоров в среде аргона, при условиях характерных для технологических процессов их применения. Выявлено влияние лучистого теплообмена на интенсивность сублимации в реакторе с горячими стенками при различных температурах.

β -diketonates of chromium and zirconium are promising precursors for Metalorganic chemical vapour deposition thermal barriers and functional coverages in engine design, chemical technologies. In this paper were analysed heat transfer processes of sublimation (desublimation) of spherical particles of specified precursors in the volume of argon, under the conditions specific to process their application. Was identified impact of radiation heat transfer on intensity of sublimation in reactor with heated walls at the different temperatures.

В высокотемпературных химических технологиях, при производстве авиационных лопаток турбин, жаровых труб камер сгорания энергетических газовых турбинных установок для защиты теплонапряженных поверхностей используют различные технологии получения термобарьерных покрытий. Перспективным является метод химического осаждения из газовой фазы с использованием паров металлорганических соединений. Для внедрения метода в процесс производства необходимо обеспечить высокую скорость роста покрытия и эффективное использование прекурсора. Этого можно достичь, подавая смесь паров прекурсора с инертным газом на покрываемую поверхность для последующего окисления и химического осаждения. В этом случае парогазовая смесь формируется в отдельном устройстве – сублиматоре. Как правило, переход прекурсора в паровую фазу осуществляется в сублиматорах с горячими стенками в условиях интенсивного теплообмена [1-3]. Таким образом, холодная частица из дозатора попадает в сублиматор, где пары прекурсора находятся в перегретом по отношению к частице состоянии.

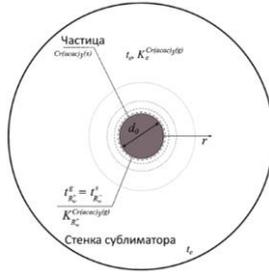


Рис. 1. Схема процесса сублимации частиц прекурсора в сублиматоре с горячими стенками.

В данной работе в сопряжённой постановке проведено численное моделирование сублимации (десублимации) сферических частиц $\text{Cr}(\text{acac})_3$ и $\text{Zr}(\text{dpm})_4$ в инертный газ – аргон или в смесь аргона с паром, соответствующего соединения. На основе полученных результатов анализируются процессы теплообмена, интенсивность сублимации, характерные времена процесса при различных температурах стенок сублиматора. На рис. 1 представлена расчётная область и основные параметры задачи. Более подробное описание метода решения задачи можно найти в работах [2-4]. На рис. 2 представлены результаты расчётов интенсивности уноса массы с поверхности частиц ацетилацетоната хрома(III) и дипивалоилметаната циркония(IV) в зависимости от времени её нахождения в зоне сублимации. Расчёты выполнены для частиц диаметром 4 мкм с начальной температурой 28 °С, массовой концентрацией паров 0,001. Температура стенок реактора принималась равной 166 °С, 208 °С, что соответствует температуре потока и давлению насыщенных паров 80 Па для каждого прекурсора соответственно.

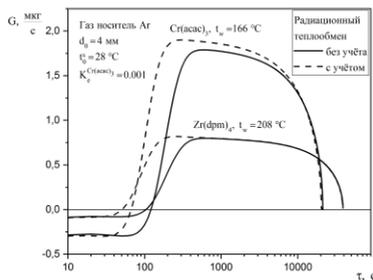


Рис. 2. Интенсивность уноса массы с поверхности частицы $\text{Cr}(\text{acac})_3$ в зависимости от времени.

Как оказалось, радиационный теплообмен оказывает существенное влияние на время жизни частиц различных прекурсоров в подобных сублиматорах.

Литература

1. Vahlas C., Caussat B., Senocq F. et al. A delivery system for precursor vapors based on sublimation in a fluidized bed // Chem. Vap. Deposition. 2007. V. 13. p. 123-129.
2. Игуменов И.К., Лукашов В.В., Макаров М.С., Макарова С.Н. Молекулярно-кинетические аспекты процессов парообразования летучих координационных соединений с органическими лигандами // ЖСХ. 2017. Т.58, №8. с. 1534-1542.
3. Abdrakhmanov R.Kh., Igumenov I.K., Lukashov V.V., Makarov M.S., Makarova S.N. Heat and mass transport at unsteady sublimation of single metal-organic particles in the gas-carrier flow // Proceedings of 13th HEFAT 2017. №728. 6 p.
4. Igumenov I.K., Makarov M.S., Makarova S.N. Influence of radiative heat transfer on the sublimation of a single chromium (III) and zirconium (IV) β -diketonate particle in the argon-helium gas mixture // IOP: JoP:CS. 2018. V. 1128. 012052. 6 p.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЛОКА «ПЕТЛЯ» СКВ ЛА

А.Н. Липин, О.В. Вишневецкая, А.В. Чичиндаев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lipin.aleks@yandex.ru

В работе приведены схемы и назначение агрегатов узла охлаждения в авиационных системах кондиционирования воздуха типа «петля». Целью настоящей работы является разработка усовершенствованных методов трехмерного проектирования данных агрегатов для проведения расчетных исследований и оптимизации конструктивных и теплофизических параметров.

The report describes schemes and purpose of the cooling unit units in aviation air conditioning systems of the «loop» type. The purpose of this work is to develop advanced methods of three-dimensional design of these units for computational studies and optimization of structural and thermophysical parameters.

В настоящее время на всех современных самолетах: Ту-204, Superjet 100, МС-21 и зарубежных Boeing, Airbus получили распространение схемы СКВ нового поколения с отделением влаги на линии высокого давления («петли» в отечественной, «*shoestring*» в англоязычной литературе). Особенности схемы: отделение влаги на линии высокого дав-

ления с использованием конденсатора (охлаждаемого воздухом из турбохолодильника) и регенератора; применение 50 % рециркуляции кабинового воздуха за счет снижения температуры на выходе «петли» до минус 8 °С; установка трехколесного турбохолодильной установки (ТХУ) с газовыми опорами (подшипниками), используемого для дополнительного сжатия воздуха высокого давления (ВВД) и принудительной продувки первичного и основного теплообменников. Главными достоинствами схемы являются: возможность работы на влажном воздухе; снижение давления воздуха, отбираемого от компрессора двигателя на нужды СКВ; увеличение в два раза экономичности СКВ. В данной работе с целью дальнейшего усовершенствования и проектирования рассмотрены три агрегата с различным назначением и эксплуатационными особенностями.

Теплообменник-регенератор. Основная цель теплообменника (рис. 1) – произвести осушение воздуха за счет испарения остатков воды, оставшихся после влагоотделителя, чтобы на вход в турбину ТХУ поступал сухой воздух, и довести температуру до пригодной для работы турбины ТХУ. Работает в комфортном диапазоне температур для дюралюминия. Основная эксплуатационная особенность – происходящее испарение капель воды изменяет теплофизические параметры воздуха по тракту теплообменника.



Рис. 1. Узел охлаждения воздуха («петля»)

Теплообменник-конденсатор. Основная цель теплообменника – произвести конденсацию паров воды на высоком давлении воздуха. Охлаждение осуществляется холодным воздухом с отрицательной температурой, получаемым на турбине ТХУ. В итоге на входе в горячем тракте имеется воздух с температурой порядка 30 °С с капельной влагой. На входе в холодный тракт воздух с температурой порядка -30 °С со взвешенным переохлажденным водным аэрозолем, образуемым турбиной ТХУ. Вторая цель теплообменника – получить температуру на выходе узла охлаждения -8 °С, необходимую для работы системы рециркуляции кабинового воздуха. Основная эксплуатационная особенность – обмерза-

ние теплопередающей поверхности в холодном тракте и ее обледенение в горячем. Кроме того, происходящий в обоих трактах теплообмен изменяет теплофизические параметры воздуха в них, что существенным образом влияет на локальный процесс теплопередачи в теплообменнике.

Влагоотделитель. Основная цель – отделение сконденсировавшейся капельной влаги из воздуха за счет центробежно-инерционных сил. В последующем вода используется для впрыска в продувочный тракт основного теплообменника.

В работе выполнен анализ специфики работы, а также трехмерное САД моделирование параметров теплообменных аппаратов, входящих в узел охлаждения типа «петля» авиационных СКВ.

Опыт, полученный при разработке СКВ с отделением влаги на высоком давлении на самолете Ту-204, в настоящий момент успешно внедряется ПАО ПКО «Теплообменник» при разработке современных отечественных гражданских самолетов Superjet 100 и МС-21. Отличительная черта схем состоит только в комплектующих агрегатах СКВ. Для самолета Ту-204 используются исключительно отечественные разработки, в то время как для Superjet 100 и МС-21 – импортные (французские и американские соответственно). Ту-204 прошел сертификацию на международных линиях только как транспортный самолет. Сертификация Superjet 100 и МС-21 для международных линий на сегодняшний день возможна только на импортных компонентах. В связи с этим в настоящее время актуальной задачей является разработка и усовершенствование отечественных методик расчета и проектирования для получения новых технических решений, позволяющих решать перспективную задачу планового импортозамещения иностранного оборудования в авиационных СКВ российских самолетов.

Литература:

1. Системы жизнеобеспечения и оборудование летательных аппаратов: учебное пособие / А.В. Чичиндаев, Ю.В. Дьяченко, В.А. Спарин, И.В. Хромова; под ред. А.В. Чичиндаева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 319 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

2. Дьяченко Ю.В. Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе: учебное пособие / Ю.В. Дьяченко, А.В. Чичиндаев. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с.

3. Чичиндаев А.В. Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников. Теоретические основы : учебное пособие / А.В. Чичиндаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 436 с. - (Серия «Учебники НГТУ»).

4. Руководство по технической эксплуатации самолета Ту-204.

5. Aircraft Maintenance Manual Airbus A320 (a/c VLG) – Chapter 21 (Air conditioning).

6. Boeing 757 aircraft maintenance manual – Chapter 21 (Air conditioning).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ФРОНТА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ОХЛАЖДАЕМОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТЕНКЕ

А.В. Михайлов, В.С. Бердников, В.А. Гришков
Новосибирский государственный технический университет,
Институт Теплофизики СО РАН
г. Новосибирск, senya_mik@ngs.ru

На физической модели метода горизонтальной направленной кристаллизации проведена серия экспериментов с кристаллизацией гептадекана на охлаждаемой вертикальной стенке. Тепловизионным и контактными методами измерены поля температуры на свободной поверхности жидкости. Цифровая видеосъемка позволила изучить зависимость формы фронта кристаллизации от времени.

On a physical model of the horizontal directed crystallization method, a series of experiments was carried out with crystallization of heptadecane on a cooled vertical wall. Using thermal and contact methods, temperature fields were measured on the free surface of the liquid. Digital video recording made it possible to study the dependence of the shape of the crystallization front on time.

Среди многих методов получения монокристаллов, метод горизонтальной направленной кристаллизации (ГНК) является одним из основных [1, 2]. Однако, во всех них плохо изучены процессы сопряженного конвективного теплообмена, которые влияют на форму фронта кристаллизации, скорость кристаллизации и поля температуры в кристалле. Все эти параметры влияют на качество кристалла. Изучение гидродинамики и конвективного теплообмена на реальных расплавах полупроводников и оксидных материалов практически невозможно (ввиду недоступности теплового узла, т.к. используются многослойные экраны для уменьшения тепловых потерь). Поэтому основными методами изучения этих процессов являются численное и физическое моделирование. Физическое моделирование позволяет изучить процесс не только качественно, но и количественно, особенно при соблюдении геометрического подобия и при совпадении динамических безразмерных параметров процессов (таких, как числа Прандтля, Рэлея, Марангони). В данной работе исследуется процесс продвижения фронта кристаллизации легкоплавкого вещества (в качестве жидкости-имитатора расплава) в горизонтальной кювете

те с использованием тепловизионной и цифровой видеосъемки, а также при помощи измерений полей температуры микротермопарами.

Исследование проведено на экспериментальной установке, схема рабочего участка которой изображена на рис. 1. Стенки на торцах кюветы поддерживаются при постоянных температурах за счет прокачки термостатированной воды в полости теплообменников 1, 2.

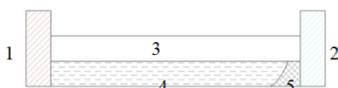


Рис. 1 – схема установки: 1 - «горячая» вертикальная стенка, 2 - «холодная» стенка, 3 - прозрачная кювета, 4 - гептадекан, 5 - кристалл.

На «холодной» стенке поддерживалась температура ниже температуры кристаллизации гептадекана ($t_{\text{хол}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$), на «горячей» - выше ($t_{\text{гор}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$). После включения термостатов создается продольный градиент температуры, при достижении температуры кристаллизации ($t_{\text{пл}} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$) формируется фронт кристаллизации.

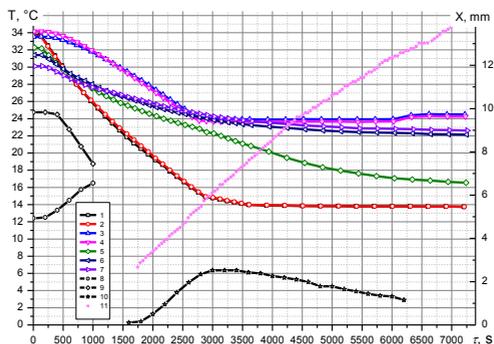


Рис. 2 – сводный график: 1, 2 - температуры на холодной стенке; 3, 4 - температуры на горячей стенке; 5, 6, 7, - температуры на поверхности жидкости на расстоянии 30 мм, 16 мм, 3 мм от холодной стенки; 8, 9, 10 - координаты границы между вихрями, 11 - толщина кристалла

Температура на свободной поверхности измеряется тепловизором FLIR x6530sc, температура на стенках и в отдельных точках на свободной поверхности измеряются термопарами. Процесс продвижения фронта кристаллизации снят видеокамерой в центральном сечении, че-

рез прозрачные стенки кюветы. Обработка видеофильмов позволила получить зависимость скорости кристаллизации и эволюцию формы фронта кристаллизации во времени.

На рис. 2. показан сводный график зависимости температуры, координаты границ между вихрями и координаты фронта кристаллизации от времени. На рис. 3 изображены поля изотерм в двух масштабах, построенные в результате обработки тепловизионных фильмов. Значения температуры на изотермах указаны на рисунке в градусах Цельсия. Фронт кристаллизации выделен жирной черной линией. Видно, что фронт кристаллизации продвинулся на 10 мм за 3300 секунд при перепаде температур 19 °С. На рис. 4 показаны формы фронта кристаллизации в различные моменты времени. Здесь видно влияние натекающего нагретого расплава на верхнюю часть фронта.

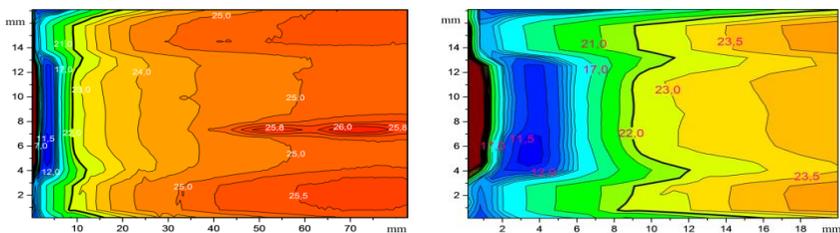


Рис. 3 – поля изотерм на свободной поверхности жидкости и боковых стенках кюветы (на расстояниях 80 и 20 мм от холодной стенки)

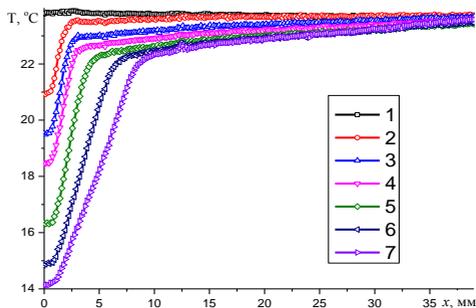


Рис. 4 – значение температуры вдоль поверхности по центру кюветы, усреднённое в полосе 2 мм. 1: $\tau = -3,8$ мин.; 2 – $\tau = 0$ мин.; 3: $\tau = 4,4$ мин.; 4: $\tau = 9,6$ мин.; 5: $\tau = 23,9$ мин.; 6: $\tau = 51,4$ мин.; 7: $\tau = 98,4$ мин.

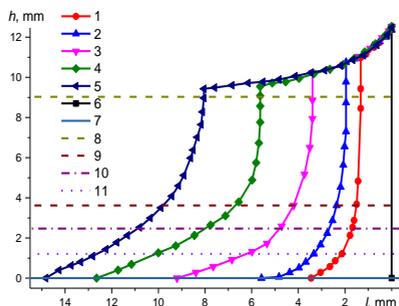


Рис. 5 – форма кристалла в разные моменты времени: 1: $\tau = 8.2$ мин; 2: $\tau = 13.4$ мин; 3: $\tau = 27.7$ мин; 4: $\tau = 55.2$ мин; 5: $\tau = 102.2$ мин; б: холодная стенка; 7: дно кюветы; 8: уровень жидкости.

Также на форму фронта влияют такие факторы, как мениск на смачиваемой холодной стенке и теплопроводность дна кюветы.

Таким образом, экспериментально исследованы нестационарные поля температуры на свободной поверхности расплава гептадекана. При помощи тепловизора, изучена временная зависимость полей температуры, построены поля изотерм на свободной поверхности расплава. Микротермопарами получены зависимости температуры от времени в разных точках на свободной поверхности расплава и на стенках кюветы. Результаты физического моделирования используются для сравнения с результатами численного моделирования кристаллизации гептадекана с такими же граничными условиями [3, 4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 18-38-00790 мол_а).

Литература:

1. Мюллер Г. Выращивание кристалла из расплава. – М.: Мир, 1991. – 143 с.
2. Багдасаров Х.С., Горяинов Л.А. Тепло- и массоперенос при выращивании монокристаллов направленной кристаллизацией. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 224 с.
3. Бердников В.С., Кислицын С.А., Митин К.А. Численное моделирование процессов роста кристаллов методом горизонтальной направленной кристаллизации из расплавов с различными числами Прандтля // Известия РАН. Серия Физическая. — 2017. Т. 81, №10. –С. 1389-1394.

4. A.V. Mikhaylov, V.A. Grishkov, K.Y. Ermolayev, V.S. Berdnikov Experimental research of the process of crystallization front propagation from a cooled vertical side in a horizontal fluid layer // EPJ Web of Conferences 196, 00035 (2019), <https://doi.org/10.1051/epjconf/201919600035>.

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ

М.В. Лозовский, А.А. Гоппе, М.В. Горбачев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, lozovskij.2017@stud.nstu.ru

В настоящей работе представлена постановка задачи разработки лабораторного стенда с использованием аддитивных технологий. Данный стенд предназначен для исследования теплообмена в условиях свободной конвекции на пластине и цилиндре.

In this paper, the problem of developing a laboratory stand to research of free convection on the plate and cylinder is presented. The stand is designed using additive technologies.

На сегодняшний день актуальной задачей в области технической теплофизики является разработка современных стендов для исследования свободной конвекции ввиду ее сложной визуализации. Стенды предыдущего поколения имеют ряд существенных недостатков, таких как большие габариты и устаревшее измерительное оборудование. Так же они требуют постоянного технического обслуживания, в том числе регулярного обновления расходных материалов. Кроме того, замена таких стендов связана с высокими временными и финансовыми затратами. Современные аддитивные технологии позволяют создавать компактные лабораторные стенды в более короткие сроки и при меньших финансовых затратах.

Целью настоящей работы является разработка лабораторного стенда для исследования теплообмена в условиях свободной конвекции. В качестве прототипа для создания нового стенда взят стенд кафедры Технической теплофизики НГТУ. Стенд данного типа позволяет исследовать зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры поверхности горизонтального цилиндра. В рамках настоящего проекта предлагается создать узлы и детали стенда при помощи 3-D печати. Кроме того, проводится усовершенствование установки путем добавления еще одной исследуемой поверхности – плоской пластины с регулируемым углом наклона. Это позволит более глубоко изучить процессы теплообмена на различных формах поверхностей нагреваемого тела.

Разработка и проектирование данного лабораторного стенда проводится в рамках факультативной дисциплины «Проектная деятельность». Результаты работы будут использоваться в учебном процессе кафедры при проведении лабораторных работ по дисциплинам «Термодинамика и теплопередача», «Теплофизика» и «Тепломассообмен» [1–3].

Литература

1. Горбачев М.В., Макаров М.С. Исследование процессов конвективного теплообмена: метод. указания к лаб. работам // Изд-во НГТУ, Новосибирск.- 2017. - 36 с.
2. Горбачев М.В. Тепломассообмен: учеб. пособие // Изд-во НГТУ, Новосибирск.- 2015. - 443 с.
3. Вычислительная математика: численные методы решения задач тепломассообмена : учеб.-метод. пособие / М. В. Горбачев, М. С. Макаров. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. - 64 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННИКА-КОНДЕНСАТОРА

М.Р. Нягулов¹, В.А. Коротаяева², В.А. Тоеский²
¹ПАО НПО «Наука»

г. Москва, mikhailnyagulov@yahoo.com

**²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, xromova@corp.nstu.ru**

В работе описаны устройство, особенности работы и проблема обмерзания теплообменника-конденсатора в авиационных системах кондиционирования воздуха. Целью настоящей работы является разработка усовершенствованных методов расчета и проведение исследований для дальнейшей оптимизации конструктивных и теплофизических параметров.

In current work described aircraft air conditioning system's condenser heat exchanger's structure, its distinctive features of work and problem of frosting. The aim of this work is development of improved calculation methods and research practice for structural and thermophysical parameters optimizing.

Настоящая работа направлена на выполнение комплекса исследований, анализ эффективности работы теплообменных аппаратов авиационных СКВ и разработку методов защиты теплопередающей поверхности от обмерзания. В основу работы легли разработанные методы моделирования процессов локальной теплопередачи в компактных теплообменниках с двухфазными теплоносителями (конденсатор).

Теплообменник-конденсатором называется теплообменник в СКВ типа «петля», устанавливаемый на выходе турбины турбохолодильника. Используется в системе кондиционирования самолета Ту-204 при охлаждении сжатого воздуха (с целью конденсации и последующего удаления из него воды) за счет холодного воздуха с отрицательной температурой, выходящего из турбины. Схема установки и работы конденсатора показана на рис. 1.

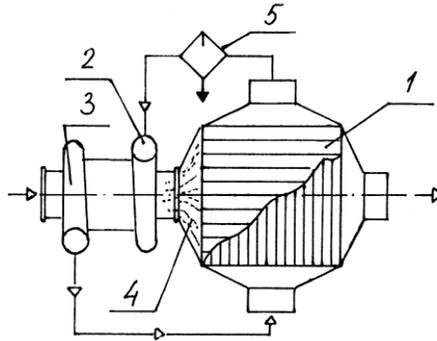


Рис. 1. Аэрозольный воздушно-испарительный теплообменник:
 1 – компактный теплообменник, 2 – турбина турбохолодильника,
 3 – компрессор турбохолодильника, 4 – аэрозольный туман,
 5 – влагоотделитель

Особенности работы. После дополнительного сжатия воздуха в компрессоре 3 и охлаждения в ВВТ сжатый воздух подается в горячий тракт конденсатора 1. В результате отвода от него тепла при переходе точки «росы» происходит капельная конденсация влаги на стенках каналов. Образующиеся капли выносятся из конденсатора и частично улавливаются влагоотделителем 5. Далее сжатый воздух поступает на турбину 2 турбохолодильника для его охлаждения за счет газодинамического расширения. В проточной части турбины происходят процессы гомогенной конденсации паров воды, а также дробления лопатками турбины капельной влаги, не уловленной влагоотделителем 5. В итоге на выходе турбины образуется аэрозольный туман с диаметрами капель 0,1 ... 15 мкм. При попадании этого тумана в холодный тракт конденсатора 1 происходит практически адиабатное испарение аэрозоля по мере увеличения температуры воздуха. Наличие водного аэрозоля резко увеличивает охлаждающую способность холодного воздуха.

Обмерзание конденсатора. Основная эксплуатационная проблема конденсатора состоит в том, что охлаждающий теплоноситель должен иметь на рабочем режиме отрицательную температуру. В этом случае картина тепломассообмена резко усложняется: во-первых, в воздухе за турбиной наряду с переохлажденным аэрозолем появляются взвешенные частицы снега и льда; во-вторых, начинают происходить нестационарные процессы обледенения-плавления льда на входных кромках теплообменной секции; в-третьих, в горячем тракте возникают условия для замерзания сконденсировавшейся влаги. Недостатки, связанные с обмерзанием, существенно усложняются при отсутствии влагоотделителя 5: в итоге турбина превращается в «генератор» снежной шуги, забивающей выхлопной патрубок турбины и вход теплообменника. При этом происходит перекрытие живого сечения конденсатора и уменьшение расхода воздуха через турбину. Таким образом, при проектировании конденсатора необходимо предусмотреть противообледенительные меры, препятствующие обледенению в горячем тракте и намерзанию снега на передние кромки теплообменной секции в холодном тракте.

Целью настоящей работы является усовершенствование разработанного на кафедре ТТФ пакета прикладных программ для расчета тепломассообменных процессов в компактном пластинчато-ребристом теплообменнике (КПРТ) и проведение исследований с целью дальнейшей оптимизации режимных и конструктивных параметров.

В основе предлагаемого подхода лежит идея получения заданной температуры поверхности за счет изменения термических сопротивлений в процессе теплопередачи. С этой целью разработан метод моделирования и анализ эффективности применения переменных термических сопротивлений при изменении геометрии ребрений теплопередающих поверхностей КПРТ по длине горячего и холодного теплоносителей в широком диапазоне изменения режимных и конструктивных параметров. Это позволяет дополнительно изменить распределение температур поверхностей: увеличить температуру самой холодной части поверхности в конденсаторе выше 0 °С. При этом гидравлические сопротивления остаются практически неизменными. В отдельных случаях наиболее сложных режимов предлагается применять и изменение режимов течения теплоносителя, с учетом целесообразности увеличения гидравлических сопротивлений. Предлагаемый подход позволит убрать зоны обмерзания по всей поверхности в конденсаторе.

Результаты будут полезны при разработке авиационных компактных теплообменных аппаратов, конструировании авиационных и наземных систем кондиционирования воздуха, систем жизнеобеспечения, систем охлаждения двигателей, холодильной техники, в области теплофизики и

теоретической теплотехники при проектировании современного теплообменного оборудования, а так же для учебного процесса вузов авиационной направленности.

Литература:

1. Чичиндаев А.В. Тепломассообмен влажного воздуха в компактных пластинчато-ребристых теплообменниках : монография / А.В. Чичиндаев. – Новосибирск : изд-во НГТУ, 2012. – 298 с. (Серия «Монографии НГТУ»).

2. Чичиндаев А.В. Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников. Теоретические основы : учебное пособие / А.В. Чичиндаев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 436 с. - (Серия «Учебники НГТУ»).

3. Чичиндаев А.В. Влияние переменного отношения термических сопротивлений на распределение температур в компактном пластинчато-ребристом теплообменнике / А.В. Чичиндаев, И.Г. Диомидов // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 4. – С. 197–201.

4. Системы жизнеобеспечения и оборудование летательных аппаратов: учебное пособие / А.В. Чичиндаев, Ю.В. Дьяченко, В.А. Спарин, И.В. Хромова; под ред. А.В. Чичиндаева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 319 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

5. Дьяченко Ю.В. Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе: учеб пособие / Ю.В. Дьяченко, А.В. Чичиндаев. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с.

6. Диомидов И.Г. Исследование влияния переменного отношения термических сопротивлений на распределение температуры в компактном пластинчато-ребристом теплообменнике: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 22 с.

7. Chichindaev A. V. Modeling of the heat transfer in a compact heat exchanger-condenser with variable finning / A. V. Chichindaev, I. V. D'Iachenko, D. E. Sidenko // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2018) = Actual problems of electronic instrument engineering (АРЕИЕ–2018) : тр. 14 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 2–6 окт. 2018 г. : в 8 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1, ч. 4. – С. 41-44. – 45 экз. - ISBN (NSTU) 978-5-7782-3614-1.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРВИЧНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

М.Р. Нягулов¹, А.Д. Шакин^{2,3}, Д.С. Краснощекова²

¹ПАО НПО «Наука»,

г. Москва, mikhailnyagulov@yahoo.com

²Новосибирский государственный технический университет,

³ООО «Сибирь Техник»,

г. Новосибирск, shakin-1996@mail.ru

В работе описаны устройство, особенности работы и разрушения первичного теплообменника в авиационных системах кондиционирования воздуха. Целью настоящей работы является разработка усовершенствованных методов расчета и проведение исследований для дальнейшей оптимизации конструктивных и теплофизических параметров.

In current work described aircraft air conditioning system's upstream heat exchanger's structure, its distinctive features of work and breakdown. The aim of this work is development of improved calculation methods and research practice for structural and thermophysical parameters optimizing.

Первичный теплообменник (ПТО) является первым теплообменником узла охлаждения. Его основная цель – уменьшить входную температуру 200 °С примерно до 100 °С, пригодных для работы компрессора турбохолодильной установки. Изготавливается из недорогих алюминиевых сплавов (дюралюминий), но работает на больших перепадах температур, что приводит к возникновению термических напряжений. Ввиду меньших прочностных свойств, чем у жаропрочных сталей, а также за счёт явления малоциклового усталостной прочности, происходит частичное разрушение орребрений и нарушение герметичности (рис. 1). Это приводит к необходимости периодического ремонта или замены теплообменника.



Рис. 1. Схема разрушения конструкции первичного теплообменника

Особенности работы. Однако данные условия не ограничивают спектр «неприятностей» ПТО, так как основная причина непродолжительного ресурса теплообменника состоит не в величине исходной температуры, а в нестационарном её изменении. Под нестационарным при этом подразумеваются: во-первых, периодическое «включение» ПТО при каждом взлёте самолёта (низкочастотная – малоцикловая составляющая); во-вторых, колебания температур на рабочем режиме, вызванные как изменением входных параметров компрессора-атмосферы, так и элементами автоматики (высокочастотная составляющая).

Примеры разрушения конструкции. Основным фактором, влияющим на величину термического напряжения, место возникновения усталостной деформации и скорость её развития, служит распределение температуры в конструкции первичного теплообменника. В случае ПТО распределение температур определяется локальными особенностями процесса теплопередачи в перекрёстно-точном компактном теплообменнике. Расположение наиболее часто встречающихся мест усталостного разрушения ПТО:

- 1) трещины в теплообменной пластине, возникающие по линии максимального градиента температуры;
- 2) вертикальные трещины, возникающие на стыке теплообменной секции и присоединительных фланцев, как за счёт «разбухания» и расслоения оребрённых пакетов, так и за счёт «отслоения» присоединительного фланца.

Основной дефект – образование трещин, которые приводят к утрате герметичности теплообменника. В «лучшем» случае это приводит к «сравливаю» горячего теплоносителя в продувочный воздух и атмо-

сферу, в «худшем» – горячий теплоноситель поступает в технический отсек с непредсказуемыми последствиями.

Для расчета предварительного и первичного теплообменников в аналогичной модели на основании получаемого распределения температур теплопередающей поверхности производится расчет термических напряжений. При этом расчет выполняется для сухого воздуха.

Настоящая работа направлена на усовершенствование методов моделирования и защиты теплопередающей поверхности от термических напряжений путем получения заданной температуры поверхности за счет изменения термических сопротивлений в процессе теплопередачи. С этой целью разрабатываются усовершенствованные методики расчета тепловых процессов в ПТО. Проводиться анализ эффективности применения переменных термических сопротивлений, получаемых за счет изменения геометрии ребристой теплопередающей поверхности теплообменника по длине горячего и холодного теплоносителей. При этом ребрение подбирается так, чтобы термическое сопротивление с холодной стороны было меньше, чем с горячей. Кроме того, значения термических сопротивлений по длине подбираются таким способом, чтобы резко сократить перепад температур и максимально снизить температуру в горячей части теплопередающей поверхности. Основная сложность – расчет термических напряжений теплопередающей поверхности и учет переменности теплофизических свойств воздуха при больших перепадах температур.

Предлагаемый подход позволит дополнительно уменьшить термические напряжения в предварительном теплообменнике (до 5 - 8 раз) при минимальных энергетических и экономических затратах. Результаты будут полезны при разработке авиационных компактных теплообменных аппаратов, конструировании авиационных и наземных систем кондиционирования воздуха, систем жизнеобеспечения, систем охлаждения двигателей, холодильной техники, в области теплофизики и теоретической теплотехники при проектировании современного теплообменного оборудования, а так же для учебного процесса вузов авиационной направленности.

Литература:

1. Чичиндаев А.В. Тепломассообмен влажного воздуха в компактных пластинчато-ребристых теплообменниках : монография / А.В. Чичиндаев. – Новосибирск : изд-во НГТУ, 2012. - 298 с. (Серия «Монографии НГТУ»).
2. Чичиндаев А.В. Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников. Теоретические основы : учебное пособие / А.В. Чи-

чиндаев . – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 436 с. - (Серия «Учебники НГТУ»).

3. Чичиндаев А.В. Влияние переменного отношения термических сопротивлений на распределение температур в компактном пластинчато-ребристом теплообменнике / А.В. Чичиндаев, И.Г. Диомидов // Научный вестник НГТУ. – 2010. – № 4. – С. 197–201.

4. Системы жизнеобеспечения и оборудование летательных аппаратов: учебное пособие / А.В. Чичиндаев, Ю.В. Дьяченко, В.А. Спарин, И.В. Хромова; под ред. А.В. Чичиндаева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 319 с. (Серия «Учебники НГТУ»).

5. Дьяченко Ю.В. Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе: учеб пособие / Ю.В. Дьяченко, А.В. Чичиндаев. – 2-е изд. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 87 с.

6. Диомидов И.Г. Исследование влияния переменного отношения термических сопротивлений на распределение температуры в компактном пластинчато-ребристом теплообменнике: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 22 с.

7. Chichindaev A. V. Simulation of heat transfer in primary heat exchanger of ACS with variable finings / A. V. Chichindaev, Y. V. Dyachenko // Advances in Engineering Research. - 2018. - Vol. 158 : Proceedings of the international conference - DOI: 10.2991/avent-18.2018.15.

НОВЫЙ БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Т.С. Новикова¹, В.А. Манытов²

¹Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, tatiananov@mail.ru

²Улан-Удэнский Авиационный завод

г. Улан-Удэ

В настоящей работе описан инновационный проект, который заключался в проектирование нового продукта, с учетом всех стадий жизненного цикла. Новым продуктом получился беспилотный летательный аппарат (БПЛА) на базе вертолета Ка-62. Данный проект имеет большие перспективы в области гражданской авиации, соответствует высоким требованиям и удовлетворяет поставленным задачам. Новый БПЛА способен составить конкуренцию не только другим беспилотным аппаратам, но и широко используемым пилотируемым системам. Разработка на базе Ка-62 открывает возможности использования, как самого современного оборудования, так и хорошо зарекомендовавших себя систем.

This work describes an innovative project, which was to design a new product, taking into account all stages of the life cycle. The new product was an unmanned aerial vehicle (UAV) based on the Ka-62 helicopter. This project has great prospects in the field of civil aviation, meets high requirements and meets the objectives. The new UAV is able to compete not only with other unmanned aerial vehicles, but also with widely used manned systems. Development based on the Ka-62 opens up the possibility of using both the most modern equipment and well-proven systems.

Актуальной задачей в области авиационной техники является разработка новых видов беспилотных летательных аппаратов. Преимущество БПЛА это низкая стоимость использования по сравнению с использованием пилотируемой авиации или спутников, низкие издержки на содержание штата, возможность решения широкого спектра задач, возможность применения в сложных погодных условиях и в условиях риска аварии аппарата. К примеру, если нужно эвакуировать людей из зоны ЧС, будет намного безопаснее и правильно отправить БПЛА, в отличие от пилотируемого летательного аппарата.

Цель настоящей работы - разработать инновационный проект, по проектированию нового изделия учитывая все стадии жизненного цикла. Данный летательный аппарат будет использоваться как новый вид общественного транспорта, который позволит пассажирам передвигаться по городу с гораздо большей скоростью, чем на собственном автомобиле, автобусе или метро. Вид изделия: беспилотный летательный аппарат для перевозки пассажиров в условиях города, а так же если потребуется для эвакуации из зоны ЧС.

В рамках настоящего проекта была разработана дизайн-модель БПЛА «Буря - 10» (рис. 1) с характеристиками:

- дальность полета не менее 150 км на одной дозаправке/заряде
- грузоподъемность не менее 2200 кг
- пассажироместимость не менее 20 человек
- крейсерская скорость не менее 250 км/ч.

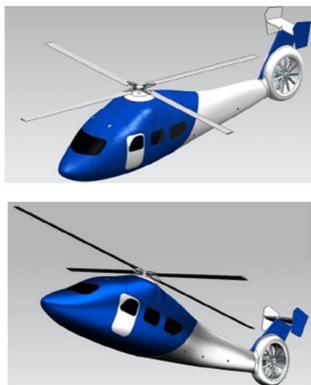


Рис. 1. Проект «Буря - 10»

Система безопасности в данном летательном аппарате обеспечивает сохранение жизни пассажиров на всем диапазоне высот полета летательного аппарата над любой поверхностью (вода, лес, горная местность, город и тд). Система спасения разработана при полном отказе всех бортовых систем летательного аппарата. спроектировано с использованием современных материалов, производство осуществляется на широте Улан-Удэ.

В работе выполнен следующий комплекс работ. Произведен анализ данного проекта и поставлены технико-экономические и тактико-технические требования. Далее произвели анализ рынка, выявили конкурентные преимущества, ориентировочную стоимость единицы изделия и объем выручки от реализации. В программе NX 11 разработан дизайн проекта и 3D модель «Цилиндра амортизатора». Подготовлены технологии и организация производства. Рассмотрен подбор персонала и обучение имеющегося, так как данный проект рассматривается на уже существующем предприятии, У-УАЗ. Составлена дорожная карта реализации проекта со сроками и контрольными картами, а так же схема и условия программы послепродажного обслуживания.

В настоящая дизайн-модель может быть интересна/полезна разработчикам новых БПЛА на авиационных предприятиях для использования в городской среде.

Литература

1. Авиационная энциклопедия уголок неба/ Электронно-методический комплекс, 2014. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru>

2. Системы жизнеобеспечения и оборудование летательных аппаратов : учеб. пособие / А. В. Чичиндаев, Ю. В. Дьяченко, В. А. Спарин, И. В. Хромова. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. - 319 с - (Учебники НГТУ). - 3000 экз. - ISBN 978-5-7782-3904-3.

3. Дьяченко Ю. В. Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе : [учеб. пособие для вузов по направлению 551000 «Авиа- и ракетостроение» и специальности 131100 «Системы жизнеобеспечения и оборудования ЛА»] / Ю. В. Дьяченко, А. В. Чичиндаев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. - 87 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ И ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИСТЕННОЙ СТРУИ СО ВСТРЕЧНЫМ ПОТОКОМ

А.И. Очередыко^{1,2}, М.А. Пахомов^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, artemocheredkoartem@ngs.ru

Выполнено численное исследование процесса структуры течения и теплообмена при смешении встречных потоков при вариации параметра вдува. Показана существенный рост турбулентности и значительная интенсификация теплообмена при использовании встречных потоков.

A numerical study of the flow structure and heat transfer by mixing of counter-wall jet with a variation of the blowing ratios is carried out. A significant increase in turbulence level and an substantial intensification of heat transfer using counter-wall jet are shown.

Встречные пристенные струйные течения распространены в природе и часто встречаются в различных технологических процессах. Такие потоки используются для интенсификации теплообмена в элементах энергетического оборудования, защиты поверхностей, деталей от химически или термически агрессивных потоков, в турбореактивных двигателях, при стабилизации пламени в горелках, для интенсификации процесса массообмена при смешении различных жидких сред и т.д. [1]. На практике чаще всего используются турбулентные течения. Общая схема организации течения встречных струй показана на рисунке 1.

Цель данной работы – численное исследование структуры течения и теплообмена при подаче пристенного вторичного потока навстречу основному потоку через плоскую щель.

Математическая модель. Для численного моделирования использовался пакет программ OpenFOAM. Для описания динамики течения и теплопереноса в однофазном воздушном потоке используется система двумерных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (Reynolds averaged Navier-Stokes – RANS) уравнений. Были проведены сравнения стандартной $k-\varepsilon$ и $k-\omega$ SST моделей турбулентности и было показано, что, в целом, $k-\varepsilon$ модель дает лучшие результаты при сопоставлениях с данными измерений [2] по структуре течения и теплообмену, чем $k-\omega$ SST модель. Поэтому во всех нижеприведенных расчетах применялась $k-\varepsilon$ модель турбулентности.

Численное решение было получено с использованием метода контрольных объемов на разнесенных сетках. Для конвективных слагаемых дифференциальных уравнений применялся алгоритм QUICK. Для диффузионных потоков были использованы центральные разности. Коррекция поля давления осуществлялось по конечно-объемному согласованному алгоритму SIMPLE. Всего сетка содержит 51000 контрольных объемов.

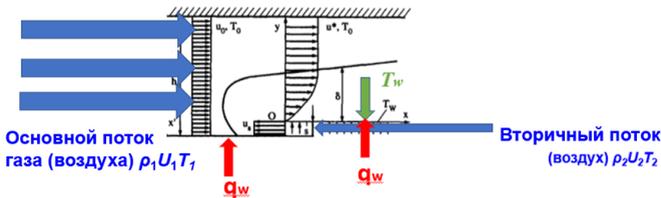


Рис. 1 - Общая схема организации течения встречных струй

Результаты численных расчетов и их анализ. Общая схема организации течения встречных струй, изображенная на Рисунке 1, представляет собой плоский канал длиной $X = 1,2$ м и высотой $h = 145$ мм. Воздух в основном потоке считается сухим. Численное моделирование производилось для диапазона параметров вдува $m = 1-5$. Стоит отметить, что варьирование параметра вдува осуществлялось лишь за счет изменения скорости вторичного потока, которая изменялась в диапазоне $U_2 = 12-60$ м/с. Основной поток подавался со скоростью $U_1 = 12$ м/с. Температуры потоков были постоянны и одинаковы между собой $T_1 = T_2 = 293$ К. Плотность теплового потока, подводимого к стенкам канала, составляла $q_w = \text{const} = 2400$ Вт/м². Высота плоского канала $H = 145$ мм, высота щели $S = 8$ мм. Число Рейнольдса, построенное по высоте канала канала и параметрам основного потока (1).

$$Re = U_1 2H / \nu_1 = 2,32 \times 10^5 \quad (1)$$

Результаты численных расчетов в виде распределения поля продольной компоненты скорости газа (а) и турбулентной кинетической энергии (ТКЭ) (б) показаны на рисунке 2. Как видно профиль скорости основного потока по поперечному сечению канала имеет равномерный вид. По мере приближения к области встречного вдува наблюдается локальное торможение основного потока за счет действия встречной пристенной струи. Скорость вторичного пристенного течения по мере продвижения и смешения с основным потоком уменьшается, происходит ее разворот, и она начинает двигаться вместе с основным потоком [2] (рис. 2а). Происходит локальное увеличение продольной компоненты скорости потока за счет обтекания большой застойной области, расположенной над рабочей стенкой канала. Из анализа данных, приведенных на Рисунке 2б видно наличие области повышенного уровня турбулентности, расположенной над рабочей стенкой канала. Ее наличие можно объяснить турбулизацией течения при смешении пристенной струи с основным потоком.

Распределения коэффициента теплообмена по длине канала показано на рисунке 3. На рисунке 3 линия 2 это расчет для полностью гидродинамически стабилизированного турбулентного потока по формуле Михеева, приведенной в монографии [3]: $Nu = 0,018 \cdot Re_H^{0,8} = 353$. Показано, что достигается значительная интенсификация теплообмена за областью встречного вдува по отношению к турбулентному течению воздуха в канале при прочих равных условиях. Интенсификация теплообмена превышает 14 раз.

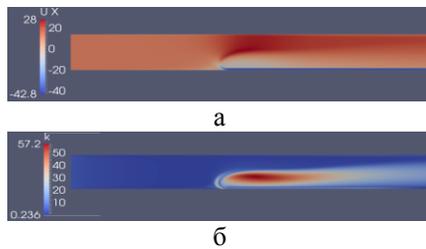


Рис. 2 – Поле продольной скорости (а) и ТКЭ (б) по длине поверхности. $U_1 = 12$ м/с, $U_2 = 36$ м/с, $m=3$, $Re = 2,32 \cdot 10^5$

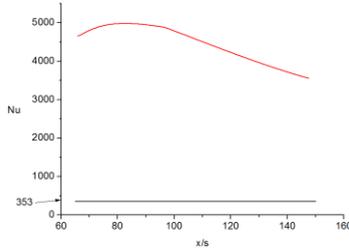


Рис. 3 – Распределение числа Нуссельта по продольной координате при $m = 3$. 1 – расчет настоящей работы, 2 – расчет по формуле [3].

Выполнено численное моделирование процесса смешения и теплообмена в плоском канале при подаче вторичной пристенной встречной струи. Произведена адаптация численного кода для описания процесса вдува пристенной встречной струи в пакете программ OpenFOAM, также разработана расчетная сетка для рассмотренной геометрии. Показано наличие значительной застойной области, расположенной над рабочей стенкой канала. Длина проникновения значительно зависит от параметра вдува m . Показана значительная интенсификация теплообмена на стенке канала при использовании встречной пристенной струи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 18-08-00386 А).

Литература:

1. Волчков Э.П. Пристенные газовые завесы. Новосибирск: Издательство «Наука», 1983. – С. 22-23.
2. Volchkov E.P., Lebedev V.P., Nizovtsev M.I., Terekhov V.I. Heat transfer in a channel with a counter-current wall jet injection // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1995. – Vol. 38, № 14. – P. 2677–2687.
3. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое. М.: «Энергоатомиздат», 1985.

АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ РУЛЕВЫХ ПРИВОДОВ САМОЛЁТОВ

Д.Е. Сиденко^{1,2}, В.И. Сабельников²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Сибирский научно-исследовательский институт авиации

им. С.А. Чаплыгина,

г. Новосибирск, silen-den@mail.ru

В работе приведены этапы развития приводов систем управления полетом. Рассмотрены современные используемые приводы и приводы, проходящие испытания. Обозначены перспективные направления развития рулевых приводов.

An aircraft flight control system consists of flight control surfaces, the respective cockpit controls, connecting linkages, and the necessary operating mechanisms to control an aircraft's direction in flight.

The paper presents the stages of aircraft flight control system drives development. The modern used drives and drives undergoing tests are considered. Perspective directions of the development of steering drives are indicated.

Развитие приводов современных пассажирских, транспортных и военных самолётов можно условно разделить на четыре этапа:

- первый – совершенствование электрогидравлических приводов;
- второй – электрогидростатические приводы;
- третий – привод с комбинированным объемно-дрессельным регулированием;
- четвертый – электромеханические приводы.

Электрогидравлические приводы. Системы управления полетом являются одними из основных систем самолетов, которые непрерывно совершенствуются. Впервые в 1955 году на коммерческом самолете «Caravelle» применены гидравлические приводы в системе управления полетом, затем в 1969 году на самолете «Conkorde» в систему управления внедрены электрогидравлические приводы. С 1997 года на самолете «Airbus A-320» управление полетом осуществляется цифровой системой управления.

На рисунке 1 приведена структурная схема электрогидравлического привода системы управления рулевыми поверхностями отечественного самолета Ту-204.

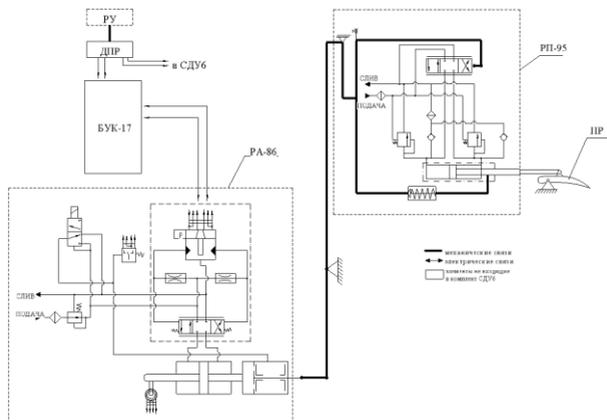


Рис. 1– Структура системы управления рулевыми поверхностями
 РУ– рычаг управления; ДПР– датчик перемещения рычага;
 БУК17– блок управления и контроля; РА86– рулевой агрегат;
 РП– рулевой привод; ПР– поверхность рулевая

Желание авиаконструкторов реализовать плодотворную идею подключения рулевого привода непосредственно к электрической энергосистеме самолета и использовать достижения электротехнической промышленности, сохранив при этом достигнутый в течении десятилетий высокий подтвержденный уровень безотказности исполнительных механизмов приводов, обусловило появление нового типа рулевых приводов– электрогидростатических. Возможная принципиальная схема ЭГСП приведена на рисунке 2.

Электрогидростатический привод осуществляет преобразование электрической энергии в механическое перемещение выходного звена с помощью электропривода и гидростатической передачи, выполненной на основе гидроцилиндра и нерегулируемого реверсивного насоса, скорость вращения которого регулируется электроприводом. В целом этот привод является компромиссным решением, позволяющим снизить технический риск перехода на чисто электрические приводы.

В качестве примеров работ по переводу систем самолета на электрическую энергию, можно рассмотреть самолет А-380, а именно замену одной централизованной гидросистемы на электросистему, питающую резервные приводы интерцептора. Такое решение позволило уменьшить массу самолета на 450 кг.

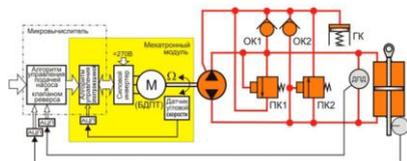


Рис. 2– Возможная блок-схема электрогидростатического привода
 БДПТ - бесколлекторный двигатель постоянного тока;
 ОК1, ОК2 - обратные клапаны; ПК1, ПК2 - предохранительные клапаны; ГК - гидрокомпенсатор; ДПД - датчик перепада давления

Приводы с комбинированным объемно-дроссельным регулированием скорости выходного звена. В ОАО «ПМЗ Восход» с участием ОАО «ОКБ Сухого», ЦАГИ и МАИ разработан ряд приводов, являющихся дальнейшим развитием схемы электрогидростатического привода, которые в настоящее время проходят стендовые испытания. В этих приводах используются высоконадежные отработанные гидравлические компоненты (насосы высокого давления, гидроцилиндры, клапаны, компенсаторы тепловых деформаций жидкости и другие гидроэлементы). В качестве мехатронных модулей используются новые разработки ОАО «Электропривод»[1]. Схема одного из разработанных вариантов электрогидростатического привода приведена на рисунке 3.

Этот привод содержит электронные блоки микровычислителя и силового инвертора, обеспечивающих работу бесколлекторного электро-двигателя постоянного тока.

Привод следует рассматривать как новый класс приводов с комбинированным объемно-дроссельным регулированием скорости выходного звена. Необходимо отметить ряд существенных особенностей работы привода данного типа. При малых сигналах рассогласования объем подачи жидкости в гидроцилиндр определяется ее дросселированием через золотник, а при возрастании сигнала рассогласования за счет возрастания числа оборотов электродвигателя и, соответственно, подачи насоса [2].

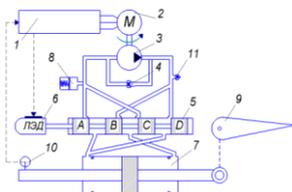


Рис. 3 – Электрогидростатический привод с комбинированным управлением скоростью выходного звена

Электромеханические приводы. Характерно чертой в области создания перспективных неманевренных дозвуковых самолетов и маневренных сверхзвуковых самолетов является тенденция разработки систем рулевых приводов с использованием энергосберегающих технологий. В этом случае предполагается предпочтительное использование энергетических комплексов с одним видом энергии – электрической с одновременным уменьшением числа бортовых централизованных гидросистем. Однако анализ разрабатываемых перспективных систем рулевых приводов для таких самолетов как А-380, Боинг-787, А-400, F-35 и др., показывает, что параллельно с широким внедрением новых типов систем рулевых приводов с потреблением только электрической энергии сохраняется применение и традиционных электрогидравлических приводов.

«Электрификация» системы управления самолета – одно из перспективных направлений энергосберегающих технологий, позволяющих улучшить летно-технические и эксплуатационные характеристики самолета.

Литература:

1. Перспектива внедрения энергосберегающих технологий в разработку систем рулевых приводов самолетов/ С.В. Константинов, Л.В. Холецкий, Л.И. Стеблинкин. А.А. Паршин//Полет.–2012.–№10.– С.21–29.
2. С.В. Константинов, П.Г. Редько, С.А. Ермаков. Электрогидравлические рулевые приводы систем управления полетом магистральных самолетов.–М.: Янгус-К, 2006.– 316 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ
ДЛЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
НА ЖИДКОМ АЗОТЕ**

С.Е. Шенин, А.В. Чичиндаев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tff_nstu@rambler.ru

Работа выполняется в рамках проектного обучения по межфакультетскому проекту «Исследование тепловой защиты для трансформаторов электрической энергии на жидком азоте» и будет полезна для студентов факультета электроэнергетики и факультета летательных аппаратов.

The work is carried out within the framework of the project training on the inter-departmental project “Thermal Protection Study for Liquid Nitrogen Electric Power

Transformers” and will be useful for students of the Faculty of Electric Power Engineering and the Faculty of Aircraft.

Одна из актуальных задач в области энергосбережения сегодня – экономия потерь электрической энергии в трансформаторных установках, на которые приходится до 50 % потерь. Одним из способов решения данной проблемы является переход на обмотки, работающие в режиме высокотемпературной сверхпроводимости. Благодаря этому на обмотках трансформатора не выделяется теплота, следовательно, нет необходимости в устаревших сложных системах охлаждения трансформатора, энергетически малоэффективных. Так же при использовании эффекта сверхпроводимости реализуется процесс ограничения токов короткого замыкания, что обеспечивает безопасную эксплуатацию трансформатора. В настоящее время появились соответствующие материалы, которые позволяют получать условия сверхпроводимости при температуре жидкого азота, что существенно проще и дешевле, чем при работе на жидком гелии [1-3]. Данный вид трансформатора компактен, поэтому может использоваться в военной и гражданской технике для получения постоянного или переменного тока высокого напряжения, например на крупных морских судах, либо в электрообеспечении мегаполисов. Одной из проблем при реализации работы такой установки является разработка эффективной системы тепловой защиты обмоток и сердечника, с учетом не стационарности тепловых процессов, позволяющей длительное время работать в условиях положительных температур окружающей среды.

В данной работе была спроектирована 3D модель криостата для жидкого азота, которая в дальнейшем может быть изготовлена с помощью аддитивных технологий (3D принтер) или собрана из листов ABS пластика. В программной системе с использованием метода конечно-элементного анализа (МКЭ) Ansys Workbench, было смоделировано воздействие фазового процесса кипения жидкого азота (-195.75 °С) на процессы теплопроводности внутренних стенок криостата из ABS-пластика (с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0.26$ Вт/м*К [5,7]) во внешней среде с температурой 20 °С, и получены распределения температур и тепловых потоков (рис.1-5). Полученные данные могут служить основой для разработки теплоизоляции с помощью рубашки из отработанного газообразного азота [6,10,11,12]. Данный криостат будет использоваться для собранного на кафедре энергообеспечения производств НГТУ прототипа однофазного трансформатора (рис.4-5) с высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) обмоткой, и в дальнейшем планируется создание более мощного 3-х фазного трансформатора по такому же принципу. Так же были подобраны возможные материалы для изготовления криостата [5,7-9] и проведён сравнительный анализ на

основе данных теплоёмкости и теплопроводности материалов и их массы в исследуемой конструкции.

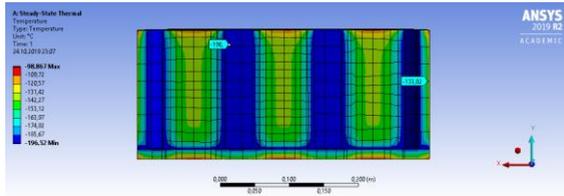


Рис.1. – распределение температур в сечении трёхфазного трансформатора

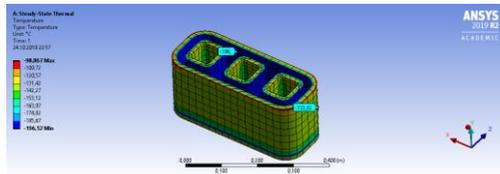


Рис.2. – распределение температур на поверхности трёхфазного трансформатора

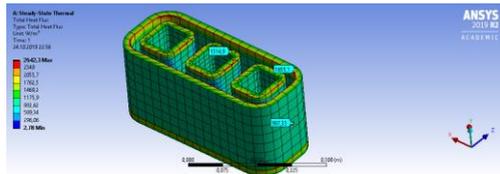


Рис.3. – распределение тепловых потоков проходящих через стенки трёхфазного трансформатора

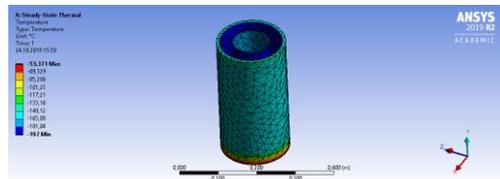


Рис.4. – распределение температур на поверхности однофазного трансформатора

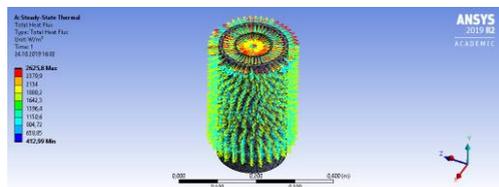


Рис.5. – тепловые потоки проходящие через стенки однофазного трансформатора

Литература

1. Манусов В. З. Оценка технического состояния трансформаторов с высокотемпературной сверхпроводящей обмоткой по методу анализа иерархи [Электронный ресурс] / В. З. Манусов, Д. В. Орлов // Новое в российской электроэнергетике : науч.-техн. электрон. журн.. - 2018. – № 5. – С. 17–30. - Режим доступа: <http://energo-press.info/nre>. - Загл. с экрана.
2. Манусов В. З. Анализ процессов ограничения токов короткого замыкания трансформатором с высокотемпературными сверхпроводящими обмотками / В. З. Манусов, Д. А. Павлюченко, Д. С. Ахъев // Проблемы региональной энергетики = Problems of regional energy. - 2017. – № 1 (33). – С. 1–7.
3. Сверхпроводимость В. Гинзбург, Е. Андрюшин, 2006 г.
4. Новиченок Н.Л., Шульман З.П. Теплофизические свойства полимеров. Минск, «Наука и техника» 1971. — 120 с.
5. Шеин С. Е. Исследование эффективности тепловой изоляции в трансформаторе с высокотемпературной сверхпроводящей обмоткой / С. Е. Шеин, А. В. Чичиндаев // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 20 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 17–19 апр. 2019 г. В 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. – Т. 1. – С. 189–192.
6. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Пластические массы: Свойства и применение: Справочник. — 3-е изд., перераб. — Л.: «Химия», 1978 — 384 с.
7. Солнцев Ю.П., Ермаков Б.С., Слепцов О.И. Материалы для низких и криогенных температур Энциклопедический справочник Санкт-Петербург, Химиздат, 2008. — 770 с.
8. Вентура Г., Ризегари Л. Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях. Пер. с англ.: Учебно-справочное рук-во — Долгрудный, издательский дом «Интеллект», 2011 —336 с.

9. Чичиндаев А. В. Исследование эффективности тепловой изоляции в трансформаторе с высокотемпературной сверхпроводящей обмоткой / А. В. Чичиндаев, С. Е. Шеин // 35 сибирский теплофизический семинар : Всерос. конф. с элементами науч. шк. для молодых ученых : тез. докл., Новосибирск, 27–29 авг. 2019 г. – Новосибирск : ИТ СО РАН, 2019. – С. 244.

СЕКЦИЯ КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ
И БОЕПРИПАСОВ

**КАФЕДРА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ
УСТРОЙСТВ.
ВЧЕРА. СЕГОДНЯ.**

**Гриф Е.М., Тумаева К.О., Упит О.К.,
А.В. Гуськов, д.т.н., Милевский К.Е., к.т.н.
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, a.guskov@corp.nstu.ru**

Кафедра газодинамических импульсных устройств (ГДУ) была создана в 1985 году, Приказом Министерства Минвуза от 4.11.1985г. N701 от 4.11.1985 г. Первым заведующим кафедрой стал доктор технических наук, профессор Михаил Самуилович Качан.

В формировании знаний будущих инженеров участвовала когорта специалистов и научных работников в области быстропротекающих процессов. Знания и опыт, полученные в своих научных школах они передавали выпускникам, которые в свою очередь стали преподавателями ведущих ВУЗов страны и ближнего зарубежья: МВТУ имени Н.Э. Баумана (Московское Высшее Техническое Училище) – д.т.н. Балаганский Игорь Андреевич, «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова (Военно-Механический Институт) – доцент Смышляев Анатолий Федорович, Самарского Политехнического Института, ТГУ (Томский Государственный Университет) – д. ф.-м.н. Зарко Владимир Егорович, д.ф.-м.н. Гусаченко Лев Алексеевич, Челябинского Политехнического Института – к.т.н. Мишунин Всеволод Александрович, Харьковского Авиационного Института – доцент Муха Виталий Петрович, директор НПО «Сибсельмаш» и Первый секретарь Новосибирского обкома партии КПСС, «МИФИ» (Московский Инженерно- Физический Институт) – д.ф.-м.н. Тришин Юрий Александрович.

На кафедре была сосредоточена подготовка инженеров-механиков по специальности 0546 «Производство корпусов». Ныне эта специальность называется 170103 «Средства поражения и боеприпасы». Эта базовая для кафедры специальность существует с 1971 года – сначала на кафедре прикладной механики машиностроительного факультета НЭТИ, а с 1979 года на объединенной кафедре приборных устройств одноименного факультета. С 1991 по 1995 год кафедрой руководил доктор технических наук, профессор, академик Российской академии ра-

кетных и артиллерийских наук (РАРАН) Герман Александрович Киселев.

С 1995 года кафедрой стал заведовать доктор технических наук, профессор Игорь Андреевич Балаганский .

В 2005 году заведующим кафедрой стал доктор технических наук, профессор Геннадий Иванович Расторгуев, ныне первый проректор университета. С мая 2009 года И.А. Балаганский вновь приступил к исполнению обязанностей заведующего кафедрой. В 2015 году заведующим кафедрой стал член- корреспондент Академии военных наук, доктор технических наук, профессор Анатолий Васильевич Гуськов [1].



Д.т.н., профессор М.С. Качан



Д.т.н., профессор Г.А. Киселев со студентом



Д.т.н., профессор Г. И. Расторгуев



Д.т.н., профессор И.А. Балаганский

Состав кафедры на сегодняшний день составляет 21 человек: 19 преподавателей; 2 учебных мастера. Из них профессорско-преподавательский состав – 5 докторов технических наук, 7 кандидатов технических наук.



Гуськов А.В. – зав. кафедрой ГДУ НГТУ, д.т.н., профессор



Балаганский И.А. – д.т.н., профессор кафедры ГДУ НГТУ



Брагуницов Е.Я. – к.т.н., доцент кафедры ГДУ НГТУ, старший научный сотрудник АО «ИПФ»



Виноградов А.В. – старший преподаватель кафедры ГДУ НГТУ



Макаров Н.В. – старший преподаватель кафедры ГДУ НГТУ. Секретарь приемной комиссии НГТУ.



Милевский К.Е. – к.т.н, доцент кафедры ГДУ НГТУ



Есиков М.А. – ассистент кафедры ГДУ НГТУ, мл. науч. сотрудник Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева



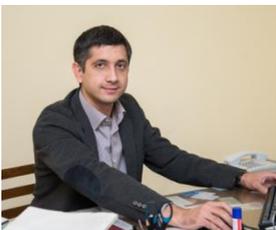
Полиновский А.А. – доцент, начальник отдела АО «Институт прикладной физики»



Поляков Ю.О. – к.т.н, доцент кафедры ГДУ НГТУ



Ульяницкий В.Ю. – профессор; д.т.н., Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева, зав. лаб. детонационных течений



Чемерис А.В. – старший преподаватель, сотрудник АО "Новосибирский завод искусственного волокна"



Швецов Г.А. – д.т.н, профессор, зав. лаб. физики ВПЭ Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева. Член-кор. РАН



Белоусова Н.С. – ассистент, аспирант, младший научный сотрудник Института химической кинетики и горения



Вандауров К.А. – ассистент, сотрудник АО Новосибирский механический завод «Искра»



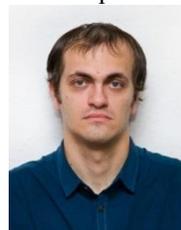
Воронин М.С. – к.ф.-м.н., старший преподаватель, науч. сотрудник Института Гидродинамики им. М.А. Лаврентьева



Глотов О.Г. – к. ф.-м. н., доцент, зав. лабораторией Горения конденсированных систем Института химической кинетики и горения СО РАН



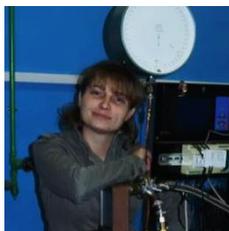
Хребтова М.С. – ассистент, аспирант, младший научный сотрудник АО «Институт прикладной физики»



Иванчик И.С. – старший преподаватель, сотрудник Сибирского государственного университета водного транспорта



Корчагин М.А. – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института химической кинетики и горения



Слесарева Е.Ю. – к.т.н., старший преподаватель



Станкевич С.В. – к.ф.-м.н., доцент, сотрудник института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева



Клыков Л. М. – зав.
лабораториями, заме-
ститель декана ФЛА
по общим вопросам



Мартынюк Н.М. –
учебный мастер

По этой специальности выпускают высококвалифицированных инженеров широкого профиля, специализирующихся в области высокоэнергетических устройств и способов обработки и создания материалов и изделий с уникальными свойствами. Студенты получают углубленные знания по комплексу базовых инженерных дисциплин, физике взрыва, механике деформируемого твердого тела, внутренней и внешней баллистике, по проектированию и производству высокоэнергетических устройств.

Выпускники получают подготовку, которая позволяет разрабатывать сверхсовременные высокоэнергетические устройства и технологии для использования энергии взрыва в различных отраслях промышленности: в машиностроении – для формообразования, упрочнения, сварки и резки материалов; в материаловедении – для синтеза алмазов, кубического нитрида бора и высокотемпературных сверхпроводников; в горном деле – при разведке и добыче полезных ископаемых; в строительстве – для перемещения больших объемов горных пород, при буровых работах, при разрушении старых сооружений; а также при тушении пожаров.

С 1995 года впервые за Уралом на кафедре открыт набор на новую специальность 280102 «Безопасность технологических процессов и производств». Это связано с неослабевающим потоком сообщений об аварийных взрывных происшествиях и катастрофах на различных промышленных и транспортных сооружениях.

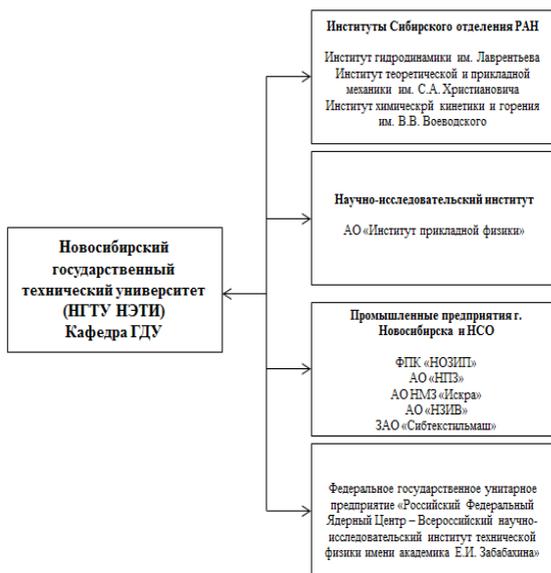
При этом наряду с авариями на объектах, непосредственно связанных с хранением и использованием энергоёмких и взрывчатых материалов, всё чаще встречаются случаи, когда причиной взрыва были внешне безопасные системы. В настоящее время предпринимаются серьёзные усилия для предотвращения взрывов и ослабления их нежелательных последствий.

Рост потребления энергии, ввод в строй атомных электростанций, рост давлений и температур в химических производствах, сооружение протяженных газопроводов высокого давления, развитие порошковой металлургии и криогенной техники – всё это ведет к расширению круга объектов, при проектировании которых необходима оценка безопасности их эксплуатации и выявление необходимых мер предосторожности. Открытие новой специальности было связано с настоятельным требованием времени обеспечить подготовку специалистов в области экспертизы и сертификации продукции, производства и эксплуатации экобиозащитных систем, обеспечения безопасности и защиты от всех видов вредных и травмирующих техногенных факторов, характерных для современных технологических циклов. Выпускники данной специальности – это специалисты по расчёту и проектированию устройств и сооружений, безопасных по отношению к действию взрыва и удара, они способны оценить степень потенциальной опасности тех или иных производств и предложить комплекс технических и организационных мероприятий для максимального снижения риска.

Ежегодно увеличивается набор абитуриентов на целевые места по заказам оборонных предприятий города Новосибирска и Новосибирской области, при этом расширяется и круг предприятий ОПК, направляющих выпускников школ для обучения в НГТУ. В настоящее время кафедра ГДУ осуществляет точечную ежегодную целевую подготовку порядка 10-12 студентов для 5 предприятий ОПК Новосибирской области: АО «ИПФ», АО НМЗ «Искра», Куйбышевский химический завод, ФКП «НОЗИП», Новосибирский завод искусственного волокна. В рамках целевой программы «Новые кадры для ОПК», с 2015 года кафедра ведет подготовку по следующим образовательным модулям: «Подготовка высококвалифицированных специалистов в области разработки выстреливаемых средств» для предприятия АО «Институт Прикладной Физики». Разработанные курсы «Основы проектирования двигателей для выстреливаемых средств», «Проектирование средств поражения, боеприпасов и выстреливаемых средств», «Производственная (преддипломная) практика: практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности», «Устройство боеприпасов и выстреливаемых средств» образовательного модуля преподаются не только на кафедре, но и на территории предприятия.

В разработанном совместно с сотрудниками АО «ИПФ» образовательном модуле учтены все требования по компетенции обучающихся по направлению «Боеприпасы», которые заложены при проектировании новых, модернизированных и перспективных выстреливаемых средств.

Студенты, прошедшие подготовку и аттестацию по образовательному модулю готовы к производственной, проектно-технологической и научно-исследовательской профессиональной деятельности по проектированию и технологической подготовке производства выстреливаемых средств в качестве конструктора, инженера–исследователя и разработчика технологических процессов производства. «Подготовка высококвалифицированных специалистов в области разработки средств взрывания» в НМЗ «Искра» для части дисциплин образовательного модуля: научно-исследовательская работа, производственная практика, выполнение выпускных квалификационных работ, использована материально-техническая база предприятия. В связи с новыми требованиями заказчика, предъявляемыми к эффективности и экономичности средств взрывания, расширения и изменения их номенклатуры у предприятия имеется потребность в квалифицированном персонале способном проектировать, разрабатывать технологические процессы изготовления и испытывать современные средства взрывания [2].



Взаимодействие кафедры с организациями и предприятиями



Студенты и аспиранты, обучающиеся на кафедре газодинамических импульсных устройств, успешно участвуют в конференциях и олимпиадах Всероссийского и международного уровня. Ежегодно проводится Всероссийская научная конференция «Наука. Техника. Инновации», организуется Всероссийская научно-техническая конференция «Наука. Промышленность. Оборона». Целью конференции является активизация научных исследований, налаживание контактов между ВУЗами страны, создание единого информационного и научного пространства, притяжение

интереса студентов к научным исследованиям [3].

Традиционными стали поездки студентов и аспирантов кафедры на конференцию с международным участием «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики» в Национальный исследовательский Томский государственный университет, где докладчики делятся разработками, посвященными исследованиям взрывных, детонационных процессов, численных методов, новых перспективных материалов в приложениях механики сплошных сред, баллистики и небесной механики.

В феврале 2019 года студенты 4 и 5 курсов специальности «Боеприпасы и взрыватели» впервые приняли участие во Всероссийской олимпиаде студентов «Я – профессионал» по направлению «Вооружение и военная техника». Очный – финальный – этап проходил в МГТУ им. Баумана, г. Москва. По итогам олимпиады студенты кафедры стали призерами и победителем, в результате чего внесены в национальную базу профессионалов, доступ к которой имеют крупнейшие корпорации-работодатели страны, а также награждены благодарственными письмами Министра образования Новосибирской области С.В. Федорчука.



Активно проявляют себя и студенты направления «Техносферная безопасность». Команда магистрантов 1 курса в апреле 2019 года заняла призовое место по итогам Всероссийской студенческой олимпиады по безопасности жизнедеятельности, проходившей в МГТУ им. Баумана, г. Москва.



На кафедре проводится научно-исследовательская работа, разработка и регистрация объектов интеллектуальной собственности. За послед-

ние пять лет получено более 30 патентов на полезные модели и изобретения, опубликовано более 330 научных статей, докладов, тезисов.

<p>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</p>  <p>ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК: F42B 12/19 (2006.01) F42B 12/19 (2011.08) F42B 12/19 (2013.08)</p> <p>(15) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ Статус: действует (исполнение изобретения) Пошагов. патента за 2 зап. с 10.07.2019 г.</p> <p>(21)(22) Заявка: 2018125161, 09.07.2018</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 09.07.2018</p> <p>Дата регистрации: 11.01.2019</p> <p>Приоритет(ы):</p> <p>(22) Дата подачи заявки: 09.07.2018</p> <p>(45) Опубликовано: 11.01.2019 Бюл. № 1</p> <p>(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2514014 С1, 27.04.2014, RU 212103 С1, 10.10.1998, RU 135791 У1, 20.12.2013, RU 69628 У1, 27.12.2007, RU 2206862 С1, 20.06.2003, US 6848718 В2, 25.01.2015.</p> <p>Адрес для переписки: 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 28, ФГБОУ ВО "НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"</p>	<p>(19) RU (11) 186 149 (13) U1</p> <p>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</p>  <p>ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК: F42B 12/19 (2006.01) F42B 12/19 (2011.08) F42B 12/19 (2013.08)</p> <p>(15) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ Статус: действует (исполнение изобретения) Пошагов. патента за 3 зап. с 10.04.2019 по 07.04.2020</p> <p>(21)(22) Заявка: 2017112218, 17.04.2017</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 17.04.2017</p> <p>Приоритет(ы):</p> <p>(22) Дата подачи заявки: 17.04.2017</p> <p>(45) Опубликовано: 18.07.2017 Бюл. № 28</p> <p>(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 238252 С2, 26.02.2010, RU 2342624 С1, 27.12.2008, RU 2206863 С1, 10.06.2003, RU 64687 У1, 16.09.2007, US 2798421 А, 21.08.1986, US 6172998 А, 14.08.2001.</p> <p>Адрес для переписки: 630073, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 28, ФГБОУ ВО НГТУ</p>	<p>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</p>  <p>ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ (51) МПК: F42B 12/19 (2006.01) F42B 12/19 (2011.08) F42B 12/19 (2013.08)</p> <p>(19) RU (11) 172 674 (13) U1</p> <p>[К ПАТЕНТУ] Статус: действует (07.12.2018) с 29.03.2020</p> <p>(72) Автор(ы): Гуськов Анатолий Васильевич (RU), Милевский Константин Евгеньевич (RU), Шайдуллин Илья Радикович (RU), Иванов Дмитрий Сергеевич (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)</p> <p>(72) Автор(ы): Гуськов Анатолий Васильевич (RU), Милевский Константин Евгеньевич (RU), Хрибтов Марк Сергеевич (RU), Иванов Радик Сергеевич (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ" (RU)</p> <p>технике, а именно к футасным авиационным ИМ, врыватель которых установлен на тандемизирующее баллистическое кольцо, отерам кинетической энергии при контакте лигется тем, что в футасной авиационной инватором, врывное устройство, подвесные о, баллистическое кольцо выполнено из лаа.</p>
<p>(54) Артиллерийский снаряд к нарезному оружию</p> <p>(57) Реферат: Предлагаемая полезная модель относится к военной технике и может быть использована при разработке и модернизации артиллерийских снарядов к нарезному оружию. Задача (технический результат) предлагаемой полезной модели является увеличение дальности полета снарядов при выстреле. Поставленная задача достигается тем, что известный артиллерийский снаряд к нарезному оружию содержит стальной корпус и вдуший пюсов, выполненный ладочно с ним, имеющий форму кольцевого выступа, разделенного кольцевыми канавками. Вдуший пюсов отличается тем, что каждый его выступ имеет четное число чередующихся сегментов с нормальной шириной и сегментов с утонением, при этом на соседних выступах</p>		

Выпускники – гордость кафедры газодинамических импульсных устройств.



Асанцев Дмитрий Владимирович
 Год окончания НГТУ: 1992
 Специальность: средства поражения и боеприпасы
 Место работы: Председатель Совета депутатов г. Новосибирска



Белосохов Александр Иванович
 Год окончания НГТУ: 1979 г
 Специальность: средства поражения и боеприпасы
 Первый заместитель министра атомной промышленности



Равдугин Виктор Васильевич
Год окончания НГТУ: 1981 г.
Специальность: средства поражения и боеприпасы
Место работы: АО НЗХК



Гринберг Борис
Год окончания НГТУ: 1985 г.
Специальность: средства поражения и боеприпасы
Деятельность: поэт, прозаик, драматург.



Слесарева Екатерина Юрьевна
Год окончания НГТУ: 2011 г.
Специальность: Безопасность технологических процессов и производств. К.т.н.
Место работы: Институт теплофизики СО РАН



Витухин Виталий Геннадьевич
Год окончания НГТУ: 1992 г.
Специальность: Средства поражения и боеприпасы
Место работы: Начальник управления потребительского рынка



Карпунин Владимир Иванович
Год окончания НГТУ: 1981 г.
Специальность: Средства поражения и боеприпасы
Место работы: Заведующий Спорткомплексом НГТУ



Сухоруков Святослав
Год окончания НГТУ: 2011 Специальность: Средства поражения и боеприпасы Место работы: ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ" им. академ. Е.И. Забабахина



Литература:

1. Экспериментально-теоретические исследования быстропротекающих процессов : коллектив. моногр. / И. А. Балаганский, Л. А. Мерзиевский, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, В. В. Андреев, Ю. О. Поляков, А. В. Виноградов ; под ред. А. В. Гуськова. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 262 с. - 500 экз. - ISBN 978-5-7782-2897-9.

2. Гуськов А. В. XVI Всероссийская научно-техническая конференция «Наука. Промышленность. Оборона» / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский // Гуманитарные проблемы военного дела : военно-науч. журн.. - 2015. - № 2 (3). - С. 139-140.

3. Гуськов А. В. Подготовка кадров для оборонно-промышленного комплекса кафедры гду в новосибирском государственном техническом университете [Электронный ресурс] / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский // Развитие кадрового потенциала ОПК: федеральные программы и региональная кадровая политика. [Электронный ресурс] : материалы 10 Всерос. совещ., Ижевск, 23–24 нояб. 2017 г. – Ижевск : ИННОВА, 2017. – С. 36–42. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) - Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_32295766_72627236.pdf. - Загл. с экрана. - ISBN 978-5-9500255-3-2.

ПАТЕНТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЗОР ПО КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМА ВЕРТИКАЛИЗАЦИИ ПАЦИЕНТА, КАК СОСТАВНОЙ ЧАСТИ МЕДИЦИНСКОГО СТЕНДА

Т.Р. Адриашкина

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, adriashkina.2015@stud.nstu.ru

В настоящий момент наше государство заинтересовано в повышении эффективности предприятий ОПК, выпускающих продукцию гражданского назначения, в том числе медицинского, так как в экономическом плане, целесообразно, использование потенциала оборонной промышленности в мирных целях. Существует большая необходимость в производстве изделий медицинского назначения, чтобы повысить позиции России на мировом рынке медицинской техники и решения ряда других проблем. В данной работе рассматривается средство диагностики пациента в виде рентгеновских съемок и необходимость его фиксации для различных диагностических работ. Данное исследование посвящено детальному анализу возможностей обеспечения механизмами фиксации пациента в различных положениях. Проводится также оценка универсальности конструкций существующих механизмов и широты диапазона регулируемых положений, маневренность и изменчивость вариантов управления.

At the moment, our state is interested in improving the efficiency of defense enterprises producing medical products, as in economic terms, it is advisable to use the potential of the defense industry for peaceful purposes. There is a great need for the production of medical devices in order to increase Russia's position in the world market of medical equipment and solve a number of other problems. In this paper, we consider a diagnostic tool for the patient in the form of x-ray surveys and the need for its fixation for various diagnostic works. This study is devoted to a detailed analysis of the possibilities of providing mechanisms for fixing the patient in different positions. This research is devoted to a detailed analysis of the possibilities of providing the considered mechanisms, a complete examination of the organism. The universality of the designs of existing mechanisms and the breadth of the range of adjustable positions, maneuverability and variability of control options are also assessed.

На сегодняшний день информация о диагностике, говорит о том, что параметры состояния органов человека необходимо снимать в состоянии покоя, то есть, когда у человека нормализовано общее состояние системы. Для контроля безопасной вертикализации и эффективного восстановления состояния пациента, за базу берется медицинский стол с механизмом вертикализации относительно цифрового аппарата рентгенографического линейного и углового сканирования АРСЦ-02-«Н» (Россия). Аппарат обеспечивает проведение всех стандартных рентгенографических исследований: грудной клетки, костей скелета, черепа и получение статистического рентгеновского изображения исследуемой обла-

сти в вертикальном, горизонтальном и промежуточном положениях, в прямых боковых и косых проекциях.

Рассмотрим сам процесс проведения вертикализации: пациент закрепляется на ложе вертикализатора ремнями, далее под руководством медицинского работника осуществляется плавный подъем спинки ложа вертикализатора до 45 градусов, а после этого подъем всего ложа на угол до 80 градусов. Подъем должен происходить плавно для того, чтобы не было негативной нагрузки на больного. Важной частью вертикализатора являются два механизма: механизм подъема спинки ложа и механизм вертикализации всего ложа. Такое конструктивное решение расширяет возможности использования вертикализатора и широко зарекомендовало себя в практическом применении. [1]

Максимальный рост пациента, определяет габаритные размеры установки; высота проектируемой установки определяется общими требованиями эргономики медицинской техники; максимальный вес пациента является основой для предельной нагрузки на электроприводы и прочности конструкции; необходимость обеспечения двух независимых углов подъема, определяет кинематическую схему разрабатываемой установки; величины углов подъема спинки ложа и всего ложа определяют основные параметры приводов конструкции, включая ход штока и высоту рамы.

Выделяют 2 типа вертикализаторов:

1) по опоре:

- переднеопорные (пациент опирается на живот);
- заднеопорные (пациент фиксируется на опоре под спину и постепенно поднимается из положения лежа; используется для пациентов с серьезными нарушениями функций опорно-двигательного аппарата);
- универсальные;

2) по возможности перемещения:

- статичные (пациент не может самостоятельно передвигаться, находясь в устройстве);
- мобильные (пациент может передвигаться, находясь в устройстве в положении стоя, при этом есть возможность тренировать мышцы ног при совершении движений руками).

В настоящее время существует ряд транспортных и трансформируемых устройств, специально разработанных для людей с ограниченными физическими возможностями и движением – например, для раненных. Тем не менее, общий стиль конструкции этих систем сконструированы с минимальной универсальностью. Следовательно, нам необходимо получить конструкцию механизма, которая будет решать ряд различных задач (на различных рентгеновских, флюорографических и др. аппара-

тах), например, по сканированию, фотографированию органов. А также, на основе принципов угловой вертикализации и перемещения объекта, будет возможность обследования полностью в любой части тела.

Изобретение [2] относится к области транспортного универсального и роботизированного устройства с функцией широкого диапазона регулируемых позиций, и высокой изменчивости вариантов управления. Следующие заявки на изобретение, частично, являются примерами необходимого механизма [3, 4]. Данные изобретения построены на том принципе, что кресло проходит от базовой конструкции кровати. Но данные складные конструкции не позволяют регулировать высоту кровати и системы стула; и не позволяют достичь стандартных размеров параметров кровати.

Также можно рассмотреть роботизированную подвижную кровать, которая состоит из всенаправленной и модифицируемой зоны, снабженной системой позиционирования, которая обеспечивает возможность ее регулировки. Однако устройство не имеет угловой вертикализации и сопутствующих принадлежностей, необходимых для реабилитации и других процессов. Устройство не приспособлено для возможного использования людьми выше среднего.

Среди существующих аппаратов вертикализации, которые используются для посттравматической реабилитации, стоит выделить аппараты фирм: Rifton (США), Altimate Medical (США), Носома (Швейцария), АКCESMED ПАРАМОБИЛЬ (Польша), PHYSIOMED Elektromedizin AG (Германия), SHIFU OCEAN Fumagalli (Италия), Геркулес (Россия), Taneta (Литва) и пр. Стоимость указанных приборов варьирует от 2 млн 280 тыс. до 20 млн долларов США и выше, в зависимости от опционального содержания.

Из обзора аналогов, в качестве рассматриваемой конструкции выбрана конструкция EriGoBasic, в которой реализованы основные функциональные возможности механизма. Для обратной связи, а именно, контроля положения угла спинки ложа и всего ложа используется потенциометрический датчик линейного перемещения.



Рис. Механизм подъема системы вертикализации Erigo

Для подъема всего ложа и спинки ложа используется линейный привод. Передача движения от электродвигателя к линейной направляющей привода происходит при помощи муфты.

Таким образом, механизм вертикализации можно разбить на два основных узла: узел подъема спинки и узел подъема ложа. Узел подъема спинки ложа представляет собой плоскую раму, которая цилиндрическим шарниром закреплена на ложе и приводится в движение линейным приводом. Узел подъема ложа также представляет собой плоскую раму, которая линейным приводом поднимается на заданный угол относительно основания.

Подводя итоги, отметим следующее. Механизм относится к транспортному универсальному регулируемому устройству с функцией широкого диапазона регулируемых положений, легкой маневренностью и высокой изменчивостью вариантов управления. Кроме того, устройство регулируется по высоте с возможностью всенаправленного движения, используя как ручное, так и дистанционное управление, включая возможность использования автоматических движений. Следовательно, он пригоден для использования в здравоохранении.

Литература:

1. Макарова М.Р., Современные аспекты аппаратных методов реабилитации неврологических больных: академический журнал Западной Сибири. 2013.- 60-61с.
2. Patent 306563B6 Czech Republic. Int Cl. A61G5/04, A61G7/015, A61G7/018, A61G7/16 (The authors are D. Polak, P. Haladova, T. Svoboda, P. Halada).
3. Patent 2581072B1 Europe. Int Cl. A61G5/00, A61G7/16, A61G5/02 (The authors are Ueda Toshihide, Nakamura Tohru, Kawakami Hideo).

4. Patent 2581072A1 Europe. Int Cl. A61G7/00, A61G5/00, A61G7/015, A61G1/02 (The authors are Ueda Toshihide, Nakamura Tohru, Kawakami Hideo).

ДЕТОНАЦИОННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ТУГОПЛАВКОЙ КЕРАМИКИ

И.С. Батраев², Д.А. Дятлов¹

**Новосибирский государственный технический университет¹
Институт Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН²
г. Новосибирск, ibatraev@gmail.com**

Методом детонационного напыления получены керамические покрытия из диоксида циркония стабилизированного окисью иттрия (YSZ) и его механической смеси с 5% добавкой оксида алюминия (Al_2O_3). Установлено, что незначительная добавка оксида алюминия позволяет формировать качественные покрытия без видимых дефектов (эрозии, сколов) при меньших используемых зарядах взрывчатой смеси.

Ceramic coatings by detonation spraying made of yttria-stabilized zirconia ($Y_2O_3-ZrO_2$) and its mechanical mixture with 5% alumina (Al_2O_3) were obtained. It has been established that a minor addition of alumina allows the formation of high-quality coatings without visible defects (erosion, chips) with lower explosive charges used.

Керамические детонационные покрытия, в частности из оксида алюминия, которые широко применяются в технологии детонационного напыления, отличаются высокой плотностью [1,2] и диэлектрической прочностью [3,4] и востребованы в промышленной практике. Делаются попытки по детонационному напылению более тугоплавкой керамики для создания термобарьерных систем [5, 6]. Но при нанесении таких материалов важным является обеспечить прогрев напыляемого материала за времена порядка 2-4 мс, характерными для детонационного напыления. Это связано с тем, что керамические частицы имеют низкую плотность и теплопроводность, а их ускорение в канале ствола существенно выше относительно более плотных материалов. Высокая скорость частиц снижает время их пребывания в стволе и их степень проплавления, что существенно сказывается на качестве покрытия, приводит к низкому коэффициенту использования материала и частичной эрозии. Одним из способов решения данной проблемы является малые добавки менее тугоплавких керамических материалов, например, оксида алюминия, который может выступать в роли связующей матрицы для частично проплавленной керамики с высокой температурой плавления.

В работе проведено формирование покрытий из тугоплавкой керамики на основе диоксида циркония стабилизированного окисью иттрия с добавкой оксида алюминия.

Для напыления использовали коммерческие порошки марок YSZ (ООО «Юмэкс», г. Уфа) и M40 (ООО НТЦ «Инокс», г. Новосибирск), микрофотографии которых представлены на рис. 1.

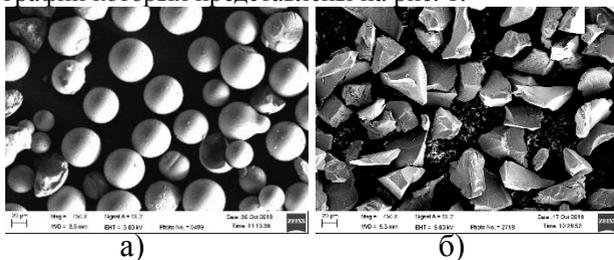


Рис. 1. – Микрофотографии порошков: а) YSZ; б) M40.

Для формирования покрытий из тугоплавкой керамики YSZ с 5% масс. добавкой оксида алюминия использовали детонационный комплекс CCDS2000, разработанным в ИГиЛ СО РАН, с установленным стволом диаметром 20 мм с длиной 1100 мм. В качестве взрывчатой смеси использовали ацетилен в смеси с кислородом состава $C_2H_2 + 2,04O_2$. При объеме заряда около 80% наблюдалось качественное формирование покрытия из чистого YSZ, но с достаточно низким коэффициентом использования порошка (порядка 25-30%). При напылении механической смеси YSZ-5% Al_2O_3 формирование покрытия без видимых дефектов (эрозии) происходило уже при объеме около 60%. На рисунке 2 изображена морфология покрытий из чистого YSZ и механической смеси YSZ-5% Al_2O_3 с использованием заряда взрывчатой смеси равном 60%.

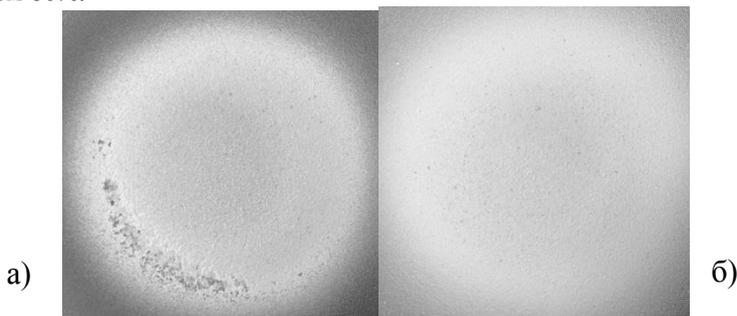


Рис. 2. – Морфология поверхности покрытий – а) YSZ, б) YSZ-5% Al_2O_3 /

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00713.

Литература:

1. Ulianitsky V.Yu., Solonenko O.P., Smirnov A.V., Batraev I.S. Detonation spraying of hollow microspherical alumina powder// ITSC-2013 Proceedings. Spain, Barcelona, 21-23 May, 2013. P. 668-673.

2. В.Ю. Ульяницкий, И.С. Батраев, А.А. Штерцер. Детонационные покрытия из оксидов // Упрочняющие технологии и покрытия. № 9 (2015) С.37-44.

3. В.Ю. Ульяницкий, А.А. Штерцер, И.С. Батраев Электроизоляционные свойства алюмооксидных детонационных покрытий // Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты). Т.20(4) (2018) С.83–95.

4. В.Ю. Ульяницкий, А.А. Штерцер, И.С. Батраев, А.А. Жданов. Электропроводность алюмооксидных детонационных покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. №6 (2019) С.276-280.

5. P.L. Ke, Y.N. Wu and C. Sun. Detonation gun sprayed thermal barrier coatings // In Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering, Woodhead Publishing. (2011) 175-189, Thermal Barrier Coatings, ISBN 9781845696580.

6 Разработка детонационных покрытий на основе оксида циркония с градиентным подслоем / И. С. Батраев, М. А. Есиков, А. Ю. Ларичкин // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч., Новосибирск, 3–7 дек. 2018 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 9. – С. 84–88.

ТЕПЛОЗАЩИТНЫЕ СЛОИСТО-ГРАДИЕНТНЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

И.С. Батраев, Д.К. Рыбин

**Институт Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН
г. Новосибирск, ibatraev@gmail.com**

В работе исследована микроструктура детонационных теплозащитных покрытий на основе YSZ с различными способами формирования переходных слоёв на границе металл-керамика. Получены покрытия с чередующимися слоями NiCrAlY и YSZ, с чередующимся слоями с градиентом по толщине, и из in situ сформированной механической смеси при параллельном инжектировании обоих материалов с двух дозаторов в канал ствола детонационного аппарата. Также для сравнительного анализа была получено дуплексное теплозащитное покрытие

тие без переходного слоя. Измерена микротвердость и пористость полученных покрытий.

The spraying modes were developed and the microstructure of detonation thermal barrier coatings based on YSZ with various methods for the formation of transition layers at the metal-ceramic interface was studied. The transition layers consist of alternating layers sprayed with NiCrAlY and YSZ powders, a variable thickness (layer-by-layer gradient), and an in situ formed mechanical mixture at parallel injection of both materials from two powder feeders into the barrel of the detonation apparatus. For comparative analysis a standard thermal barrier system without a transition layer was deposited. The microhardness and porosity of the obtained coatings were measured.

Теплозащитные покрытия (ТЗП) используют для тепловой защиты деталей машин и оборудования, подвергающихся воздействию высоких температур. Задачей развития систем ТЗП, состоящих из слоев жаростойкого сплава и теплозащитной керамики, является повышение стойкости к окислению и циклическим тепловыми нагрузкам при сохранении или улучшении теплозащитных свойств. Перспективным направлением для решения данной проблемы является формирование функционально-градиентных слоев (ФГС) с контролируемой микроструктурой в составе системы ТЗП. Градиентные слои с переменной переходной концентрацией материалов пограничных прослоек снижают перепады коэффициентов теплового расширения между слоями, которые являются источником термических напряжений, являющихся причиной отслоения основного теплозащитного покрытия от подложки. В настоящей работе получены слоистые градиентные теплозащитные покрытия методом детонационного напыления и исследована их микроструктура.

С помощью детонационного комплекса ССДС2000, разработанным в ИГиЛ СО РАН, были получены детонационные термобарьерные системы на основе YSZ. Для предотвращения разрушения ТЗП (отслоений керамического покрытия от металлического подслоя, связанного с разницей коэффициентов термического расширения (КТР)) при воздействии термоциклических нагрузок для более плавного выравнивания КТР реализовано нанесение переходных слоев. В частности, отработано нанесение двух вариантов переходных слоёв: напыление чередующихся слоев NiCrAlY и YSZ с изменением их толщины при переходе от подслоя к основному слою и напыление переходного слоя из in situ сформированной в стволе механической смеси.

Для напыления использовали коммерческие порошки марок ПВ-НХ16Ю6ИТ (АО «Полема», г. Тула) и YSZ (ООО «Юэмкс», г. Уфа), микрофотографии которых представлены на рис. 1.

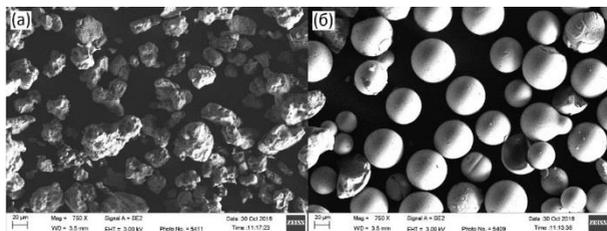


Рис. 1. – Микрофотографии порошков: а) ПВ-НХ16Ю6ИТ; б) YSZ.

По результатам ранее проведенных расчетов и экспериментального напыления порошков ПВ-НХ16Ю6ИТ и YSZ, нанесение ТЗП проводили с использованием ствола диаметром 20 мм с длиной 1100 мм, и ацетиленокислородную взрывчатую смесь состав $C_2H_2+1,07O_2$ при напылении металлического подслоя и $C_2H_2+2,04O_2$ при напылении YSZ. Для адгезивного подслоя из порошка ПВ-НХ16Ю6ИТ степень заполнения ствола была 40%, а при напылении YSZ 80%. Для получения покрытия из *in situ* сформированной механической смеси ПВ-НХ16Ю6ИТ+YSZ использовался режим напыления порошка YSZ.

На рисунке 2 представлены фотографии микроструктуры полученных ТЗП. Общая толщина покрытий для систем с переходными слоями была порядка 300–400 мкм (≈ 100 мкм HX16Ю6ИТ, ≈ 100 –200 мкм переходной слой, ≈ 200 основной слой из YSZ). Толщина дуплексного ТЗП была порядка 500 мкм (≈ 100 мкм HX16Ю6ИТ, ≈ 400 основной слой из YSZ).

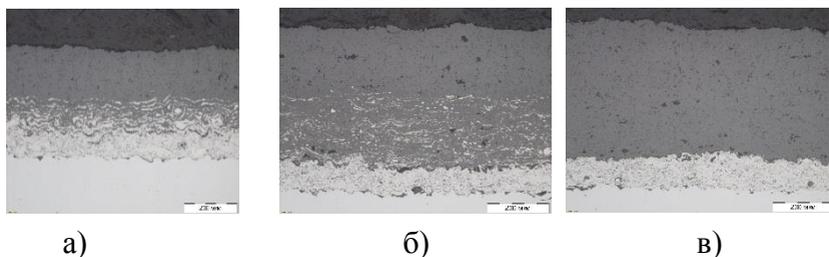


Рис. 2. – Микрофотографии поперечных шлифов образцов – а) с полойно градиентный, б) *in situ* смесь, в) дуплексный.

Анализ снимков микроструктуры полученных шлифов показал, что все системы сформированы без видимых дефектов (расслоения и трещины). Пористость YSZ покрытия находилась на уровне 5%, а металлического подслоя и переходных слоев составила менее 1%. Микротвер-

дость измеряли с помощью твердомера EMCO-TEST DuraScan-50. Средняя микротвердость определялась по 10 уколам, произведенных с нагрузкой 200 гр. Микротвердость покрытия из YSZ составила 1075 HV_{0,2}, микротвердость переходных слоёв была на уровне 754 и 852 HV_{0,2} для послойно градиентного и сформированного из механической смеси соответственно, а подслоя из ПВ-НХ16ЮБИТ 375 HV_{0,2}.

Полученные градиентные покрытия планируется подвергнуть испытаниям на термостойкость.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00713.

ГОРЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ АГЛОМЕРАТОВ АЛЮМИНИЯ В ВОЗДУХЕ

Н.С. Белоусова², О.Г. Глозов^{1,2}

¹ Новосибирский государственный технический университет,

² Институт химической кинетики и горения

им. В. В. Воеводского СО РАН

г. Новосибирск, : nata.bel.94@mail.ru

Разработана методика создания крупных горящих агломератов алюминия диаметром 540–660 мкм. Исследовано их горение в свободном падении в воздухе. При помощи видеосъёмки определены времена горения частицы, времена начала и окончания фрагментации, закономерности движения частицы, в частности, их скорость и координата в момент начала фрагментации.

The method of creating a large burning aluminum agglomerates with a diameter of 540-660 microns was developed. The combustion of this particles in free fall in the air was investigated. With the help of a video recording, the burning times of the particle, the times of the beginning and the end of fragmentation, the laws of particle motion, in particular, their speed and coordinate at the time of the beginning of fragmentation were determined

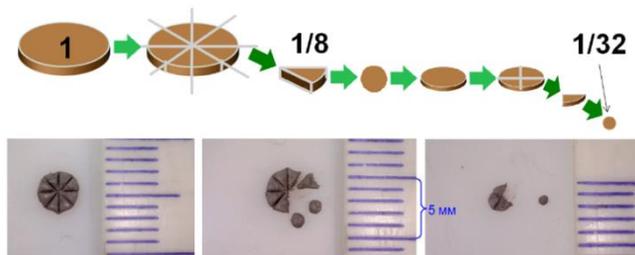
Алюминий – распространенный конструкционный материал, который применяется во многих технических объектах. Металл является пирофорным и высококалорийным материалом, поэтому он и его соединения широко используются в качестве высокоэффективного горючего в смесевых составах твердотопливных ракетных двигателей. Исследованию в этой области посвящено немало работ [1-3].

Однако, несмотря на это, некоторые данные о горении алюминия остаются скудными, часто необубдительными и для более полного понимания процесса горения частиц из комбинированного горючего, включающего алюминий, необходимо знать особенности параметров горения

и фрагментации каждого из компонентов. Поэтому соответствующие исследования в настоящее время актуальны.

Суть подхода «модельных агломератов» разработанного для создания объектов исследования – горящих частиц с заданными параметрами подробно изложена в наших предыдущих работах на примере алюминиевых и титановых агломератов [4] а также на примере агломератов комбинированного горючего (Al + B) [5] – заключается в следующем. Используется образец, состоящий из безметалльного топлива-матрицы, в которую помещено определённое количество алюминиевых агломератов. Эксперименты проведены с композицией для включений следующего состава: 73.85% Al (фракция 0.5–1.5 мкм, выделенная из порошка АСД-4), 26.15% активного горючего-связующего (метилполивинилтетразольный полимер, пластифицированный нитросодержащими соединениями).

Схема приготовления частиц-включений детально изображена на рисунке 1.



Вверху – схематическое изображения этапов частиц;

Внизу – реальные фотоснимки отдельных стадий процесса деления порции вещества.

Рис. 1. Схема приготовления частиц-включений заданной массы.

На рисунке 2 представлены следующие данные о зависимости времени горения от диаметра частиц $t_b(D_{Al})$:

1. «наши» – точки-кружки незакрашенные – данные настоящей работы, всего 59 точек в диапазоне диаметров 545–733 мкм. Для частиц одного номинального размера имеется разброс значений времён горения (точки имеют одну и то же абсциссу, но разные ординаты).

2. «наши аппр1» – зелёная линия – аппроксимация набора вышеупомянутых точек степенной функцией $t_b(D_{Al}) = (2.13 \pm 1.95) \times 10^5 \cdot D^{1.72 \pm 0.14}$, $N = 59$, коэффициент детерминации [6] $R^2 = 0.70$. Здесь и далее в формулах зависимостей $t_b(D_{Al})$ диаметр в микронах, время горения в секундах.

3. «наши оср.» – покрашенные точки-кружки с вертикальными доверительными интервалами – осреднённые данные настоящей работы. Для каждого номинального диаметра вычислены средние значения вре-

мён горения и их статистические параметры. Стандартное отклонение среднего σ_e изображено в виде «усов» – доверительных интервалов.

4. «наши аппр2» – красная линия – аппроксимация осреднённых точек ($N = 4$) степенной функцией $t_b(D_{Al}) = (3.79 \pm 3.17) \times 10^{-5} \cdot D^{1.63 \pm 0.13}$, $R^2 = 0.98$. Несмотря на более высокое значение коэффициента детерминации, эта аппроксимация менее корректна, поскольку при предварительном осреднении значений t_b теряется информация о количестве точек для каждого из значений диаметров. Впрочем, как видно на рисунке 6, линии «наши аппр1» и «наши аппр2» практически совпадают. Здесь уместно напомнить наше заключение о том, что не следует переоценивать значения полученных величин параметров (например, нельзя рассматривать величину показателя степени при диаметре в качестве аргумента в пользу того или иного механизма реагирования).

5. «Бекстед пр.» – тонкая сплошная линия – универсальная аппроксимационная формула из [6]: $t_b(D_{Al}) = 3 \cdot 10^{-6} \cdot D^{1.99}$, $R^2 = 0.87$

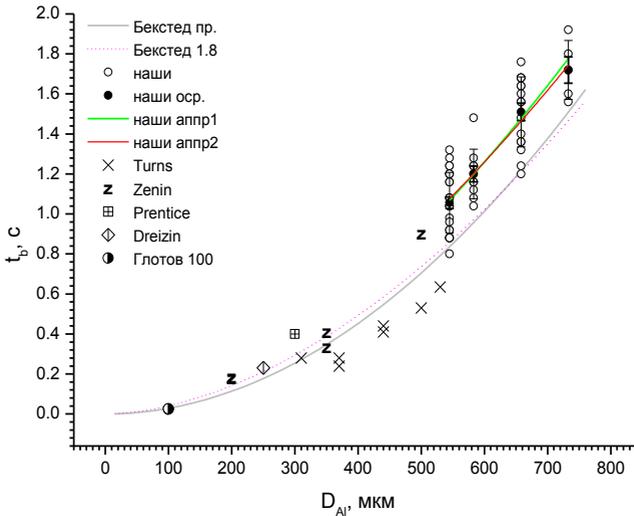


Рисунок 6 – Зависимость времен горения крупных частиц алюминия от начального диаметра. Среда: воздух при атмосферном давлении. Данные настоящей работы в сравнении с литературными.

Точка «Глотов 100» соответствует временам горения 100-микронных агломератов и монолитных частиц алюминия из [6].

Другие точки на рисунке 2 отображают известные литературные данные по временам горения *частиц крупнее 200 мкм в воздухе* (или смесях кислорода с азотом; точки для смесей кислорода с аргонem и иными окислителями не приводим), то есть полученные в условиях, аналогичных условиям нашей работы.

С помощью использования подхода «модельных монодисперсных агломератов» исследовано горение крупных алюминиевых агломератов с диаметром 540–660 мкм в свободном падении в воздухе. В ходе экспериментов определены времена горения агломератов, размер, масса и плотность финальных частиц-остатков. Также получены данные о фрагментации горящих Al-агломератов (временные параметры процесса и доля фрагментирующих агломератов).

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 19-03-00294).

Литература:

1. Friedman, R. and Maček, A. Ignition and combustion of aluminium particles in hot ambient gases // *Combustion and Flame*. –1962. Vol. 6, P. 9-19.
2. Servaites J, Krier H, Melcher J, Burton R. Ignition and combustion of aluminum particles in shocked H₂O/O₂/Ar and CO₂/O₂/Ar mixtures // *Combustion and Flame*. –2001. Vol. 125, P. 1040-1054.
3. Braconnier A, Chauveau C, Halter F, Gallier S. Detailed analysis combustion process of single aluminium particle in air using an improved experimental approach // *International Journal of Energetic Materials Chemical Propulsion*. –2018. Vol. 17, N 2. P. 111-124.
4. Белоусова Н.С., Глотов О.Г., Гуськов А.В. Исследование горения частиц титана, с целью генерации наночастиц TiO₂// В сборнике: XV Всероссийская научная конференция «Проблемы проектирования и производства систем и комплексов». –Тула, 2018, №11 –С. 90-99.
5. Глотов О. Г., Сурадин Г. С., Житницкая О. Н., Кискин А. Б. Горение монодисперсных агломератов из алюминия и бора в воздухе // Тезисы докладов IX Всероссийской конференции с международным участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения», Новосибирск, Россия, 16-18 ноября 2015, С. 46.. ISBN 978-5-89017-042-2
6. Глотов, О. Г. Горение сферических титановых агломератов в воздухе. II. Результаты // *Физика горения и взрыва*. –2013. –№ 3 (49). –С. 58–71.

ТРИ НАПРАВЛЕНИЯ УЛУЧШЕНИЯ ПАТРОНА СТРЕЛКОВОГО КОМПЛЕКСА

А.А. Герман^{1,2}, М.А. Кислин¹, А.В. Гуськов², К.Е. Милевский².

¹ АО «Новосибирский механический завод «Искра»

² Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, morany123@mail.ru

В работе представлен анализ конструкции патрона с разделенным пороховым зарядом. Исследовано влияние начальной скорости на характеристики полета пули. Даны рекомендации по капсулированию гильз и использованию экологически чистого ударно-воспламенительного состава (УВС).

The work considers analysis of divided powder charge cartridge construction. Starting speed effect on bullet's flight characteristics was researched. Recommendations about sleeve encapsulation and using of ecologically pure flash-ignition composition- were given.

Известно, что для выполнения специальных задач в городских условиях спец подразделениям требуется оружие, обладающее набором определенных характеристик. К таким относят: относительный малый вес оружия, компактность, безотказность и надежность применения, точность выстрела и многие другие. Применение оружия спец подразделениями выявил необходимость поражать цели за преградой в городских условиях с малоэтажными постройками, либо горной каменной местности, чем может служить кирпичная стена, стальной лист, либо применение против автомобильного транспортного средства путем выведения двигателя из строя. При этом должны быть исключены рикошеты.

С появлением комплекса ШАК-12 и специального патрона к нему, выполненного в цилиндрической форме с проточкой калибра 12,7x55 мм, имеющего ряд особенностей: низкую начальную скорость (дозвуковую) около 292 м/с, крупный калибр 12,7 мм [9] по сравнению с пулей автомата Калашникова 5,45 мм, стало возможным использовать для повышения начальной скорости разделенный пороховой заряд, отлично за рекомендовавший себя в патронах к гладкоствольным ружьям. Для того, чтобы обеспечить наилучшую совместимость всех необходимых характеристик, соединенных вместе реализован проект, который называется ШАК-12. В этот комплекс входит штурмовой автомат, использующий специальный боеприпас, а именно, винтовочный патрон 12,7x55 мм, обладающий большой кинетической энергией в дозвуковой области, изображенный на рисунке 1 в трех вариантах исполнения.



Рис.1. Пуля с термоупрочненным стальным сердечником (бронебойный) – 1, с легкой алюминиевой пулей с антирикошетным эффектом (экспансивный) – 2, с тяжелой свинцовой пулей с дозвуковой скоростью (бесшумный) – 3.

Данный автомат предназначен для использования в городских условиях, он должен пробивать преграды и не давать рикошетов, а также использование специального патрона с дозвуковой скоростью позволяет снизить уровень шума до 123 дБ при стрельбе [10], что соответствует звуку реактивного двигателя на расстоянии 60 метров. Прицельная дальность стрельбы составляет 200 м. При применении легких пуль (7 грамм) с алюминиевым полым сердечником начальная скорость (сверхзвуковая) для нашей территории составляет около 350 м/с, но она быстрее теряется, а эффективная стрельба такими пулями становится равной 100 м. Пули с бронебойным сердечником обладают меньшей начальной скоростью (дозвуковой) равной 292 м/с, способны пробивать бронезилены и поражать легкобронированную технику. Их пробивная способность станет выше если увеличить начальную скорость, так как кинетическая энергия, запасенная при выстреле, задается у дульного среза и действует на всем участке траектории полета до поражения цели.

Из-за низкой, (дозвуковой) скорости полета пули, она не способна обеспечить передачу кинетической энергии на большие расстояния (свыше 200 м) и обеспечить запреградное действия на противника (достичь летального эффекта), находящегося в укрытии (это могут быть кирпичные и железобетонные стены, стальные листы). Повышая начальную скорость тяжелой бронебойной пули изменится траектория полета пули - она станет более настильной. А расстояние прямого выстрела увеличится. Так же предлагается оптимальное расположение капсюля-воспламенителя в капсюльном гнезде на основании выведен-

ных формул (см. ниже), позволяющих при «правильном» капсулировании добиться надежного срабатывания капсуля-воспламенителя. Чтобы снизить вредное воздействие на организм стрелка от срабатывания капсуля-воспламенителя необходимо использовать экологически безопасный ударно-воспламенительный состав (УВС).

В настоящее время разработаны патроны способные увеличить начальную скорость без повышения давления в патроннике, давление остается постоянным на всем участке движения пули внутри канала ствола, что особенно важно при проектировании оружия. В следствии чего нет необходимости в изготовлении толстостенных патронников, способных выдерживать большое давление, без увеличения общего веса оружия.

Большая работа проведена в отношении увеличения начальной скорости пуль для гладкоствольных карабинов специальных и патронов к ним вооруженных подразделений МВД и специальных отрядов для выполнения оперативно тактических мероприятий. Был разработан патрон с разделенным пороховым зарядом на три части, который называется «Тринар-БП». На рисунке 2 представлены патроны «Тринар» с пулей – а) и зарядом дроби – б).

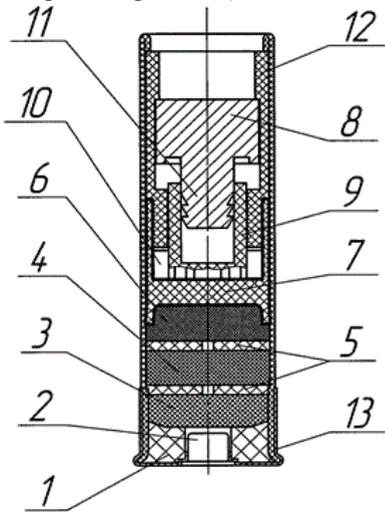


Рис. 2. Патрон «Тринар» а) с пулей: 1 – гильза, 2 – капсуль-воспламенитель; 3, 4, 6 – пороховой заряд, разделенный на три части; 5 – диафрагма с отверстием; 7 – пыж; 8 – пуля; 9 – стабилизатор; 10 – стабилизирующими выступами; 11 – хвостовик пули; 12 – три центрирующих отделяющихся элемента пули, 13 – металлическое основание гильзы.

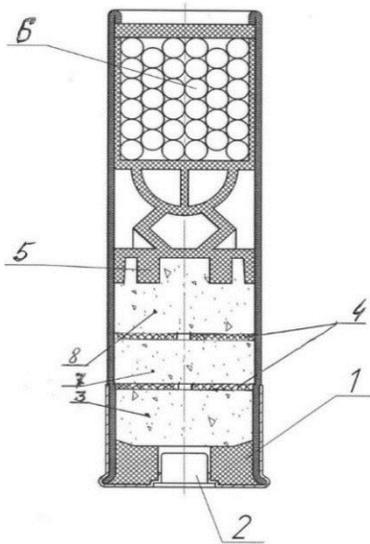


Рис.2 б) с зарядом дроби: 1 – гильза; 2 – капсюль-воспламенитель; 3, 7, 8 – разделенный пороховой заряд на три части; 5 – пластиковый пых-контейнер; 6 – заряд дроби.

Это изобретение защищено патентом РФ №2536954. Разделенный пороховой заряд на части позволяет увеличивать скорость за счет увеличения полной массы метательного заряда, состоящего из разных порохов с разной навеской. Такой заряд разделен между собой картонными диафрагмами, предотвращающими мгновенное срабатывание всего объема заряда. Данный метод увеличения начальной скорости отлично зарекомендовал в патронах к гладкоствольным ружьям.

Из ранее имеющегося опыта взаимодействия со специалистами ФКУ НПО «СТиС» МВД России сформулированы основные предварительные требования к патронам «Тринар-БП»

- патрон «Тринар-БП» при стрельбе из баллистического ствола ($L=500$ мм) на дистанции 50 м должен обеспечивать рассеяние $\Pi_{100} \leq 10$ см. Одновременно с этим разница между наименьшим и наибольшим значением в баллистической группе из 10 выстрелов, не должна превышать 25 м/с;

- патрон должен обеспечивать безотказность механизмов перезаряжания;

- длина патрона «Тринар-БП» в сборе должна лежать в пределах (59-68) мм.

Для определения пробивной способности испытания патронов «Тринар-БП» необходимо проводить на дистанции 20 м по стальной плите (материал Ст 3) толщиной 10 мм и на дистанции 50 м – толщиной 6 мм.

Рассмотрев патент на изобретения РФ № 2151369, решено было исследовать влияние начальной скорости полета бронебойной пули на

эффективность пробития стальной преграды. Испытанию были подвергнуты пули типа ПБМ пистолета Макарова. Из результатов исследования становится ясно, что увеличение начальной скорости с 500 м/с до 600 м/с приводит к увеличению количества пробитий стальной преграды с 38 % до 60 %.

Аналогичную картину можно получить, применяя разделенный пороховой заряд в боеприпасе 12,7x55 мм. Для выяснения более точных результатов необходимо провести исследования.

Используемые капсули-воспламенители в патронах к стрелковому оружию должны обеспечивать надежное срабатывание ударно-воспламенительного состава с минимальным временем при производстве выстрела.

Такие требования объясняются необходимостью поражать быстро движущиеся цели, за счет сокращения времени от приведения оружия к выстрелу до поражения цели. Для повышения надежности и чувствительности срабатывания предложена формула оптимального сочетания геометрических размеров капсульного гнезда гильзы и капсуля воспламенителя типа «Бердан», наковаленка гильзы патрона выполняется такой высоты, чтобы вершина наковаленки гильзы углублена в капсульном гнезде относительно торца шляпки гильзы патрона на величину «Д», равную величине «С» максимальной высоты воспламенительного состава с герметизирующей мембраной с учетом допуска, плюс на величину толщины стенки металлического колпачка и плюс на величину «Н», заданной на патрон по углублению капсуля-воспламенителя типа «Бердан» относительно торца шляпки гильзы с учетом допуска, при этом величина «А» глубины капсульного гнезда равна величине «В» высоты металлического колпачка с учетом допуска плюс величина «Н», заданная на патрон по углублению капсуля-воспламенителя типа «Бердан» относительно торца шляпки гильзы с учетом допуска, т.е. должны выполняться требования по формулам: «А»=«В»+«Н» и «Д»=«С»+«Н» (см. рисунок 3).

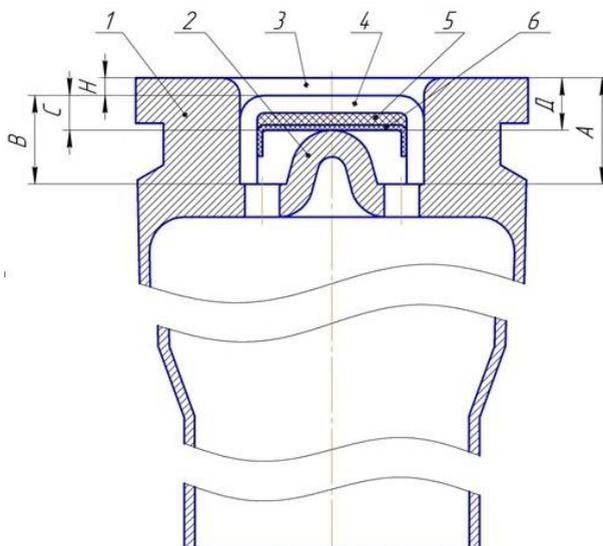


Рис.3 Капсюлированная гильза для стрелкового оружия – 1; наковаленка – 2; углубление, заданное на патрон – 3; металлический колпачек – 4; УВС – 5; герметизирующая мембрана – 6.

В ходе этой работы был задан вопрос: как влияет сила удара бойка при наколе капсюля-воспламенителя на инициирующую способность и срабатывании всего заряда пороха? Ответ такой, величина удара бойка практически одинаковая и она достаточная, чтобы наколоть капсюль-воспламенитель, который в свою очередь передает импульс на заряд пороха, обеспечивающий эффективное срабатывания всего объема пороха. Варьируя величиной глубины утопания капсюля-воспламенителя в капсюльном гнезде можно удалять от наковаленки, тогда возникает затяжной выстрел или вовсе не происходит (осечка), либо приближать, тогда растет вероятность преждевременной вспышки из-за повышенной чувствительности или может привести к выкрашиванию ударно-воспламенительного состава.

Изобретение относится к средствам инициирования, а именно к ударным составам снаряжения капсюлей-воспламенителей патронов стрелкового и охотничьего оружия. Состав должен быть работоспособен при температурах от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и с высокой степенью надежности инициировать пороховой заряд в патроне.

В настоящее время используют ударно-воспламенительные составы на основе соединений свинца и ртути, при срабатывании выделяются токсичные соединения, которыми вредно дышать. А также выделяющи-

еся газы корродируют канал ствола. Применение таких составов не приемлемо в закрытых помещениях и тирах. На замену устаревших составов приходит эра экологически чистых, неоржавляющих канал ствола составов на основе: тетразена; динитробезофуоксоната калия; одноосновного стифната калия; инертного сенсibiliзатора (мраморной крошки) по патенту РФ № 2144523.

Капсюли-воспламенители, снаряженные данным составом, полностью отвечают требованиям, предъявляемым к неоржавляющим составам капсюлей-воспламенителей, не теряют своих рабочих характеристик в течении всего гарантийного срока хранения, надежно воспламеняют пороха, используемые для снаряжения стрелкового оружия.

На основании имеющегося опыта можно сказать, что патроны «Тринар-БП» хорошо зарекомендовали себя как высокоскоростные патроны. Принцип повышения начальной скорости путем разделения заряда на несколько частей не новый, но был реализован и запатентован впервые в патронах с двойным делением заряда (Бинары), а затем разделен на три части стал называться «Тринар».

Полученный эффект достаточно хорошо изучен и его можно применить в патроне комплекса ШАК-12 для повышения начальной скорости. Предполагается, что с увеличением скорости улучшатся баллистические характеристики; настильность, дальность прямого выстрела, точность выстрела в следствии плавного ступенчатого разгона пули внутри канала ствола.

Применение рекомендаций по капсюлированию гильзы повысит надежность с 99,7 % до 99,8% и уменьшит время срабатывания, а экологически чистый неоржавляющий ударно-воспламенительный состав снизит вредное воздействие на человека и окружающую среду. В совокупности эти направления должны улучшить патрон 12,7x55 мм. Что станет привлекательным в его использовании.

Литература

1. Трофимов В.Н., Трофимов А.В. Современные охотничьи боеприпасы для гладкоствольного оружия. Пули. Пулевые патроны. Справочник.-М.: Дом Рученькиных, 2007.

2. Кислин М.А., Зыков В.А. Пулевой патрон для гладкоствольных ружей, патент на изобретение RU 2537016, 13.06.2013.

3. Кутенков В.Г. Пуля «Бабочка комбинированная» и патрон для гладкоствольных ружей, патент на изобретение RU 2465544, 23.05.2011.

4. Гуськов А. В. Внешняя баллистика: учеб. пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, А. В. Сотенко. - 2-е изд. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.

5. Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы: учеб. пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, В. В. Андреев, Е. Ю. Слесарева; Новосибирский государственный технический университет. - Москва: Юрайт, 2019.

6. Высокоэнергетические материалы: учеб. пособие / В. В. Андреев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева. - Новосибирск: НГТУ, 2013.

7. Внешняя баллистика: учебное пособие / Л. Н. Лысенко. — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018.

8. Кислин М.А., Пеньков В.А., Гольдинштейн З.М. Бронебойная пуля для гладкоствольного оружия, патент на полезную модель RU 45519, 15.10.2004.

9. Патрон 12,7x55 мм СЦ-130: СЦ-130 ПТ, СЦ-130 ПТ2, СЦ-130 ВПС, СЦ-130 ПУ. [Электронный ресурс]//URL: <http://sniper-weapon.ru/boeripasy/237-patron-12-7kh55-mm-sts-130-sts-130-pt-sts-130-pt2-sts-130-vps-sts-130-pu/> (дата обращения: 16.10.2019)

10. Патрон СЦ-130 ВПС - Memo-randum.net.[Электронный ресурс]//URL: <https://memo-randum.net/katalog/patrony/patron-sts-130-vps/> (дата обращения: 16.10.2019)

11. Автомат штурмовой АШ-12.[Электронный ресурс]//URL: https://pikabu.ru/story/avtomat_shturmovoy_ash12_4994655 (дата обращения: 16.10.2019)

ХАРАКТЕРИСТИКА АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

К.С. Головко², А.А. Штерцер¹, В.Ю. Ульяницкий¹,

¹ **Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева Сибирского
отделения Российской академии наук, Новосибирск,**

² **Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, golovko.2014@stud.nstu.ru**

С помощью детонационного напыления на стальную подложку наносились алмазосодержащие металлические покрытия. В экспериментах использовались порошки никеля, меди и алмаза, а также порошок с алмазными частицами, покрытые никелем (порошок с гальваническим покрытием).

With the use of detonation spraying, diamond-containing metal coatings were applied to the steel substrate. In the experiments, nickel, copper and diamond powders, and a powder with diamond particles clad with nickel (plated powder) were used.

Детонационный метод получения технического углерода известен давно. Однако этот метод переживает новую волну интереса с тех пор, как была показана возможность получения ультрадисперсных аморфных углеродных и графеновых нанослоев детонацией ацетилен-кислородных смесей [1]. Недавно в лаборатории Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева (ИГИЛ СО РАН) была разработана высокопроизводительная методика получения наноразмерного детонационного углерода (НДУ), и было показано, что объемная плотность и морфология частиц НДУ зависят от состава детонирующей газовой смеси [2, 3]. Новые методы позволяют получать как округлые наночастицы, так и графеновые нанолитики, в то время как старая технология позволяет получать только аморфные углеродные наночастицы. Использование специального импульсного газодетонирующего устройства (ИГДУ) позволяет контролировать морфологию получаемого материала и обеспечивает производительность до 2,7 кг НДУ в час даже для лабораторной установки [2]. Кроме того, эта новая технология намного предпочтительнее с точки зрения взрывобезопасности.

Целью настоящей работы было проанализировать влияние k на морфологию частиц НДУ и их структуру. Также было интересно определить влияние аргона, добавляемого во взрывоопасную смесь или используемого в качестве инертного газа для продувки ствола пушки, на характеристики НДУ.

В настоящей работе НДУ был получен из взрывоопасных смесей $C_2H_2 + kO_2$, в которых k - мольное отношение кислорода к углероду ($k = O/C = O_2/C_2H_2$). В экспериментах этот параметр составлял от 0,11 до 0,82. При $k \geq 1$ твердый углерод в продуктах детонации отсутствует. Следует отметить, что при $k > 0,7$ выход твердого углерода очень мал. При $k < 0,10$ ацетилен-кислородные смеси не детонируют. Начальное давление смеси $C_2H_2 + kO_2$ в цилиндре ИГДУ было равно атмосферному давлению.

Мы предполагаем, что зарождение и рост НДУ происходит за фронтом детонации под высоким давлением. Чтобы варьировать время формирования НДУ, использовали стволы длиной 750 и 1500 мм (диаметр стволов составлял 26 мм). Некоторые образцы НДУ были получены при добавлении аргона в детонирующую смесь $C_2H_2 + kO_2$ для определения влияния инертной добавки на образование углеродного продукта. Содержание аргона во взрывоопасной смеси составляло 10, 15 и 20 об.%. Кроме того, между циклами ствол продували азотом или аргоном.

Зависимость насыпной плотности ρ НДУ от k немонотонна. Существует максимум ($\rho = 0,055 \text{ г/см}^3$) при $k = 0,42$ и минимум ($\rho = 0,013 \text{ г/см}^3$) при $k = 0,11$, в то время как при $k = 0,68$ $\rho = 0,020 \text{ г/см}^3$. Отноше-

ние максимальной к минимальной плотности близко к 4, что, на наш взгляд, свидетельствует о существенном различии морфологии частиц НДУ соответствующих продуктов. Известно, что насыпная плотность любого порошка зависит от формы и размера его частиц. Например, сферические частицы имеют более плотную упаковку, чем частицы неправильной, особенно сильно вытянутой формы. Тогда появление максимума на кривой $\rho(k)$ можно качественно объяснить изменением роста плотности с увеличением размера частицы при ее падении, когда форма частиц изменяется от круглой к чешуйчатой. Полученную НДУ характеризовали с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рентгеновской дифрактометрии (РД), рамановской спектроскопии (РС) и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФС). СЭМ-изображения показывают, что частицы углерода, полученные из смесей с k в диапазоне от 0,11 до 0,51, имеют округлую форму, и их размер увеличивается с увеличением k . В частности, при

$k = 0,3$ размер частиц составляет 20-100 нм. При $k = 0,51$ диаметр отдельных сфер достигает 200 нм (рис. 3а); наблюдается прилипание частиц друг к другу с образованием крупных агломератов. При k больше 0,68 частицы углерода приобретают форму хлопьев, как показано на рисунке 3б. Эти частицы могут быть идентифицированы как графеновые наночастицы. На рисунке 3б, белая стрелка показывает, как можно предположить, графеноподобную частицу, которая складывается пополам под действием поверхностного натяжения. Большинство частиц, на рисунке 3б имеют криволинейную поверхность, что означает, что они имеют тенденцию сворачиваться в трубочку, чтобы уменьшить их поверхностную энергию. Графеновые нанослои имеют толщину до 20 нм, а их продольный размер достигает нескольких сотен нанометров. Так, при изменении k от 0,51 до 0,68 форма частиц существенно меняется - от круглой к чешуйчатой.

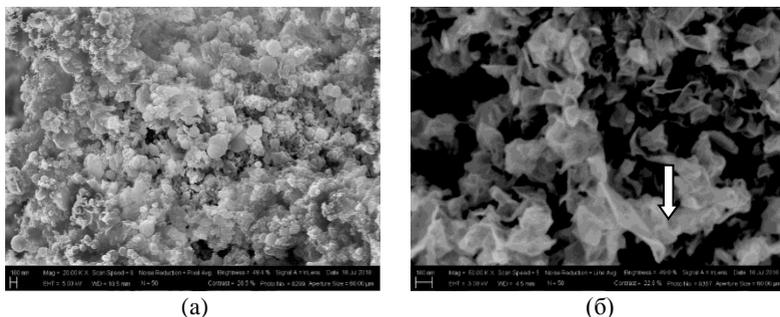


Рис. 1. СЭМ-изображения НДУ, полученные в стволе диаметром 1500 мм при $k = 0,51$ (а) и $k = 0,82$ (б) с азотом в качестве продувочного газа. Белая стрелка показывает свернутую частицу графена.

На наш взгляд, описанный НДУ может найти множество применений. Например, он может быть пригоден для использования в электрических устройствах, например, при производстве электродов для двухслойных конденсаторов. Графеновые наноленты также могут играть роль твердого смазочного материала в покрытиях, полученных термическим напылением [5]. Наконец, НДУ может быть перспективным материалом для костных имплантатов, поскольку уже есть опыт получения трехмерного пористого материала из графеновых нанолистов путем спекания в искровой плазме [6].

В этой работе наноразмерный детонационный углерод (НДУ) был получен в устройстве ИГДУ путем разложения ацетилена во время детонации смесей $C_2H_2 + kO_2$ с k в диапазоне от 0,11 до 0,82. Было обнаружено, что при увеличении k от 0,11 до 0,51 степень графитизации углерода быстро увеличивается, при дальнейшем увеличении k степень графитизации растет медленнее.

При $k > 0,4$ использование более длинного ствола и добавление аргона во взрывоопасную смесь приводят к образованию НДУ с более высокой степенью графитизации.

Электронно-микроскопические исследования показывают, что морфология частиц НДУ значительно изменяется с k . При низких k продукт состоит из полых частиц размером до 200 нм. При $k = 0,68$ происходит переход: сферические частицы исчезают и появляются графеноподобные частицы сложной (изогнутой) формы толщиной до 20 нм. Дальнейшее увеличение содержания кислорода во взрывоопасной смеси не приводит к значительным изменениям морфологии НДУ.

Литература:

1. Штерцер А.А., Ульяницкий В.Ю., Батраев И.С., Громилов С.А., Окотруб А.В., Сапрыкин А.И. Диагностика структуры и состава ультрадисперсного углерода, полученного детонацией. *J Struct Chem* 2014; 55 (5): 986-989.
2. Штерцер А.А., Ульяницкий В.Ю., Батраев И.С., Рыбин Д.К. Получение наноразмерного детонационного углерода с использованием импульсного газодетонационного устройства. *Tech Phys Lett* 2018; 44 (5): 395-397.
3. Батраев И.С., Васильев А.А., Пинаев А.В., Ульяницкий В.Ю., Штерцер А.А., Лихолобов В.А., Шайтанов А.Г., Суровикин Ю.В., Рыбин Д.К. Способ получения наноуглерода. Патент RU 2641829, 2018.
4. Батраев И.С., Васильев А.А., Ульяницкий В.Ю., Штерцер А.А., Рыбин Д.К. Исследование детонации газов в перебогаченных смесях углеводородов с кислородом. *Combust Explos Shock Waves* 2018; 54 (2): 207–215.
5. Xu Y, Zhang B, Wu S, Liu Y, Suo X, Li H. Enhanced Lubricant Property of Flame-Sprayed Aluminum Coatings Additivated by Reduced Graphene Oxide Nanosheets. *J Therm Spray Tech* 2018; 27(5): 1643–1651.
6. Chakravarty D, Tiwary CS, Woellner CF, Radhakrishnan S, Vinod S, Ozden S, Autreto PAS, Bhowmick S, Asif S, Mani SA, Galvao DS, Ajayan PM. 3D porous graphene by low-temperature plasma welding for bone implants. *Advanced Materials* 2016; 28: 8959-8967.

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА СТРУЕОБРАЗОВАНИЯ

Е.М. Гриф

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, grifkatia@gmail.com**

Анализируются проблемы численных исследований совершенствования кумулятивных зарядов, оцениваемым параметром при которых является глубина пробития преграды. Выделяется необходимый для оценки устойчивости струеобразования параметр рассеивания γ : угол между приведенным вектором скорости головной части струи и осью заряда. Проводится численный расчет функционирования двух конструкций: традиционного кумулятивного заряда с кумулятивной облицовкой конической формы и кумулятивного заряда с кумулятивной облицовкой сложной коническо-кольцевой формы. Определяется влияние среднего размера зерна металла кумулятивной облицовки на упорядоченность процесса. Полученные результаты коррелируют с известными данными: уменьшение размера зерна металла влечет за собой повышение пробивающей способности кумулятивного заряда.

The problems of numerical studies of improving cumulative charges are analyzed, the estimated parameter at which is the penetration depth of the obstacle. The dispersion parameter γ necessary for assessing the stability of jet formation is distinguished: the angle between the reduced velocity vector of the jet head and the axis of the charge. A numerical calculation of the functioning of two structures is carried out: a traditional cumulative charge with a cumulative lining of a conical shape and a cumulative charge with a cumulative lining of a complex conical-ring shape. The influence of the average grain size of the metal of the cumulative lining on the ordering of the process is determined. The obtained results correlate with the known data: a decrease in the grain size of the metal entails an increase in the piercing capacity of the cumulative charge.

Термин «кумуляция» происходит от латинского *cumulare* – «скопление» или *cupulo* – «накапливаю» и дословно означает увеличение или усиление какого-либо эффекта за счет сложения или накопления нескольких однородных с ним эффектов. При обычном взрыве энергия «разбрасывается» во все стороны, при кумулятивном – основная часть ее «собирается» в некотором направлении. Наблюдается кумулятивный эффект при использовании зарядов, на одном из торцов имеющих полость – кумулятивную выемку. При покрытии этой выемки относительно тонким слоем металла и иницировании заряда с другого торца кумулятивный эффект увеличивается в разы.

Впервые явление кумуляции получило широкую известность благодаря применению кумулятивных боеприпасов во время Второй мировой войны. С тех пор средства поражения и боеприпасы, оснащенные кумулятивными боевыми частями, являются неотъемлемой частью арсеналов обороноспособных держав. Однако применение кумулятивного эффекта не ограничивается военным делом. Кумулятивные скважинные перфораторы и кумулятивные труборезы надежно зарекомендовали себя в нефтегазовой промышленности, удлиненные кумулятивные заряды – при промышленной резке, а кумулятивные детонирующие шнуры – при промышленной и подводной, включая утилизацию крупногабаритных металлических конструкций, в т.ч. при авариях.

Что характерно для любого технического устройства, энергия давления продуктов детонации при функционировании кумулятивного заряда (КЗ) расходуется с потерями. С целью минимизации этих потерь научно-техническое сообщество ведет разработки по совершенствованию КЗ в следующих направлениях: оптимизация размеров и формы кумулятивного заряда, формы, геометрии и материала кумулятивной облицовки (КО); повышение качества, энергосодержания, плотности и скорости детонации взрывчатого вещества; установка линзового узла; правильный подбор фокусного расстояния для заряда и повышение точности изготовления деталей заряда и их сборки [1].

Зачастую при численных исследованиях эффективности функционирования КЗ первичным оцениваемым параметром является глубина пробития преграды кумулятивной струей (КС), с которой в дальнейшем связываются такие вторичные параметры, как эффективность, устойчивость процесса струеобразования и т.д.. Несмотря на свою популярность, подобный подход имеет существенные недостатки. Во-первых, он ограничивает исследователя в рамках конкретной задачи: получаемые результаты напрямую зависят от таких нюансов постановки задачи, как особенности описания математической модели окружающей среды, преграды и элементов КЗ, правильности подбора фокусного расстояния КЗ (более того, существует ряд задач, где соблюдение фокусного расстояния невозможно) и т.п. Во-вторых, подобный подход подразумевает выбор расчетных областей большой длины. Так как грамотно подобранный шаг расчетной сетки при моделировании кумуляции составляет порядка 100-250 мкм, большие расчетные области влекут за собой огромные вычислительные затраты.

Выделение оцениваемых параметров в момент формирования КС позволяет минимизировать отмеченные выше недостатки, присущие подходу определения эффективности функционирования КЗ по глубине пробития. Обычно при оценке эффективности струеобразования выделяют параметры длины формируемой струи и скорости движения ее головной части. Однако в первом случае сохраняется проблема ресурсоемкости расчета, а во втором получаемые результаты отдельно не дают сделать наглядных выводов.

Как известно, направленность распределяющейся по струе энергии определяет дальнейшие параметры взаимодействия металла струи с обрабатываемым материалом. Выделяется необходимый для оценки устойчивости струеобразования параметр рассеивания γ : угол между приведенным вектором скорости головной части струи и осью заряда. Схема оценки упорядоченности струеобразования приведена на рис. 1:



Рис. 1 – Схема оценки упорядоченности струеобразования

Очевидно, что в идеальном случае приведенный вектор скорости головной части струи совпадает с направлением оси заряда. Однако на практике наблюдается большее или меньшее рассеивание энергии КС за счет хаотичного движения металла при деформации, на что имеется ряд причин.

Одна из них – влияние микроструктуры металла КО. По методике, описанной выше, проведены численные исследования влияния среднего размера зерна металла КО на упорядоченность струеобразования в среде моделирования Ansys Autodyn при учете допущения, что размер ячейки расчетной сетки эквивалентен размеру зерна металла. Рассчитано функционирование двух конструкций: традиционного КЗ с КО конической формы и КЗ с КО сложной коническо-кольцевой формы [2, 3].

Для каждого из видов конструкций проведено, в свою очередь, по три расчета: с шагами расчетной сетки – средним размером зерна металла КО – 500 мкм, 250 мкм и 125 мкм. Для традиционного КЗ с КО конической формы при уменьшении размера зерна параметр γ составил, соответственно, $\gamma(500) = 0,8^\circ$, $\gamma(250) = 0,2^\circ$, $\gamma(125) = 0^\circ$. Для КЗ с КО сложной коническо-кольцевой формы проведены численные исследования упорядоченности образования формирующейся из кольцевой части облицовки кольцевой КС. Так как заряд не оснащен специальными приспособлениями, предназначенными для эффективного обжатия кольцевой кумулятивной облицовки [4], в данном случае струеобразование протекает неустойчиво: $\gamma(500) = 12^\circ$, $\gamma(250) = 5^\circ$, $\gamma(125) = 1^\circ$. Однако известная закономерность связи размера зерна металла и эффективности процесса образования КС соблюдается: при уменьшении размера ячейки расчетной сетки параметр γ также уменьшается.

Подводя итоги, стоит сказать, что при проведении численных исследований совершенствования КЗ отказ от традиционного пути оценки пробивающей способности КЗ и выделение оцениваемых параметров в момент формирования КС позволяет как минимизировать ресурсоемкость расчета за счет уменьшения размеров расчетных областей, так и избежать влияния нюансов постановки задачи, в т.ч. математических моделей материалов, на получаемые результаты. Примером применения подобного подхода является определение влияния среднего размера зерна металла КО на упорядоченность струеобразования. При уменьшении размера стороны ячейки расчетной сетки в 4 раза (с 500 мкм до 125 мкм) для традиционного КЗ с КО конической формы и КЗ с КО сложной коническо-кольцевой формы произошло повышение упорядоченности процесса струеобразования с $\gamma(500) = 0,8^\circ$ до $\gamma(125) = 0^\circ$ и с $\gamma(500) = 12^\circ$ до $\gamma(125) = 1^\circ$ соответственно. Полученные результаты коррелируют с известными данными: уменьшение размера зерна металла влечет за собой повышение пробивающей способности КЗ.

Литература:

1. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 656 с. – ISBN 5-9221-0220-6

2. Гриф Е. М. Актуальные аспекты современной кумулятивной скважинной перфорации = Actual aspects of modern cumulative borehole perforation / Е. М. Гриф, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 20 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 17–19 апр. 2019 г. В 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2019. – Т. 2. – С. 71–74. - 55 экз. - ISBN 978-5-7782-3899-2, 978-5-7782-3897-8.

3. Перспективы развития кумулятивной скважинной перфорации / Е. М. Гриф, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка // Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2018 : 14 междунар. науч. конгр. Наука. Оборона. Безопасность–2018 : сб. материалов междунар. науч. конф., Новосибирск, 23–27 апр. 2018 г. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 77–83. - 100 экз.

4. Патент 2478904С1 Россия. МПК [F42B1/02](#) (Авторы Маляров Д.В., Жданов И.В., Тарасов И.Б.)

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ПОРОШКА YSZ/MoSi₂ НА ТЕРМОСТОЙКОСТЬ СПЕЧЕННОГО ИЗ НЕГО КОМПОЗИТА

М.А. Есиков^{1,2}, А. К. Абдразаков², А.Ю. Ларичкин¹
Институт Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН¹
Новосибирский государственный технический университет²
г. Новосибирск, esmax@ya.ru

В работе исследовано влияние высокотемпературного воздействия на композиты YSZ/MoSi₂ полученные методом искрового плазменного спекания. Образцы, полученные из механически активированных порошков, полностью разрушились при высокотемпературном отжиге, а образцы из порошков, смешанных вручную - сохранились.

The effect of high-temperature action on YSZ / MoSi₂ composites obtained by spark plasma sintering was studied. Samples sintered from a mechanically activated YSZ nanopowder with additions of 5% and 10% MoSi₂ are scattered as a result of annealing. Samples from the same compositions, mixed manually, did not collapse and have no external defects

Жаростойкие покрытия создают с целью сохранения прочностных и эксплуатационных характеристик функциональных и конструкционных материалов в условиях высоких температур.

Эффективность теплозащитных покрытий заключается в стабильности механических характеристик – прочности и жесткости. Конструктивные элементы с покрытиями выходят из строя из-за механического разрушения защитного слоя, часто вызванного термическим напряжениями. Исследование физико-механических свойств является основой

оценки для выбора метода нанесения покрытия. Способ нанесения покрытия и его состав является решающими факторами для его стойкости к внешним воздействиям. [1]

Материалы на основе оксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, широко используются в качестве теплозащитных покрытий (ТЗП) благодаря уникальной комбинации жаростойкости и механических свойств. Исследования показывают, что свойства ТЗП могут быть улучшены добавлением агентов самозалечивания, таких как MoSi_2 [2]. Благодаря наличию MoSi_2 , покрытия обладают способностью самозалечивания микротрещин, что увеличивает срок службы ТЗП.

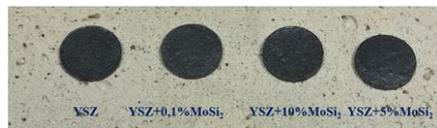
Методом искрового плазменного спекания получены композиты на основе нано и микропорошков диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия (YSZ), с различным содержанием дисилицида молибдена (MoSi_2).

В экспериментах использовались коммерческие микро- и нанопорошки 8YSZ ($\text{ZrO}_2\text{-}8\text{Y}_2\text{O}_3$) (Hongwu Co., Ltd., Китай). Микропорошок MoSi_2 был синтезирован из смеси молибденовых и кремниевых порошков методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

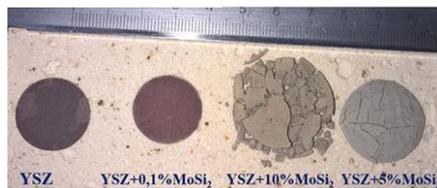
Порошки механически измельчали в воздушной среде с использованием планетарной шаровой мельницы АГО-2 в течение 3 минут. Консолидированные образцы в виде таблеток диаметром 20 мм получали с использованием установки Spark Plasma Sintering LABOX-1575 (Sinterland Inc., Япония). Так же были подготовлены порошки, смешанные ручным способом.

Режимы спекания варьировались от 1050 до 1400 градусов С при одинаковом давлении 50 МПа. При температуре спекания в 1050 С обнаружена худшая спекаемость порошков с добавками MoSi_2 , чем без них, плотность образца с добавками получается на 10% ниже, чем чистого YSZ. При температурах спекания в 1100 градусов и выше такого выраженного эффекта уже не наблюдается.

Полученные образцы отжигали в муфельной печи в комнатном воздухе при 1000 С, с выдержкой в течение 1 часа. Образцы, спеченные из механо-активированного нанопорошка YSZ с добавками 5% и 10% MoSi_2 рассыпаются в результате отжига (рис 1). При этом образцы из тех же составов, смешанных вручную сохранились после отжига и не имеют внешних дефектов.



Образцы после спекания в SPS при 1100 С и давлении 50 Мпа



Образцы после отжига на воздухе при 1000 С в течение 1 часа

Рис. 1. – Фотографии спеченных образцов из механо-активированных смесей $YSZ/MoSi_2$ до(сверху) и после отжига(снизу).

Интенсивное перемешивание приводит к измельчению частиц и создает равномерное распределение частиц $MoSi_2$, в результате увеличивается площадь контакта между основным материалом и добавкой, и при отжиге реакция между окисленным силицидом молибдена и оксидом циркония идет интенсивно и практически по всему объему материала, создавая повсеместные расслоения, трещины, приводящие к разрушению таблетки. При ручном смешивании, частицы остаются крупными, распределение не такое равномерное как при механическом смешивании, и реакция локализуется вокруг них, возможно вокруг крупной частицы создается собственный диффузионный барьер из продукта реакции - циркона и оксида кремния. Микрофотографии изломов образцов после отжига показаны на рис. 2.

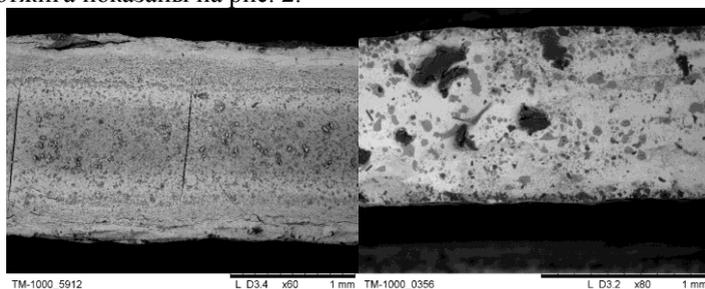


Рис. 2. – Микрофотография излома разрушенного после отжига образца из механо-активированной смеси (слева), излома сохранившегося образца из ручной смеси порошков YSZ и $MoSi_2$ (справа).

Исходя из этого можно предположить, что при определенной концентрации и размере частиц $MoSi_2$ можно получить композит со свой-

ством самозалечивания трещин, и без предварительной защиты частицы дисилицида молибдена от преждевременного взаимодействия с оксидом циркония диффузионным барьером, например, из оксида алюминия. Поиск и проверка работоспособности такой структуры может быть предметом дальнейших исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00713.

Литература:

1. Методы высокотемпературных механических испытаний неорганических жаростойких покрытий / Г.С.Писаренко, Б.А.Ляшенко, Ю.И.Козуб и др. В кн.: Температуроустойчивые защитные покрытия. - Л.: Наука, 1968, с.50-61.

2. Z. Derelioglu, A.L. Carabat, G.M. Song, S. van der Zwaag, W.G. Sloof. On the use of B-alloyed MoSi₂ particles as crack healing agents in yttria stabilized zirconia thermal barrier coatings // Journal of the European Ceramic Society. 35 (2015) 4507-4511, ISSN 0955-2219.

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОСЛОЙНОГО КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ НА ПОДЛОЖКЕ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ (SPS)

М.А. Есиков

**Институт Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, esmax@ya.ru**

Получены образцы покрытий из нанопорошка YSZ на подложке из жаропрочного никелевого сплава с адгезивным подслоем и исследована их микроструктура. Рассматривается проблема получения тонких слоев на подложках методом искрового плазменного спекания.

Coating samples were obtained from YSZ nanopowder on a substrate of heat-resistant nickel alloy with an adhesive sublayer, and their microstructure was studied. The problem of obtaining thin layers on substrates by the method of spark plasma sintering is considered.

Метод искрового плазменного спекания[1] позволяет эффективно спекать порошковые материалы до высоких плотностей. В отличие от обычного горячего прессования процесс спекания занимает несколько минут, при этом сохраняется исходная структура с характерным размером частиц порошка, а получаемые образцы обладают повышенными физическими свойствами.

В настоящей работе рассматривается метод получения покрытия на подложке в установке искрового плазменного спекания. Несмотря на технологическую непригодность для получения покрытий на больших площадях, метод представляется наиболее простым, безопасным и экономичным для получения модельных образцов материалов для исследований. Проблемой получения покрытия прессованием является необходимость равномерного предварительного нанесения тонкого слоя порошка на подложку, тогда как для относительно толстых слоев существуют технологические установки для предварительного распределения порошкового материала. Сухой порошок, тем более керамический не обладает какой-либо значимой растекаемостью, чтобы в процессе прессования или нагрева он мог равномерно распределиться по поверхности. Для решения проблемы предлагается способ, заключающийся в смачивании порошка в жидкости, например, в спирте. Таким образом создаются условия для текучести, позволяющие порошку приобретать требуемую форму.

В эксперименте использовали коммерческий нанопорошок 8YSZ ($ZrO_2-8Y_2O_3$) (Hongwu Co., Ltd., Китай). В качестве материала адгезивного подслоя взяли порошок марки ПВ-НХ16Ю6ИТ (АО «Полема», г. Тула). Материал подложки – жаропрочная сталь ХН60ВТ с рабочей температурой до 1100 С.

Подложку диаметром 20 мм и толщиной 2 мм размещали в графитовой пресс-форме. Порошок для подслоя и нанопорошок YSZ с расчетной толщиной около 100 мкм каждый, по очереди засыпали в пресс-форму, смачивая этиловым спиртом, и выравнивали вручную, прижимая пуансоном. Затем пресс-форму размещали в установку искрового плазменного спекания LABOX-1575 и производили спекание.

Режим спекания предварительно отработывался при получении чистых образцов из нанопорошка YSZ. В результате получали таблетку YSZ (рис. 1) после спекания при температуре в 1100 С и давлении 40 Мпа с плотностью около 5 г/см^3 , что составляет 83% от теоретической. Такая плотность является характерной для теплозащитных покрытий из данного материала и обуславливает пониженную теплопроводность слоя.



Рис. 1. – Таблетка YSZ(слева), и покрытие YSZ на подложке (справа)

Спекание покрытия проводили по аналогичному режиму с увеличенным временем выдержки и охлаждения до 30 минут, чтобы избежать растрескивания керамического слоя из-за внутренних напряжений.

Полученную таблетку с покрытием (рис. 1.) разрезали алмазным диском, поперечное сечение шлифовали для исследования микроструктуры. Микрофотография поперечного сечения различных участков покрытия представлена на рис. 2.

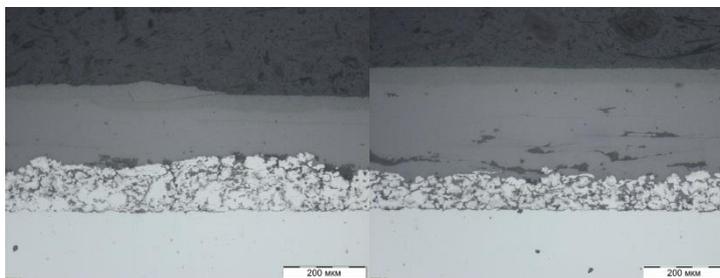


Рис. 2 – микрофотографии поперечного сечения покрытия YSZ/NiCrAlY

При попытках получить покрытие из сухого порошка происходило растрескивание покрытия, независимо от времени выдержки. Это связано с практической невозможностью обеспечить равномерность засыпки порошка в столь тонком слое. Добавление спирта в композицию позволило получить целый образец. Как видно, на внешней стороне покрытия имеются визуальные неоднородности, есть сколы в краевой зоне, но центральная зона получилась относительно ровной. На микрофотографиях структура керамического слоя представляется однородной, но подслоя состоит из выраженных агломератов, разделенных прослойками попавшего в этот слой частиц нанопорошка YSZ. Наночастицы легко проникают в межчастичное пространство микронного порошка подслоя, возможно сильное предварительное подпрессовывание избавит от этой проблемы, либо формировать слои порошков нужно отдельными операциями спекания.

Получение слоистых покрытий из микропорошков за одну операцию спекания методом SPS уже проводилось ранее[2], но в нашем случае используется нанопорошок, из-за чего происходит эффект глубокого внедрения наночастиц с межчастичное пространство подслоя, что усложняет возможность одновременного спекания нескольких слоев за раз.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00713.

Литература:

1. Field-Assisted Sintering Technology / Spark Plasma Sintering: Mechanisms, Materials, and Technology Developments" // O. Guillon et al./ Advanced Engineering Materials 2014, DOI: 10.1002/adem.201300409
2. F. Nozahic, C. Estournès, A. L. Carabat, W. G. Sloof, S. vander Zwaag, D. Monceau / Self-healing thermal barrier coating systems fabricated by spark plasma sintering // Mater.Des.143(2018)204–213

К ВОПРОСАМ ПОВЫШЕНИЯ ФУГАСНОГО ДЕЙСТВИЯ.

И.И. Жаровцев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zharovcevigor@mail.ru**

В данной статье приводится история развития конструкций боеприпасов, предназначенных для повышения фугасного действия. Объясняются особенности взрыва в грунте, способы применения подземных взрывов в тактических целях. Приводятся современные решения, направленные на повышение фугасного действия боеприпасов. Сформулированы перспективы развития конструкций повышения фугасного действия.

This article provides a history of the development of ammunition designs designed to increase explosive action. Explains the features of the explosion in the ground, methods of using underground explosions for tactical purposes. Presented are modern solutions aimed at increasing the high-explosive action of ammunition. Formulated are the prospects for the development of high explosive enhancement structures.

История развития конструкций боеприпасов, предназначенных для повышения фугасного действия.

Оскольно-фугасный снаряд обладает широким спектром решаемых задач. Это обусловлено неразделимым наличием осколочного и фугасного действия. Под фугасным действием понимают воздействие на цель продуктами взрыва с возникающей ударной волной. Осколочным действием называется поражение цели осколками, образующимися в результате дробления корпуса.

К фугасным снарядам относят те снаряды, которые при помощи конструктивных характеристик обладают более выраженным фугасным действием. К конструктивным характеристикам повышения фугасного действия снаряда относят коэффициент наполнения, форму снаряда, относительный вес заряда, толщину стенки корпуса.

Некоторые боеприпасы, обладающие конструктивным характеристиками для повышения фугасного действия, указаны в книге [1].

Артиллерийские фугасные снаряды Ф-625, Ф-625Д, Ф-643. В боеприпасах реализуются наиболее эффективные изменения коэффициента

наполнения, относительного веса заряда, а также толщины стенки снаряда для повышения фугасного действия. [7] Конструкционные характеристики данных снарядов возможно улучшать, однако простота конструкции имеет ограниченный ресурс по повышению фугасного действия.

Реактивный снаряд, в силу отсутствия высоких перегрузок, имеет более высокий коэффициент наполнения. Корпус реактивных снарядов изготавливается методом раскатки и вытяжки из стального листа, что позволяет сделать толщину корпуса минимальной.

Для поражения подземных целей корпус боевой части ракеты необходимо упрочнять, что приводит к снижению коэффициента наполнения, а в следствии снижению фугасного действия боеприпаса. Боеголовка заглубляющегося типа используется для того, чтобы убрать необходимость упрочнять корпус боевой части за счёт введения особой конструктивной формы.

Особенности взрыва в грунте. [2]

Взрыв в грунте может сопровождаться двумя результатами:

1. Выброс грунта с образованием воронок.
2. Образование камуфлета.

Под камуфлетом понимается разрыв артиллерийского снаряда под землёй без выброса грунта. Для выбора того или иного результат в осколочно-фугасных снарядах применяют взрыватели мгновенного, замедленного, инерционного типа. [6]

Камуфлеты могут использоваться для скрытного минирования взлётно-посадочных полос, для разрушения подземных строений, бункеров, тоннелей, окопов.

Современные решения, направленные на повышения фугасного действия средств поражения и боеприпасов.

Комбинированная боевая часть на основе взрывомагнитных генераторов СВЧ-излучения [4] (Рисунок 1) содержит боевую часть с установленным дополнительным кумулятивным зарядом и обмотками соленоидов для более эффективной инициации взрывчатого вещества.

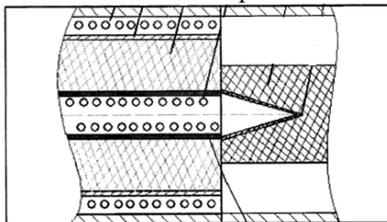


Рис.1 - Комбинированная боевая часть на основе взрывомагнитных генераторов СВЧ-излучения

Особая конструкция позволяет более эффективно использовать взрывчатое вещество, тем самым повышает фугасное действие боеприпаса.

Кафедра ГДУ НГТУ предложила полезную модель "Осколочно-фугасной боеголовки"[6]. (Рисунок 2)

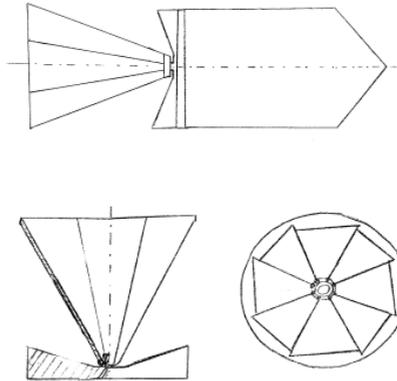


Рис. 2 – "Осколочно-фугасная боеголовка"

Данная полезная модель включает в себя боевую часть, отличающуюся тем, что к донному срезу при помощи устройства отделения присоединен блок забойки. Конструкция блока забойки организована таким образом, чтобы оказавшись в отверстии, создаваемом боевой частью в грунте, сумела раскрыться и зафиксироваться в грунте, препятствуя вылету наружу продуктов взрыва, подобно пробке, закрывающей горлышко бутылки. Блок забойки состоит из устройства присоединения и пластин, соединенных в виде диафрагмы. Расположение пластин в виде диафрагмы позволяет наиболее герметично закупорить входное отверстие, исключив потери давления на вылет продуктов взрывчатого превращения.

За счёт данной конструкции повышается фугасное действие боеприпаса по подземным целям. Закрыв путь выхода продуктов взрыва, мы обеспечиваем таким образом повышение скрытности постановки камуфлетов на территории противника, а также затрудняем ему поиск создаваемых камуфлетов.

Перспективы развития конструкций, предназначенных для повышения фугасного действия средств поражения и боеприпасов.

Положения армий иностранных государств [3] утверждают, что инженерное обеспечение является важнейшим видом боевой деятельности войск. Инженерное обеспечение занимается рядом задач, одна из кото-

рых скрытная дистанционная постановка камуфлетов. Скрытная дистанционная постановка камуфлетов позволяет обеспечить эффективное поражение войск противника, а также способствует задержке продвижения и срыву планов противника по своевременному наращиванию сил. В качестве средств постановки камуфлетов используются инженерные мины, кассетные боеприпасы, артиллерийские фугасные снаряды.

В качестве перспектив развития конструкций повышения фугасного действия боеприпаса, предлагается обратить внимание на возможность совместить конструкцию предлагаемой "Осколочно-фугасной боеголовки" с конструкцией хвостого оперения ракет РСЗО для возможности интегрировать данную полезную модель с ныне действующими боеприпасами.

Также стоит отметить необходимость обратиться к знаниям геодезии в сфере шпуровых забоек с целью перенять опыт и воплотить их в сфере боеприпасов.

Литература:

1. Бабкин А. В., Велданов В. А., Грязнов Е. Ф. и др.; Под общ. ред. В. В. Селиванова, Средства поражения и боеприпасы: Учебник . – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 984с.: ил.
2. Балаганский И. А., Мержиевский Л. А., Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. - Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2004 - 408с.
3. Р. Р. Ахметов, Инженерные войска иностранных армий: учебное пособие. - Омск: СибАДИ, 2011 - 102с.
4. Патент RU 191 879 U1 Российская федерация. Комбинированная боевая часть на основе взрывомагнитных генераторов СВЧ-излучения / Козлов В.В Зонтова Т.В. Голубцов Д.Л. Севрюков И.Т. Селиванов В.В. Чуприн А.И.; заявл. 17.06.2019; опубл. 26.08.2019 Бюл. № 24.
5. Патент [RU 192 887 U1](#) Российская федерация. Осколочно-фугасная боеголовка / Жаровцев И.И., Милевский К.Е., Гуськов А.В.; заявл. 19.06.2019; опубл. [04.10.2019](#) Бюл. № [28](#).
6. Андреев В. В., Гуськов А. В., Милевский К. Е., Эксплозивные вещества : учебное пособие. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – 342 с.
7. Патент RU 183 995 U1 Российская федерация. Осколочно-фугасный снаряд / Гуськов А.В., Милевский К.Е., Иванников Н.С.; заявл. 13.06.2018; опубл. [10.10.2018](#) Бюл. № [28](#).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА МЕТАЛЛОВ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КУМУЛЯТИВНОЙ СТРУЕ

К.М. Зубашевский^{1,2}, В.В. Пай², Г.А. Швецов^{1,2}

¹ – Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск,

² – Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН,
г. Новосибирск, zubaschewsky@yandex.ru

Работа посвящена определению температуры границы раздела металлов в биметаллической кумулятивной струе, полученной из конической облицовки. Описана методика измерения термомпарным методом. Полученная температура равна 850 °С.

The paper is devoted to determining the temperature of the metal interface in a bimetallic shape charge obtained from a conical cladding. The technique of measurement by thermocouple method is described. The resulting temperature is 850 C.

При проведении экспериментов по изучению кумулятивного эффекта [1] обнаружена неустойчивость образования струи и песта, заключающаяся в наличии складок вдоль оси струи, вплоть до пустоты в песте. Однако численное моделирование не выявляет наличие такого явления. Отсюда возникает необходимость более подробного изучения термодинамического состояния кумулятивной струи с целью объяснить наблюдаемый эффект и расширить теорию кумулятивной струи. Начать исследование рационально с температуры.

В работах [2; 3] описывается проведение экспериментов по прямому измерению температуры кумулятивной струи с помощью двух инфракрасных радиометров. Сама температура струи определялась по отношению сигналов радиометров.

Температура струи, полученная при измерении данным методом, обычно составляла 400-500°С, однако наблюдались случаи, когда зарегистрированные температуры составляли 800°С и более, а в одном эксперименте зафиксирована температура около 7000°С. И хотя авторы не смогли найти объяснение результатам, а достоверность их измерений основана на предварительных измерениях остаточных температур медных пластин после нагружения их мощной ударной волной, они заключают, что кумулятивная струя по своему фазовому строению является твердой, так как средняя температура струи значительно ниже температуры плавления меди.

В настоящей работе определение температуры струи проводилось с использованием двух металлов – меди и константана термомпарным методом, предложенным авторами [4]. Использование константана обу-

словлено схожей с медью вязкостью. Кроме того, константан имеет ярко выраженный визуальный контраст с медью, что позволяет делать наглядные микрошлифы для изучения структуры песта и струи.

Схема экспериментальной установки следующая (Рисунок 1): коническая облицовка, состоящая из медных конусов 4 и константанового конуса 3, соединенного с медным методом сварки взрывом, заряд ВВ 2, детонатор 1, а также константановая мишень 3.

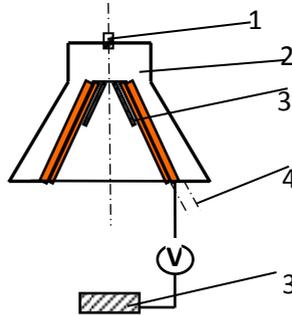


Рис. 1: 1 – детонатор, 2 – заряд ВВ, 3 – константан, 4 – медный конус.

При срабатывании установки образующаяся кумулятивная струя взаимодействует с мишенью, образуя термопару, горячим спаем которой является граница медь-константан в самой струе, а холодный спай (медь-константан в соединении мишени с проводником) находится при комнатной температуре. Этой термопарой и снимается сигнал, соответствующий некоторой средней температуре по границе раздела металлов. Эта температура, в свою очередь, несет информацию о температуре в самой струе.

Оптимальная толщина константанового слоя в облицовке определена экспериментально. Главный критерий оптимизации – головная часть струи должна состоять из константана и не содержать меди, в противном случае результаты измерения будут искажены из-за деформированной границы металлов.

Для устранения меди из кумулятивной струи было предложено увеличить толщину константанового слоя облицовки с 200 мкм до 500 мкм. На рис 3. показаны микрошлифы пестов с разными толщинами константанового слоя – 200 мкм (Рисунок 2а) и 500 мкм (Рисунок 2б). На микрошлифах отчетливо видны медные включения при толщине константана 200 мкм. При толщине же 500 мкм такие включения практически отсутствуют, за исключением некоторой области на границе раздела, размерами которой в данном эксперименте можно пренебречь.

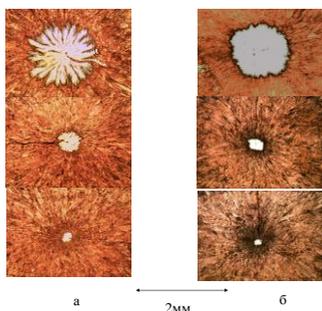


Рис. 2. Микрошлифы: а – 200 мкм слой константана, б – 500 мкм слой константана.

Точка 1 на графике (Рисунок 3) – момент столкновения константановой струи с константановой мишенью. Далее следует участок с напряжением около 50 мВ, соответствующим температуре 850 °С. Точка 2 – момент пробивания мишени струей и начало ее разрушения.

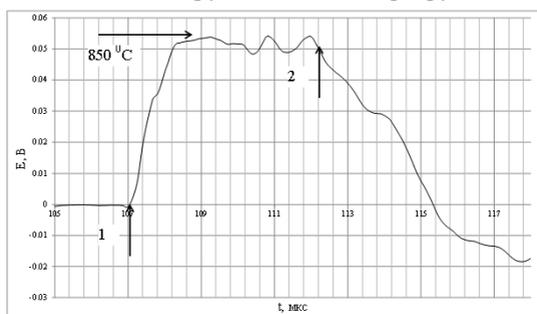


Рис. 3. Осциллограмма: 1—момент столкновения струи с мишенью, 2 – момент пробивания мишени.

Результатом настоящей работы стало определение температуры границы константана и меди в кумулятивной струе, полученной из конической оболочки -- 850 °С. Исходя из этой температуры и применив теоретический аппарат, можно вычислить температуры самих металлов в струе, что и будет являться продолжением данной работы.

Литература:

1. Исследование неустойчивости конической облицовки в процессе формирования кумулятивной струи / Пай В. В., Титов В. М., Лукьяненко Я. Л., Пластинин А. В. // Физика горения и взрыва. – 2019. - №4. - С. 69-73.

2. Von Holle W. G., Trimble J. J. Temperature measurement of shock cooper plates and shaped charge jets by two-color radiometry // J. of Appl. Phys. – 1976. - v. 47, №6. – pp. 2391-2394.
3. Von Holle W. G., Trimble J. J. Shaped charge temperature measurement // 6th Int. Symp. On detonation. - 1976.
4. Пай В. В., Кузьмин Г. Е. Экспериментальное определение температуры металлической струи// Физика горения и взрыва. - 1994. - Т. 30, №3. - С. 92-95.

ПОВЫШЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ОСКОЛКОВ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСКОЛОЧНОГО ПОЛЯ ОСКОЛОЧНО-ФУГАСНОГО СНАРЯДА

Н.С. Иванников, К.Е. Милевский
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, n1kiavnn@yandex.ru

В статье изложены методы повышения эффективности осколочного поля и мощества осколочно-фугасного снаряда естественного дробления: изменение точки инициирования взрывчатого вещества осколочно-фугасного снаряда. Предложена конструктивная особенность, позволяющая увеличить результативность действия осколочного поля, посредством внедрения более плотных участков взрывчатого вещества. При работе данной конструкции детонационный фронт взрывчатого вещества закручивается относительно оси осколочно-фугасного снаряда. Скомпоновав данные изменения в работе снаряда, увеличивается начальная скорость и направление осколков снаряда.

The article describes the methods of improving the efficiency of the fragmentation field and the power of high-explosive projectile of natural crushing: changing the point of initiation of explosive high-explosive projectile. A design feature that allows to increase the effectiveness of the fragmentation field through the introduction of denser areas of explosive is proposed. In this design, the detonation front of the explosive is twisted about the axis of the high-explosive projectile. By combining these changes in the operation of the projectile, increases the initial speed and direction of the shell fragments.

Одними из основных тактико-техническими характеристиками осколочно-фугасного снаряда (ОФС), являются параметры осколочного и фугасного действия. Цель данной работы обосновать повышение параметров осколочного поля при изменении места инициирования взрывчатого вещества (ВВ), а также при изменении запрессовки ВВ ОФС естественного дробления.

Рассмотрим типичный случай: детонация с головной части (рис. 1, а) [1]. Детонационная волна перемещается от головной части к донной, по

мере детонации ВВ корпус снаряда деформируется и обеспечивает создание давления продуктами детонации в закрытом объеме. Но ВВ в полном объеме не задействуется, т.к. после достижения определённой деформации корпуса, его головная часть раскрывается. Известен способ [2] повышения эффективности осколочного поля и могущества ОФС, используемый в конструкции предлагаемого ОФС - это размещение точки инициирования в донной части ОФС (рис. 1, б). В таком случае, детонационная волна начинает идти с донной части к головной. Т.к. стенки корпуса в донной части толще, чем в головной, то корпус способен сдерживать большее давление продуктов детонации и увеличить время нарастания объема продуктов детонации. По мере продвижения детонационной волны к головной части, стенки корпуса становятся тоньше, к которым требуется приложить меньшую нагрузку для разрушения. Т.о., если произойдет сброс давления продуктов детонации, то накопленного давления будет достаточно для разрушения головной части. Также необходимо учесть то, что в случае детонации ВВ с донной части полученная детонационная волна станет сонаправлена с движением снаряда.

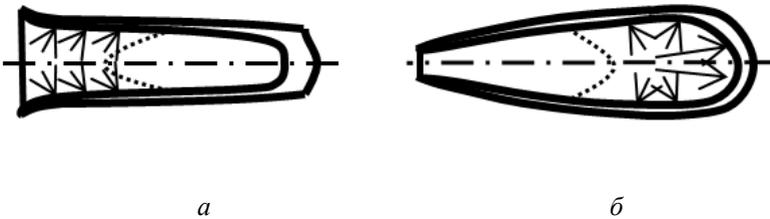


Рис. 1. Процесс расширения оболочки с направлениями давления продуктов детонации

Применив изложенный выше способ инициирования ВВ в ОФС, можно добиться увеличения эффективности осколочного поля и могущества ОФС. В связи с тем, что подавляющее большинство ОФС используется в нарезной артиллерии, то в данной работе предлагается использовать вращательную составляющую движения снаряда, посредством закручивания детонационной волны с направлением движения снаряда за счёт изменения запрессовки ВВ [3]. Предлагается запрессовка ВВ наиболее отдалённой от оси снаряда по переменному закону, а точнее винтовой линии, а близкий к оси заряд оставить неизменным.

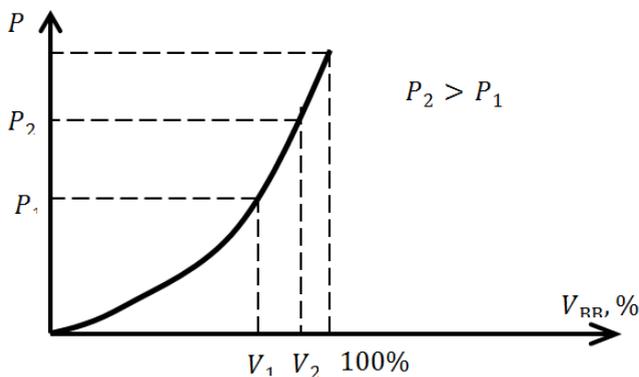


Рис. 2. Зависимость давления заряда продуктов детонации от объёма ВВ

Таким образом, размещая точку инициирования ВВ в донной части корпус способен выдержать большее давление продуктов детонации и деформироваться на большую величину, нежели при размещении точки инициирования в головной части. Это означает то, что при детонации с головной части ВВ задействовано в детонации в большем объёме (V_2), чем при детонации с головной части (V_1). Исходя из графика кривой давления (рис. 2) можно добиться накопления большего давления в корпусе (P_2), нежели при размещении точки инициирования в головной части (P_1) за счёт увеличения объёма задействованного ВВ. Также из-за того, что деформации корпуса стали больше, это приводит к тому, что поверхность оболочки, из которой формируются осколки, также увеличивается. В таком случае количество осколков становится больше, но и угол рассеивания также увеличивается, что не позволяет сказать однозначно о плотности осколочного поля. Данное наблюдение предполагается проверить численным моделированием разрушения корпуса снаряда предлагаемой конструкции.

Рассмотрим разложение вектора начальной скорости осколка в классическом случае детонации и в усовершенствованном (рис. 3). Вектор начальной скорости осколка получается сложением векторов:

$$\vec{V}_{\text{оск.}}^{a1} = \vec{V}_{\text{ин.пост.}} + \vec{V}_{\text{ин.вращ.}} + \vec{V}_{P \text{ пр.дет.}}$$

где

$\vec{V}_{\text{оск.}}^{a1}$ – начальная абсолютная скорость осколка

$\bar{V}_{\text{ин.пост.}}$ – компонента начальной скорости осколка от сил инерции поступательного движения снаряда

$\bar{V}_{\text{ин.вращ.}}$ – компонента начальной скорости осколка от сил инерции вращательного движения снаряда

$\bar{V}_{P \text{ пр.дет.}}$ – компонента начальной скорости осколка, возникающее от давления продуктов детонации.

Т.к. давление в корпусе станет больше, а детонационный фронт сонаправлен с вращением снаряда, начальная скорость осколка получится сложением векторов:

$$\bar{V}_{\text{оск.}}^{a2} = \bar{V}_{\text{ин.пост.}} + \bar{V}_{\text{ин.вращ.}} + \bar{V}_{\omega \text{ д.вол.}} + \bar{V}_{P \text{ пр.дет.}} + \bar{V}_{P+\Delta P \text{ пр.дет.}}$$

где

$\bar{V}_{\omega \text{ д.вол.}}$ – компонента начальной скорости осколка от вращательного движения детонационного фронта

$\bar{V}_{P+\Delta P \text{ пр.дет.}}$ – компонента начальной скорости осколка, полученная из-за увеличенного давления продуктов детонации в корпусе снаряда

Как видно из рис. 3 полученный вектор начальной скорости становится ближе к плоскости перпендикулярной к оси поступательного движения снаряда и модуль этого вектора станет больше. [4]

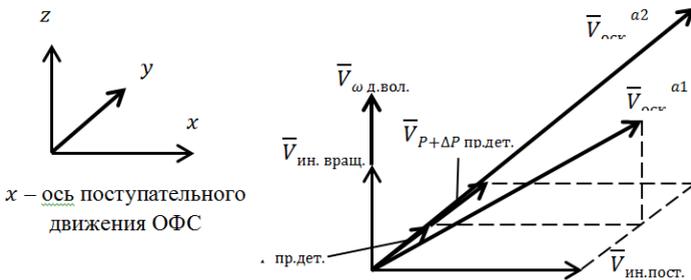


Рис. 3. Разложение вектора скорости осколка при традиционном и усовершенствовано способе детонации ВВ

Литература:

1. Средства поражения и боеприпасы: Учебник / А. В. Бабкин, В. А. Велданов, Е. Ф. Грязнов и др.; Под общ. ред. В. В. Селиванова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 984 с.: ил.

2. Патент 174313, МКИ 6 [F42B12/20](#) Российская Федерация. Осколко-фугасный снаряд / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, А.К. Абдразаков - № 2017121684; заявл. 2017-06-20; опубл. 2017-10-11, Бюл. №29 – 4 с.: ил.

3. Патент 183955, МКИ 6 [F42B12/20](#) Российская Федерация. Осколочно-фугасный снаряд / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, Н.С. Иванников - № 2018121884; заявл. 2018-06-13; опубл. 2018-10-10, Бюл. №28 – 4 с.: ил.

4. Иванников Н. С. Повышение эффективности осколочного поля осколочно-фугасного снаряда / Н. С. Иванников, К. Е. Милевский // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч., Новосибирск, 3–7 дек. 2018 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 9. – С. 99–103. – 100 экз

СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ИСПЫТАНИЕМ НА РАЗРЫВ КОЛЬЦЕВЫХ ОБРАЗЦОВ

А.А. Квашнёв

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kvashnyov.2015@stud.nstu.ru**

В данной статье рассматривается необходимость проведения разнообразных лабораторных работ для студентов, обучающихся на инженерных специальностях. Также предложен вариант проведения лабораторной работы для определения механических свойств изделий испытанием на разрыв образца.

This article discusses the need for a variety of laboratory work for students enrolled in engineering specialties. Also, a variant of laboratory work for determining the mechanical properties of products by a test for the rupture of the sample is proposed.

Основной отличительной чертой инженерного образования является наличие обширной практической базы знаний. Любой инженер технической специальности обязан иметь в своём арсенале багаж из большого количества теоретических методов, подкреплённых выполнением практических задач. Одним из средств пополнения такого багажа знаний, являются лабораторные работы, которые выполняют студенты на протяжении своего обучения. В данной статье, рассматривается возможность создания нового лабораторного комплекса для студентов четвертых и пятых курсов, обучающихся на специальности «боеприпасы и взрыватели».

Определение механических свойств изделий испытанием на разрыв кольцевых образцов может быть полезно будущим инженерам технологам в сфере оборонной промышленности, для испытания, например, ведущих поясков артиллерийских снарядов, т.к. при выстреле, ведущий

поясок находится в состоянии сложного нагружения, и было бы легче, быстрее и удобнее изучать механические свойства уже готовых изделий.

Испытание кольцевых образцов на разрыв состоит в том, что кольцо, вырезанное из изделия, или само кольцевое изделие не разрезается с последующим разгибом, как это принято по существующим техническим условиям [1], а непосредственно подвергаются испытанию.

Испытание кольцевого образца, проводится на специальном реверсоре (рисунок 1) с помощью двух цилиндрических плашек. Реверсор – механическое устройство, которым оснащают испытательную машину для изменения нагружения растяжением на нагружение сжатием [2]. Метод испытания кольцевых образцов, по сравнению с испытанием плоских образцов, имеет ряд преимуществ:

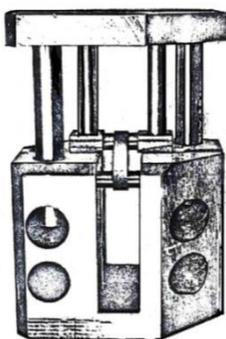


Рис.1 – Реверсор для испытаний кольцевых образцов на разрыв

1. Способствует равномерному спрямлению и растяжению стенок образца, что обеспечивает получение стабильных и достоверных характеристик механических свойств;
2. Не требует предварительного изготовления плоских образцов
3. Позволяет определять механические свойства изделия малого размера и сложной формы, для которых изготовление плоских образцов является невозможным или нецелесообразным.
4. Установка образцов в реверсор является несложной, а их фиксация – надёжной
5. Испытание кольцевых образцов позволяет определить не только предел прочности и общее удлинение, но и другие важнейшие характеристики механических свойств.[3]

Таким образом, студент пополнит свой арсенал ещё одним не очень распространённым, но достаточно эффективным методом определения механических свойств изделия.

Лабораторная работа должна выполняться в следующем порядке:

1. Образцы, представляющие собой ведущий поясок 122мм осколочно-фугасного снаряда шириной (b_0') равной 18 – 20 мм, подвергаются операции спрямления стенок с помощью тех же цилиндрических плашек на том же реверсоре, которые предназначены для растяжения образца. Спрявление стенок заканчивается по визуальному наблюдению или по силоизмерительному устройству машины, исходя из его предела текучести (рис.2). Операция спрямления стенок необходима для создания так называемой рабочей области, которая в последствии будет обработана фрезерованием, для уменьшения площади её поперечного сечения, чтобы не допустить разрыва образца в области плашек, а также спрямление стенок позволяет нам рассматривать нагрузку не как окружное растяжение, а как плоское (по ГОСТ 1497-84), но в двух частях образца. [3]

2. Диаметр плашек ($d_{пл}$) принимается в пределах:

$$d_{пл} = (0,3 - 0,4)d_{вн},$$

где, $d_{вн}$ – внутренний диаметр кольца.

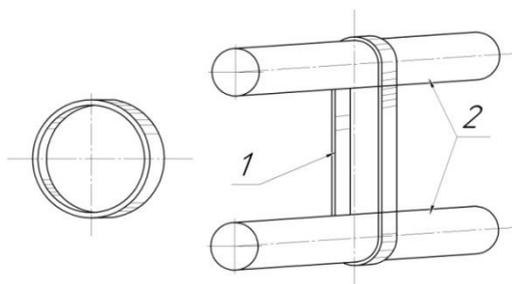


Рис.1 – Кольцевые образцы до и после спрямления:

1 – Образец; 2 – Цилиндрические плашки

Это отношение принято в связи с необходимостью создать достаточно большую рабочую область растяжения, для получения максимально достоверных результатов.

3. После операции спрямления стенок, спрямлённые участки образца подвергаются фрезерованию до ширины (b_0) с целью образования расчётной (рабочей) части образца перед растяжением и предупреждения разрыва образца в области плашек.[4]. Размеры образца после фрезерования и слесарной доводки показаны на рисунке 2, где

$$b_0 = b_0' - (2 \dots 3)\text{мм};$$

$$l_0 = (6 \text{ или } 12)\sqrt{F_0};$$

$$F_0 = b_0 * h_0$$

4. После фрезерования и осторожного снятия заусенцев надфилем, рабочие участки образцов замеряют по ширине и по толщине микрометром. Точность замера – 0,01 мм. Затем на каждую из двух рабочих участков образца наносятся риски на расстоянии, определяющем длину расчётной части.

5. Непосредственное проведение испытания, вплоть до разрыва одного из рабочих участков, при этом фиксируется нагрузка, для определения предела прочности.

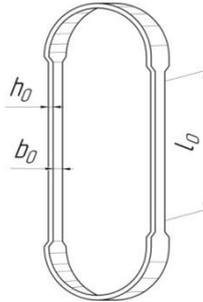


Рис.2 – Размеры рабочих участков образца после спрямления и фрезерования

6. Образец после разрыва подвергается замерам. Замеряются: ширина и толщина в зоне устойчивого растяжения (b_y и h_y), при помощи микрометра. Они устанавливаются в сечениях, расположенных между головкой и сечением разрыва, либо на явно выраженной шейке образца. Также измеряются толщина и ширина в зоне разрыва (b_p и h_p).

7. После проведения замеров образца производится определение механических свойств материала по формулам

После проведения лабораторной работы, студентам предлагается составить отчёт, в котором отразить все полученные характеристики, описать ход работы и сделать выводы.

Литература:

1. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжение - М.: Стандартиформ, 2008. – 15с.
2. Энциклопедический словарь по металлургии – М:Интермет Инжиниринг. Главный редактор Н.П. Лякишев. 2000

3. Свердлов М.И. Элементы теории процесса испытания на разрыв кольцевых образцов, в сб. «Инженерные методы расчёта пластической обработки металлов», Таллин, 1971

4. ГОСТ 25.603-82 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на растяжение кольцевых образцов при нормальной, повышенной и пониженной температурах - М.: Стандартиформ, 2005. – 10с.

Артиллерийский снаряд, содержащий ведущее устройство, предназначенный для нарезного оружия

В.А. Кирюхина, А.А. Нестерова
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск

Статья посвящена артиллерийским снарядам, содержащим ведущее устройство, предназначенным для нарезного оружия. Описываются различные типы ведущих и obtурирующих устройств. Анализируются преимущества способа повышения антифрикционного действия и уменьшения деформации ведущего пояска, а так же снижение загрязнения и изнашивания канала ствола в процессе выстрела антифрикционным материалом. Исследуются предложенные улучшения для решения данных проблем.

The article is devoted to an artillery shell containing a driving device intended for rifled weapons. Various types of leading and obturating devices are described. The advantages of the method of increasing the antifriction action and reducing the deformation of the leading belt, as well as reducing pollution and wear of the barrel bore in the process of firing an antifriction material are analyzed. The proposed improvements for solving these problems are investigated.

Ведущая часть снаряда в совокупности с нарезами в канале ствола орудия обеспечивает правильное ведение его по каналу ствола (КС) и служит для придания вращательного движения снаряду. Ведущий поясок (ВП) предназначен для ведения снаряда по каналу ствола и obtурации пороховых газов. Его запрессовывают в специальные кольцевые канавки корпуса снаряда, предназначенные для закрепления ведущих и obtурирующих поясков и имеющие прямоугольный или фасонный профиль. Возможна их наплавка и наваривание на корпус снаряда с последующей обработкой, тогда канавки на корпусе отсутствуют.

Главным вопросом проектирования ведущей части является обеспечение нормального функционирования ВП и правильного ведения снаряда по каналу оружия, логическое решение которого может опреде-

лить, при всех прочих равных условиях, возможность получения требуемой дальности, то есть обеспечение требуемой начальной и угловой скорости снаряда, так же кучности боя снарядов на протяжении всей боевой службы оружия. При исследовании функционирования ведущего пояска можно выделить этапы, влияющие на взаимодействие ВП с КС:

В период форсирования действие силы сопротивления врезанию ведущего пояска в нарезы ствола обусловлено отличием диаметров ВП снаряда и соединительного конуса ствола оружия. Врезание – это начальная стадия движения снаряда, которая сопровождается деформированием ВП нарезами ствола орудия. Ведущее устройство фиксируется в КС при зарядании в выстрелах раздельно-гильзового и картузного зарядания, а в выстрелах унитарного зарядания ВП регулируют положение гильзы при патронировании.

Сила сопротивления врезания ведущего пояска в нарезы ствола возникает в момент начала обжатия ВП снаряда соединительным конусом ствола и быстро возрастает, то есть максимальное значение достигается к моменту врезания ВП снаряда на всю свою ширину. Ширина ВП, определяемая из расчета на прочность пояска при выстреле, зависит от условий врезания пояска в нарезы ствола и усилия, действующего на ВП со стороны боевых граней нарезов во время движения снаряда по каналу ствола.

При врезании ВП снаряда в нарезы происходит сложный процесс упруго-пластичного деформирования материала пояска при взаимодействии с соединительным конусом ствола по форме площадок боевых граней и полей нарезов, а так же холостых граней (Рис.1).

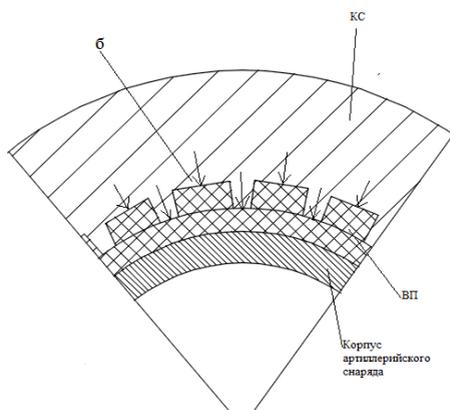


Рис.1. Процесс врезания ВП в нарезы канала ствола

То есть возникает контактная поверхность, имеющая определенную площадь, на которой действуют контактные напряжения как на корпус со стороны ВП, так и на ВП со стороны корпуса.

Основными причинами, вызывающими износ стволов стрелково-артиллерийских систем (уменьшение ресурса, живучести), являются: высокие давление, температура и коррозионная активность пороховых газов; давление ведуще-обтюрлирующего устройства снаряда, давление центрирующих утолщений от динамической неуравновешенности снаряда и от начального перекоса снаряда в канале ствола, а так же трение между ведущей частью снаряда и поверхностью канала ствола. Для уменьшения трения предлагается способ создания защитно-антифрикционного покрытия (слоев материала, пленок), обладающих повышенной твердостью, малой склонностью к истиранию и налипанию, коррозионной стойкостью. Данное покрытие на внутренней поверхности канала ствола стрелково-артиллерийских систем осуществляется в процессе стрельбы путем подачи в зону контакта «ствол - ведуще-обтюрлирующее устройство боеприпаса» защитно-антифрикционного состава, находящегося в кольцевых канавках ведуще-обтюрлирующего устройства [5].

Рассмотрим новые предлагаемые нашей кафедрой полезные модели ведущих устройств с их характеристиками. Два типа ведущих устройств:

Известно решение проблемы, описанное в патенте [6], ведущее устройство которого сделано из того же стального материала, что и корпус снаряда (заедно с ним). ВП имеет кольцевые выступы, каждый из которых состоит из областей с нормальной шириной и с уменьшенной. При этом вырезы располагаются в шахматном порядке.

Одним из способов решения данной проблемы, описанный в патенте [7], где рассматривающийся артиллерийского снаряд к нарезному оружию содержит стальной корпус и медный ведущий пояс, на котором делаются углубления произвольной формы, причем указанные углубления заполнены металлом, переходящим при температурах 800-1000°C в газообразное состояние.

В первом случае решается вопрос о зависимости дальности стрельбы от обтюрлирующего действия ведущего пояса, что обеспечивается с помощью величины форсирования, которая учитывается при создании шахматных выступов ведущих поясков. Принцип данного устройства в том, что для деформации утонченных частей требуется приложить нагрузку меньшей величины, чем для элементов выступов, имеющих нормальную ширину. Отсюда следует, что большее количество энергии давления пороховых газов, которая не затрачивалась на деформирова-

ние пояска, идет на увеличение кинетической энергии снаряда, то есть увеличение дальности стрельбы.

Полезная модель второго ВП, в канавках которого в процессе выстрела, материал переходит в газообразное состояние под воздействием возникновения высокой температуры в канале ствола. Это обуславливает образования газовой подушки, которая препятствует возникновению деформаций ВП и износа канала ствола в процессе выстрела снарядом. Также данная модель ведущего устройства позволяет за счет добавление нового материала при сохранении исходных габаритных размеров незначительно уменьшить количество используемой меди, тем самым делает технологический процесс по изготовлению менее дорогостоящим, чем использование технологии эпиламирования.

Таким образом, конструкции ВП и технологии, предложенные в патентах, являются более технологичными и экономичными решениями повышающими эффективность дальности и кучности стрельбы.

Литература:

1. Гуськов А.В., Иваня С.П., Милевский К.Е., Слесарева Е.Ю. Анализ существующих конструкций ведущего пояска снарядов // Вестник Академии военных наук РФ. 2012. № 2(39). С. 152-158.
2. Артиллерийское вооружение. Основы устройства и конструирование / Под ред. И.И. Жукова. М.: Машиностроение, 1975. 420 с.
3. «Конструкции артиллерийских выстрелов»: учебное пособие / Ю.В.Генкин, Я.О. Павлов, М.А. Преображенская; Балт. гос. техн. ун-т.-СПб., 2012.-114 с. ISBN 978-5-85546-693-5
4. Патент RU 2457419 С1, МПКF41А 21/22 (2006.01),F42В 12/82 (2006.01) Российская Федерация. Способ создания защитно-антифрикционного покрытия на внутренней поверхности канала ствола стрелково-артиллерийских систем./ Ведяев В.Я., Мишнёв А.В., Иванова Е.С. - № 2010152719/11, заявл. 22.12.2010; опубл. 27.07.2012 Бюл. № 21.
5. Патент RU 172674 U1, МПК F42В 14/02 (2006.01) ,F42В 30/08(2006.01) Российская Федерация. Артиллерийский снаряд к нарезному оружию./ Гуськов А.В., Милевский К.Е. ,Хребтова М.С., Иванов Р.С. - № 2017113218, заявл. 17.04.2017; опубл. 19.07.2017, Бюл. № 20.
6. Патент RU 154695 U1 , МПК F42В 14/02 (2006.01) Российская Федерация. Артиллерийский снаряд к нарезному оружию./ Гуськов А.В., Милевский К.Е. ,Хребтова М.С. - № 2015103156/11, заявл. 30.01.2015; опубл. 27.08.2015, Бюл. № 24.

РАЗРАБОТКА ПЛОЩАДКИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ БОЕПРИПАСОВ

А.С. Копаненко, Н.В. Шаризанова, Д. А. Таскаева, К.Е. Милевский
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kopanenko.2014@stud.nstu.ru

Задачей данной статьи является разработка новой промышленной площадки по утилизации устаревших боеприпасов с применением новых методов,

The objective of this article is to develop a new industrial site for the disposal of obsolete ammunition.

В настоящее время существует серьезная проблема хранения и утилизации боеприпасов, срок годности которых истек. Огромные запасы различных снарядов ждут на складах своего уничтожения на полигонах и специально оборудованных подрывных полях.

Выделить несколько основных причин, из-за которых существует экстренная необходимость утилизации скопившихся взрывоопасных материалов в виде различных боеприпасов с истекшим сроком хранения и требующих серьезных организационно-технических мероприятий на государственном уровне.

В связи с выводом войск из сопредельных государств и общим сокращением ВС РФ войсковые запасы боеприпасов были размещены на арсеналах и базах с нарушением норм безопасности.

В то же время государственный запас прогрессивно стареет. При отсутствии эффективных мер организационно-технической направленности увеличивается критичность хранения данного запаса с точки зрения взрыво- пожаробезопасности. Данные чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф, в которых могут пострадать не только люди, напрямую связанные с просроченными боеприпасами, но и гражданское население.

Не использованные боеприпасы с истекшим сроком хранения являются источником чрезвычайных ситуаций, и их долгое хранение на складах приводит к возгораниям, детонациям и взрывам (Рисунок 1).

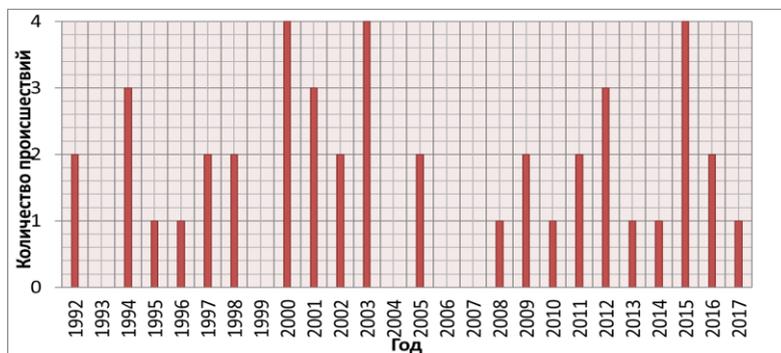


Рисунок 1 – Диаграмма ЧС на складах в период с 1992-2017гг.

Например, 23 августа 2011 года на полигоне Ашулук в Астраханской области, на котором велась утилизация списанных боеприпасов, при выгрузке реактивных снарядов для установок "Град" взорвался один из снарядов, что привело к детонации других. В результате ЧС шестеро военнослужащих погибли, еще 12 получили ранения, двое из них впоследствии скончались в больнице.[1]

28 апреля 2006 год Центральная база ракетного вооружения и боеприпасов ВВС России, взрыв, самопроизвольный запуск ракеты класса "воздух-воздух", плановая утилизация устаревших боеприпасов 2 погибших.

13 ноября 2009 год Заволжский район Ульяновска склад воинской части «31 Арсенал» ВМФ, взрыв более 40 тонн артиллерийских снарядов при утилизации боеприпасов, 3 погибших, 44 человека получили легкие ранения, 5 госпитализированы.

15 октября 2011 года Забайкальский край, полигон войсковой части 34411 Возгорание тратила, при утилизации боеприпасов, двое человек погибли, двое получили серьезные ранения.

Утилизация боеприпасов происходит либо полным уничтожением (взрыванием, сжигание, потоплением и т.д.), либо расснаряжением боеприпасов с последующей переработкой взрывчатых веществ и элементов корпусов боеприпасов. Уничтожению подлежат боеприпасы и их элементы опасные в служебном обращении, разрядка которых опасна, экономически нецелесообразна или технически невозможна.[2]

Расснаряжение и уничтожение боеприпасов необходимо производить на специализированных полигонах. Для безопасной утилизации боеприпасов предложена схема промышленной площадки в соответствии с ведомственными строительными нормами (Рисунок 2), где будут прово-

даться работы по раснаряжению и уничтожению устаревшего сырья.[3]

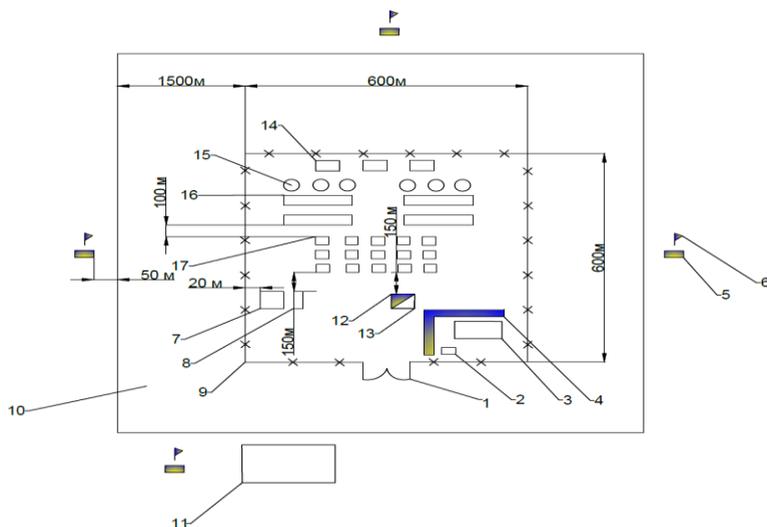


Рисунок 2 – промышленная площадка для утилизации боеприпасов (1 - двухстворчатые ворота, 2- место кратковременного хранения СИ, 3- место кратковременного хранения ВВ, 4- защитный вал, 5- укрытие для людей, 6- предупредительные знаки, 7- место складирования тары, 8- противопожарный пункт, 9- ограждение, 10- противопожарная зона, 11- место стоянки автомобилей, 12- сигнальная мачта, 13- укрытие для взрывников, 14- бронямы, 15- воронки для подрыва боеприпасов, 16- траншеи для подрыва боеприпасов, 17- площадки для выжигания ВВ из боеприпасов и сжигания порохов.)

Существенная часть государственного боезапаса никогда не будет востребована для ее применения по прямым назначениям. Основная причина этого заключается в том, что целый список средств поражения и боеприпасов существенно устарели и не входят в таблицу к штатам частей и соединений Вооруженных сил Российской Федерации.

Все эти боеприпасы подлежат обязательной промышленной утилизации на специализированных промышленных площадках.

Литература:

1. Взрывы и пожары на складах боеприпасов в России в 2002-2012 гг; Информационное агентство; 11.06.2012 г.,[Электронный ресурс] //

URL: <https://ria.ru/20120611/671014188.html> (дата обращения: 11.05.2019)

2. В.Ю. Сладков, Ю.В. Дудина, Перспективные методы расснаряжения и утилизации боеприпасов / [Электронный ресурс] // URL: <https://ria.ru/20120611/671014188.html> (дата обращения: 10.05.2019)

3. Организация территории площадок для испытания взрывчатых веществ и уничтожения отходов / ПОСТАНОВЛЕНИЕ Госгортехнадзора РФ от 17.06.2003 N 93, [Электронный ресурс] // URL: <http://www.zakonprost.ru/content/base/part/322328> (дата обращения: 02.11.2019)

РАЗРАБОТКА НОВЫХ СПОСОБОВ (МЕТОДОВ) РАССНАРЯЖЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ

**А.С.Копаненко, Д.А.Таскаева, Н.В. Шаризанова, А.В. Гуськов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kopanenko.2014@stud.nstu.ru**

Задачей данной статьи, рассмотреть варианты усовершенствования установок по расснаряжению боеприпасов для снижения опасности и уменьшения воздействия на окружающую среду.

The purpose of this article is to consider options for improving the installations for the demilitarization of ammunition in order to reduce danger and reduce environmental impact.

На сегодняшний день основным способом утилизации (уничтожения) боеприпасов с истекшим сроком годности остается метод подрыва или сжигания на специально оборудованных площадках или полигонах. Такой способ довольно прост и дешев, однако при его использовании возможность использования материалов боеприпаса как вторичного сырья пропадает, а взамен появляются вредные воздействия на окружающую среду.[1]

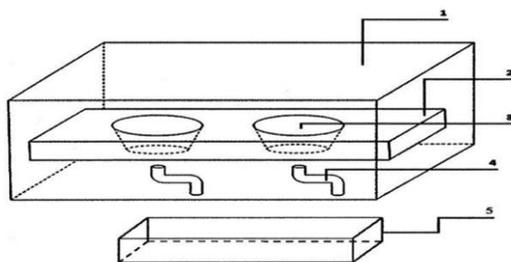
Расснаряжение боеприпаса предполагает удаление из него взрывателя, вскрытие корпуса с целью обеспечения доступа к взрывчатому веществу, извлечение взрывчатого вещества, последующую утилизацию элементов корпуса и взрывчатого вещества.[2]

Расснаряжение различных боеприпасов и ракет способно давать для дальнейшего использования в народном хозяйстве каждый год:

- не менее 150 тысяч тонн черного металла;
- 20 тысяч тонн цветного металла;
- 30 тысяч тонн взрывчатых веществ и порохов.

Технологический процесс расснаряжения боеприпасов является более опасным, чем их снаряжение, поэтому необходим метод, при котором используется воздействие низких температур на боеприпас. При применении данного метода предлагаются две полезные модели установок.

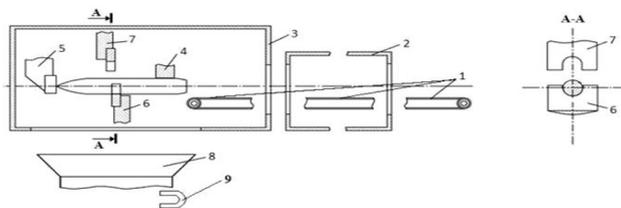
Установка для расснаряжения боеприпасов №1 (Рисунок 1) позволяет утилизировать боеприпас, предварительно охлажденный до наиболее низких температур, без нарушения целостности корпуса снаряда, но и не исключает эту возможность. Разрушение взрывчатого вещества происходит за счет комплекса воздействий, в который входят разность плотностей стали корпуса снаряда и взрывчатого вещества, создание низкого давления внутри боеприпаса путем подведения местных отсосов, а так же использование вибрации как фактора дополнительного разрушения.



1 - охлаждающая камера компрессорного холодильника, 2 - вибростенд, 3 - коническое отверстие для установки БП, 4 - местный отсос, 5 - емкость для сбора ВВ

Рис. 1 – Установка для расснаряжения боеприпасов № 1

Установка для расснаряжения боеприпасов №2 (Рисунок 2) использует более глубокое охлаждение. Такое охлаждение более интенсивно разрушает взрывчатое вещество и еще больше снижает его чувствительность. При этом сталь за счет хладноломкости становится более податливой для механического резания боеприпаса в бронеканере, что существенно упрощает процесс утилизации и делает его более безопасным [5]



1 - конвейерная лента, проходящая через камеру охлаждения и броннекамеру, 2 - камера охлаждения, 3 - броннекамера, 4, 5 –фиксирующие упоры, находящиеся в броннекамере перед снарядом и сзади сверху соответственно, 6 – неподвижный нож, расположенный в броннекамере под снарядом, 7 – подвижный нож, расположенный в броннекамере над снарядом, 8 – емкость для сбора ВВ и металлических осколков, 9 - мощный электромагнит

Рис. 2 – Установка для расснаряжения боеприпасов № 2

Дополнительные предоставления территорий под строительство промышленных площадок для утилизации устаревших боеприпасов с применением новых методов утилизации снизит количество складов с опасным сырьем, а также ЧС происходящих при хранении, транспортировке и утилизации устаревших боеприпасов.

Предложенные метод и установки для утилизации устаревших боеприпасов смогут:

- понизить чувствительность взрывчатого вещества и дать возможность его безопасной утилизации;
- уменьшить уровень воздействия на окружающую среду;
- повысить объемы вторсырья;
- сократить количество чрезвычайных ситуаций.

Литература:

1. В.Ю. Сладков, Ю.В. Дудина Перспективные методы расснаряжения и утилизации боеприпасов [Электронный ресурс] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. журн. – №2. - 2011. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnyye-metody-rassnaryazheniya-i-utilizatsii-boeprizasov> (дата обращения: 20.10.2019)
2. В.С. Соловьев Безопасность снаряжения в процессе утилизации боеприпасов [Электронный ресурс] // Москва Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана -2016. – URL: <http://baumanpress.ru/books/520/520.pdf> (дата обращения 20.10.2019)

УЛУЧШЕНИЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАР С-13 ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОКА СТАБИЛИЗАЦИИ НОВОГО ТИПА.

М.В. Кравец³, В.И. Звегинцев¹, В.В. Романов³, Е.Я. Брагунцов^{2,3}

¹ФГБУН Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

³АО «Институт прикладной физики», г. Новосибирск

Учитывая общие тенденции развития вооружения и военной техники, в настоящее время стала актуальной задача дальнейшей модернизации системы НАРВ С-13.

В данной работе предлагается новая конструкция блока стабилизации для НАР, особенностью которого являются компактные размеры в сложенном состоянии. Расчетным методом исследуется возможность обеспечения увеличения скорости полета и уменьшения индивидуального рассеяния при использовании нового блока стабилизации в составе ракеты С-13ОФ.

Given the general trends in the development of weapons and military equipment, at present time has become an urgent task the further modernization of the unguided missiles of the S-13 system.

In this paper, a new design of the stabilization unit for unguided missiles is proposed, the feature of which is the compact dimensions when folded. The calculation method examines the ability to provide speed increase flight and reduction individual scattering when using new block of stabilization in the composition of the missile S-13OF.

В середине 80-х годов на снабжение ВВС поступила система неуправляемого авиационного ракетного вооружения (НАРВ) С-13. Система предназначена для поражения наземных целей различного вида (от живой силы и бронированной техники до особо прочных укрытий и взлетно-посадочных полос аэродромов).

Система создавалась для решения одной из основных боевых задач фронтовой и армейской авиации – поражение самолетов, находящихся в железобетонных укрытиях различного типа, в том числе и усиленных, вывода из строя взлетно-посадочных полос аэродромов, а также для уничтожения командных пунктов, узлов связи и других укрепленных объектов.

Ракеты системы С-13 постоянно модернизируются с целью улучшения технологических и экономических показателей, а также тактико-технических характеристик.

В целях расширения тактических и боевых возможностей авиационных носителей предпринимаются дополнительные меры по увеличению

дистанции атаки и повышению точности стрельбы на максимальных дальностях применения НАРВ.

Увеличение дальности пуска ракет достигнуто за счет повышения энергетики двигателя, что обеспечивается улучшением конструктивного совершенства двигателя и переходом на высокоэнергетичные твердые топлива (ТТ) [1,2].

Что касается увеличения прицельной дальности пуска ракет, то тенденции развития НАР за рубежом основаны на переоборудовании штатных НАР в недорогой корректируемый вариант [3,4].

Учитывая отсутствие промышленного производства недорогой отечественной элементной базы микроэлектроники, предполагается, что достигнуть невысокой стоимости КАР в обозримом будущем в России не удастся.

Известно, что увеличение прицельной дальности пуска обеспечивается увеличением скорости полета и угловой скорости вращения боеприпаса.

В данной работе предлагается новая конструкция блока стабилизации ракеты, особенностью которого являются компактные размеры в сложенном состоянии.

Конструкция блока стабилизации ракеты приведена на рисунке 1.

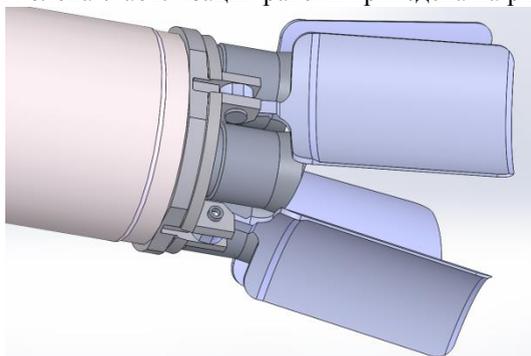


Рис. 1 – Новый блок стабилизации РДТТ С-13.

Её особенность заключается в том, что применяемые перья представлены в виде лопастей с цилиндрической поверхностью. В отличие от существующих конструкций блоков стабилизации ось вращения перьев перпендикулярна оси ракеты, и они складываются вперед против потока воздуха (рисунок 2). В сложенном состоянии блок стабилизации имеет компактные размеры.

Произведена компоновка блока стабилизации в составе высокоэнергетичного РДТТ НАР С-13, которая показала, что применение предлага-

емого блока стабилизации сократить длину РДТТ и при этом увеличить массу ТТ на 2 кг (рисунок 3).

В этом случае появляются дополнительные массогабаритные резервы РДТТ для повышения скорости ракеты за счет увеличения массы ТТ, и для увеличения могущества БЧ ракет.

Произведена компоновка модернизированного РДТТ с перспективными и востребованными на рынке боевыми частями.

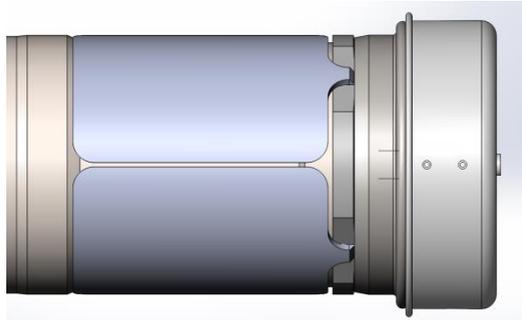


Рис. 2 – Блок стабилизации РДТТ С-13 со сложенными вперед лопастями.



Рис. 3 – Модернизированный РДТТ для НАР С-13.

В качестве примера приведена компоновка ракеты С-13 ОФ (рисунок 4).

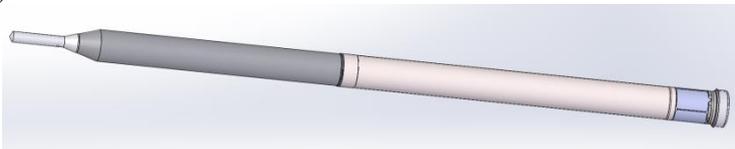


Рис. 4 – Ракета С-13ОФ с ОФ БЧ.

Для ракеты С-13ОФ произведена оценка размеров оперения путем расчета коэффициента запаса устойчивости. Критерием оптимальности размеров являлось обеспечение коэффициента запаса устойчивости не менее 12% на углах атаки до 10° при различных углах установки оперения.

Проведено сравнение аэродинамического сопротивления ракеты со штатным блоком стабилизации и с предлагаемым блоком стабилизации с оптимальными размерами оперения. При полном раскрытии оперения обеспечивается аэродинамическое сопротивление не более, чем у раке-

ты со штатным блоком стабилизации при одинаковом коэффициенте запаса устойчивости. Расчетным методом исследуется возможность обеспечения увеличения скорости полета и уменьшения индивидуального рассеяния при использовании нового блока стабилизации в составе ракеты С-13ОФ.

Проведены траекторные расчеты, показавшие возможность пуска ракет на дальность до 15 км.

В заключении приведём несколько выводов:

1. Разработан компактный блок стабилизации, позволяющий получить дополнительные массогабаритные резервы для повышения скорости ракеты за счет увеличения массы ТТ РДТТ и для увеличения могущества БЧ ракет.
2. Увеличение дальности пуска при относительно невысокой стоимости модернизации позволит сохранить присущие НАР С-13 преимущества.

Литература:

1. Оружие России. М.: Изд. ООО «Военный парад», 2006 с.599-601.
2. В.Ф. Лысов. Авиационное вооружение. Система С-13: состояние и перспектива./Военный парад, 1997 с.66-67.
3. Головки самонаведения перспективных зарубежных управляемых ракет и авиабомб/ Р. Щербинин.- Зарубежное военное обозрение №4 2009 С. 64-68.
4. Разработка за рубежом высокоточного оружия на базе неуправляемых авиационных ракет/ К. Егоров.- Зарубежное военное обозрение №9 2009 С. 51-53.

ДАЛЬНОБОЙНАЯ БЕТНОБОЙНАЯ НЕУПРАВЛЯЕМАЯ АВИАЦИОННАЯ РАКЕТА С-8 БМ

^{1,2}Кузнецов Е.А., ¹Романов В.В., ¹Игонин Д.В., ^{1,2}Брагунцов Е.Я.

¹АО Институт прикладной физики, г. Новосибирск

**²Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск**

В настоящее время востребованность НАР С-8 БМ на рынке вооружения возрастает, однако ее применение сдерживается низкой боевой эффективностью обусловленной недостаточной дальностью пуска, не превышающей 2200 м. Реализуемые дальность и высота пуска ракет С-8 БМ уже не соответствуют современным требованиям. В данной работе предложен способ модернизации ракеты НАР С-8 БМ.

Currently, the demand for uncontrolled aircraft missiles in arms market is increasing, but its use is hindered by low combat effectiveness due to insufficient launch range not exceeding 2200 m. The actual range and launch height of the S-8 BM missile no longer meet modern requirements. In this paper, a method for upgrading a rocket is proposed S-8 BM.

НАР С-8БМ имеет бетонобойную БЧ проникающего действия и предназначена для уничтожения самолетов в ЖБУ, а также объектов военной техники и живой силы, находящихся в особо прочных укрытиях.

Штатная бетонобойная ракета С-8 БМ приведена на рисунке 1. и имеет следующие характеристики [1,2]:

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| ➤ Калибр | 80 мм; |
| ➤ Масса ракеты | 15,2 кг; |
| ➤ Скорость ракеты | 450 м/с; |
| ➤ Дальность пуска | 2200 м; |
| ➤ Масса боевой части (БЧ) | 7,41 кг; |
| ➤ Масса ВВ | 0,6 кг; |
| ➤ Толщина пробиваемого железобетона | 800 мм; |

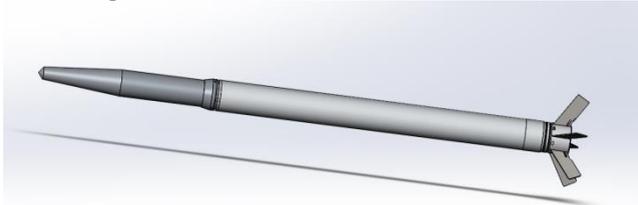


Рисунок 1. НАР С-8 БМ

В настоящее время востребованность НАР на рынке вооружения возрастает, однако ее применение сдерживается низкой боевой эффективностью обусловленной недостаточной дальностью пуска, не превышающей 2200 м. Реализуемые дальность и высота пуска ракет С-8 БМ уже не соответствуют современным требованиям поскольку в условиях применения трудно обнаруживаемых переносных зенитно-ракетных комплексов (ПЗРК) действия авиации на таких высотах и дальностях пуска становятся недопустимыми. Определенные тактические возможности авиационным носителям (самолетам, вертолетам) открываются только при стрельбе с высот не менее 3500 м (дальности пуска больше ≈ 4000 м). В связи с этим возникает необходимость поиска методов увеличения характеристик НАР С-8 БМ по высоте и дальности пуска.

Ограничения по высоте и дальности пуска НАР С-8 БМ вызваны падением скорости ракет на траектории ниже допустимой ≈ 320 м/с при которой прекращается пробивное действие по железобетону, и бетоно-

бойная ракета становится неэффективной. Такую ситуацию иллюстрируют графики, приведенные на рисунке 2 и рисунке 3. Траектория движения НАР С-8 БМ (рисунок 2) получена расчетом по уравнениям внешней баллистики для типовых условий пуска. На рисунке 3 для этих условий показано изменение скорости в процессе полета. Расчеты проведены на ЭВМ в среде Microsoft Excel. Из рисунков видно, что за время полета 7 с скорость полета уменьшается с 450 м/с до 320 м/с. Дальность пуска при этом составила 2200 м.

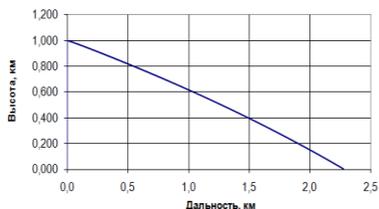


Рисунок 2. Траектория полета НАР С-8 БМ при пуске под углом минус 18° с высоты 1 км.

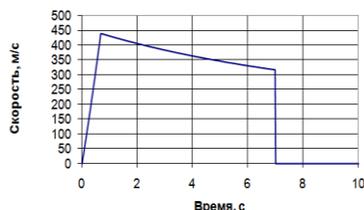


Рисунок 3. Изменение скорости в процессе полета НАР С-8 БМ при пуске под углом минус 18° с высоты 1 км.

В связи с этим возникает необходимость поиска методов увеличения характеристик НАР С-8 БМ по высоте и дальности пуска.

В рамках массогабаритных ограничений существующей ракеты С-8 БМ можно выделить следующие способы модернизации ракеты, обеспечивающих достижение поставленной цели [1-4]:

- Увеличение дальности за счет оптимизации аэродинамической формы ракеты;
- Увеличение скорости и дальности за счет совершенствования двигателя.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день увеличение дальности полета боеприпасов за счет оптимизации аэродинамической формы ракеты исчерпало свои возможности [4,5].

Существующие баллистические (траекторные) характеристики ракеты С-8 БМ обеспечиваются штатным ракетным двигателем на твердом топливе, суммарный импульс тяги которого 5800 Нс и время работы 0,7 с. Поэтому для решения существующей проблемы необходимо в первую очередь провести модернизацию РДТТ ракеты.

В данной работе предлагается:

- использование вместо топлива с удельным импульсом 2000 Нс/кг более высокоэнергетичное топливо с удельным импульсом 2400 Нс/кг;

- замена штатного алюминиевого корпуса на стальной, высокопрочный (Сталь 30 ХГСА), тонкостенный;
- замена алюминиевого соплоблока со стальным вкладышем на алюминиевый, армированный прессматериалом АГ-4В ГОСТ 20437-89;
- сокращение длины стакана;
- узел инициирования использовать штатный.

Применение указанных предложений позволило в рамках существующих массогабаритных ограничений на ракету С-8 БМ получить следующие характеристики РДТТ:

- коэффициент массового совершенства РДТТ изменился от 1 до 0,8;
- масса ТТ увеличилась с 3 кг до 4,9 кг;
- суммарный импульс РДТТ вырос более чем в два раза и достиг 12250 Нс.

Бетонобойная ракета С-8 БМ с модернизированным РДТТ приведена на рисунке 4.

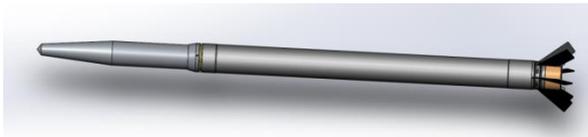


Рисунок 4. НАР С-8 БМ с увеличенной дальностью применения.

Траектория полета дальнобойной НАР С-8 БМ исследовалась расчетным методом для требуемых условий пуска с вертолетов. Предварительно определялись коэффициенты аэродинамического сопротивления в среде Solid Works с помощью приложения Flow Simulation. На рисунке 5 в качестве примера показано обтекание ракеты воздушным потоком при скорости полета 2М.

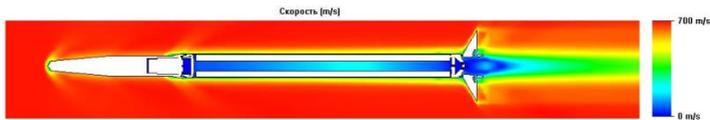


Рисунок 5. Обтекание ракеты на скоростях 2М.

Траектория движения НАР С-8 БМ (рисунок 6) получена расчетом по уравнениям внешней баллистики для новых условий пуска (высота пусков 4 км).

На рисунке 7 для этих условий показано изменение скорости в процессе полета. Расчеты проведены на ЭВМ в среде Microsoft Excel. Из рисунков видно, что за время полета 15 с скорость полета уменьшается

с 820 м/с до 320 м/с, дальность пуска при этом соответствует требованиям, предъявляемым к авиационным средствам поражения (АСП) в условиях современных боевых действий

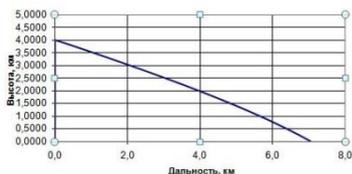


Рисунок 6. Траектория полета дальнобойной бетонобойной НАР С-8 БМ при пуске под углом -25° с высоты 4 км.

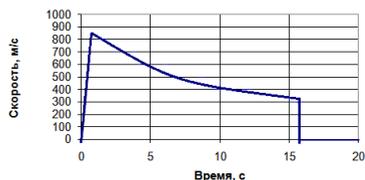


Рисунок 7. Изменение скорости в процессе полета дальнобойной бетонобойной НАР С-8 БМ при пуске под углом -25° с высоты 4 км.

Вывод:

Таким образом проведенные исследования показали, что предлагаемая модернизация РДТТ ракеты позволяет привести характеристики НАР С-8 БМ до уровня современных требований в части дальности применения.

Литература:

1. Оружие России. М.: Изд. ООО «Военный парад», 2006г.
2. Средства поражения и боеприпасы: Учебник / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; Под общ. ред. В.В. Селеванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.: ил. ISBN 978-5-7038-3171-7
3. Самородинский М.В., Современные тенденции совершенствования систем ракетно-артиллерийского вооружения сухопутных войск вооруженных сил РФ// Боеприпасы.-2014.-№2-с.43-46.
4. Современное состояние и перспективы развития артиллерийских систем. (Обзор по материалам открытой печати). М.: НТЦ «Информтехника», Оборонная техника, №10-11, 2005г.
5. Наука Промышленность Оборона: труды XIX Всероссийской научно-технической конференции: в 4 т./ коллектив авторов; под редакцией С.Д. Саленко. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. ISB 978-5-7782-3550-2, том 2. 276 с. Улучшение аэродинамики формы НАР С-8. Романов В.В., Демин Р.В., Брагунцов Е.Я., Головкин К.С., Шальнев В.А.

СРАВНЕНИЕ ГРАНАТ НЕЛЕТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Н.В. Мезенцев

Новосибирский государственный технический Университет,
г. Новосибирск, mezencev.2017@stud.nstu.ru

Статья посвящена сравнению двух гранат нелетального действия, обе гранаты относятся к боеприпасам снаряженным ирригантами, но с каждая граната действует на организм человека по-разному. Рассматривается и анализируется разница между боеприпасами на разных этапах их использования.

The article is devoted to comparing two grenades of non-lethal action, both grenades are ammunition equipped with irritants, but each grenade affects the human body in different ways. The difference between ammunition at different stages of their use is examined and analyzed.

Основной целью боеприпаса является поражение живой силы противника, поражение может быть с летальным исходом, когда цель уничтожена без возможности её восстановления и без летального исхода, когда цель поражена временно и есть возможность её восстановить.

На сегодняшний день ставится задача поражения цели без летального исхода, именно в таких ситуациях и используются боеприпасы нелетального действия, в частности гранаты снаряженные ирригантами.

Ирриганты – химические соединения, которые в небольших концентрациях избирательно возбуждают чувствительные нервные окончания кожных покровов или слизистых оболочек и верхних дыхательных путей и как следствие лишение человека способности к активным целенаправленным действиям или проявления физической агрессии. [1]

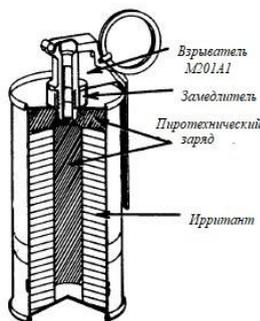


Рисунок 1

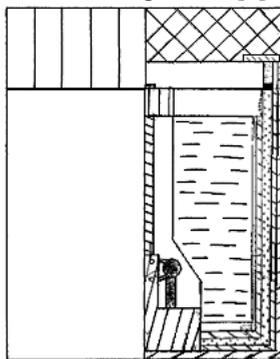


Рисунок 2

Одной из первых гранат нелетального действия снаряженных ирригантами можно считать американскую гранату М7 (рис. 1), упоминаемая

о ней можно встретить в книгах 1947 года. [2] С тех пор гранаты подобного типа изменились как по принципу воздействия, так и по конструкции.

Сравним эту гранату с более новой гранатой нелетального действия (ГНД) (рис2) [3].

При использовании любого боеприпаса есть цепочка последовательных событий (рис.3)



Рисунок 3

В случае гранат выстрел будет заключаться в активации гранаты.

Чтобы активировать гранату М7 необходимо сорвать чеку.

В то время как во втором случае необходимо просто резко повернуть крышку.

На пути к цели, то есть в момент после броска гранат в американской гранате происходит нагрев капсюль-воспламенителя запала, передающей луч огня на замедлитель, который передаёт его на воспламенитель и уже зажигает газообразующее снаряжение.

В случае ГНД после поворота крышки от трения зажигается стержень, передающий температуру пороху и поджигающий его, и запаивает отверстие после себя. Порох [5] детонирует, создавая давление, идущее на раскрутку турбины для вытягивания аэрозоля, образованного аэрозолеобразующим составом, и резкий скачек температуры, передающийся через металлическую пластину на металлическую спираль (эта передача тепла служит замедлителем) и начинает испарять аэрозолеобразующий состав, находящийся на впитывающем материале.

При попадании из гранат начинаю высвобождаться действующие вещества.

Разница в том, что из М7 высвобождение состава происходит через боковые отверстия в корпусе, а у ГНД через отверстие сверху корпуса с помощью турбины.

Принцип поражения отличается за счёт разных веществ, находящихся внутри гранат.

Американская граната снаряжена веществом CN. CN (черёмуха) – отравляющее вещество лакриматор. Лакриматоры, или слезоточивые вещества – это соединения, воздействующие на чувствительные нерв-

ные окончания слизистых оболочек глаз и вызывающие обильное слезотечение. Также могут воздействовать на кожные покровы, но эффект будет не значителен и быстро пройдет при выходе из зоны действия агента.

В ГНД в качестве предполагаемого действующего вещества используется раствор фенилэтиламина. Фенилэтиламин – вещество в малых количествах, отвечающее за состояние влюбленности, но в больших количествах отвечающий за страх. Предполагаемое действие заключается в том, что при попадании аэрозоля, содержащего фенилэтиламин, в организм наступит психоделический эффект «чувство страха», которое, предположительно, остановит активные действия противника [4].

Вывод:

На каждом этапе цепочки событий, отображающем действие боеприпаса, замечены изменения, как в конструкции, так и по типу воздействия на организм человека. Перечислим позитивные отличия: замедление происходит не за счёт отдельного элемента, а из-за передачи тепла от одного элемента к другому, упростился взрыватель, раздражитель находится в жидком состоянии; из-за того что поражающее облако образуется не горением, а испарением появляется возможность добавления органических веществ, из-за которых действие раздражителя может быть не только раздражающим, а, например, психоделическим.

Но у новой конструкции есть ограничения: применение такой гранаты затруднительно при температуре ниже -10°C , а при температуре ниже -20°C невозможно.

Но при использовании в определённом температурном диапазоне, можно сказать, что ГНД является более эффективной, чем предшествующее устройство.

Литература:

- 1) В.В. Селиванов, Д.П. Левин. Оружие нелетального действия
- 2) [Bureau of Ordnance, US Navy](#) U.S. Explosive Ordnance. OP 1664. Vol. II. Confidential. Paperback – 1947
- 3) Патент RU 192625 U1, МПК F42B 8/26(2006.01), F42B 12/46(2006.1), F42B 27/00(2006.1) Российская Федерация. Гранат нелетального действия./ Гуськов А.В., Мезенцев Н.В., Милевский К.Е., № 2019119295, заявл. 19.06.2019; опублик. 24.09.2019, Бюл №27.
- 4) Евсеев А. Страх пахнет так же, как и любовь [Электронный ресурс] // Pravda.ru URL: <https://www.pravda.ru/eureka/1081890-fobos-fea2/>
- 5) Андреев В. В., Гуськов А. В., Милевский К. Е. Эксплозивные вещества.

СПОСОБЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛЁТА СНАРЯДА

А.А. Нестерова, В.Л. Литвинов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

В статье рассматриваются методы стабилизации снаряд во время полёта. Анализируются принципы действия методов стабилизации, которые предотвращают опрокидывание снаряда и придают ему устойчивость. Определяются достоинства и недостатки применяемых способов стабилизации снаряда. В статье предложен способ стабилизации снаряда быстро вращающегося вокруг своей оси.

The article discusses methods of stabilizing the projectile during flight. The principles of the stabilization methods are analyzed, which prevent the projectile from tipping over and give it stability. The advantages and disadvantages of the applied methods for stabilizing the projectile are determined. The article proposes a method for stabilizing a projectile rapidly rotating around its axis.

Проблема устойчивости снаряда при полёте актуальна с момента появления артиллерии. Первоначально решение проблемы стабилизации производилось интуитивно на основании опыта при помощи различных устройств. Актуальность проблемы в выборе оптимального способа придания устойчивости снаряду способствует интенсивному продолжению исследований в этой сфере и в настоящее время.

При бросании тела под углом к горизонту, во время полёта на него действуют сила тяжести и аэродинамическая сила. В процессе полёта вектор скорости центра масс поворачивается. Вследствие этого брошенное тело меняет угловое положение, поворачиваясь относительно центра масс в направлении вектора скорости. Если ось, проходящая вдоль тела, отклонится от направления движения даже на незначительный угол - возникнет аэродинамическая сила, приложенная в центр давления, данная сила приведет к появлению опрокидывающего момента относительно центра масс. В свою очередь это вызовет беспорядочное движение относительно центра масс и, вследствие этого, искажение траектории полёта. То же самое происходит и со снарядом во время полёта. Поэтому чтобы обеспечить правильный полет снаряда в воздухе — его надо стабилизировать. Под словом «стабилизация» в данном случае понимается: предотвращение опрокидывания снаряда и придание ему такого положения, в котором он будет «следовать» за траекторией полёта. Для предотвращения данного явления применяют следующие методы:

1. конструирование снаряда сферической формы;
2. придание снаряду вращение вдоль продольной оси корпуса;
3. оснащение снаряда оперением.

Первый из способов, изготовление снаряда в форме шара невыгоден, так как у такого снаряда нет направляющей части, которая следовала бы вдоль траектории полёта, что гарантировало бы срабатывание взрывателя в момент соприкосновения с преградой.

Оперением стабилизируются снаряды гладкоствольных орудий, противотанковые управляемые ракеты, мины, реактивные ракеты и снаряды, не получающие быстрого вращения при выстреле из нарезного оружия. Стабилизация снарядов оперением происходит следующим образом: на хвостовой части корпуса устанавливаются стабилизаторы различных форм и размеров. Стабилизация достигается тем, что центр сопротивления находится за центром тяжести. За счет этого сила сопротивления воздуха создает стабилизирующий момент, возвращающий ось снаряда к направлению касательной к траектории при ее отклонении.

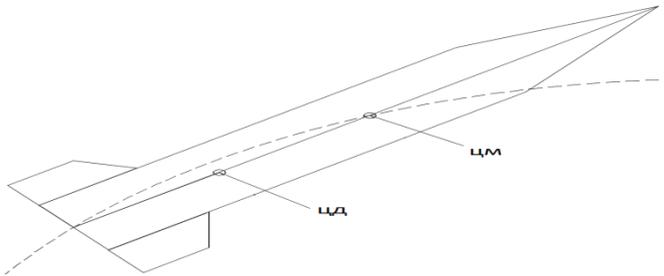


Рис.1 - Процесс стабилизации снаряда оперением

Примером стабилизируемого вращением при помощи оперения снарядом может быть снаряд БМ2. [3] При выстреле из гладкоствольного орудия снаряд приобретает вращение за счет прохождения набегающего потока воздуха через блок стабилизатора. Из-за большой площади хвостового оперения центр давления (ЦД) смещен и находится позади центра масс (ЦМ) снаряда, благодаря чему ось снаряда не совершает прецессионного движения. Так как ось снаряда, устойчива, то носовая часть всегда обращена по направлению движения снаряда, что гарантирует срабатывание взрывателя в момент соприкосновения с преградой. Однако, в указанном снаряде, из-за наличия стабилизаторов, площадь, на которую действует набегающий поток воздуха, увеличивается, что ведет к потере скорости и дальности.

Вращением стабилизируются дальнобойные орудия и пули всех образцов стрелкового оружия. При движении снаряда, вращающегося вокруг своей оси, аэродинамические силы, создающие опрокидывающий момент, стремятся опрокинуть снаряд, но он вследствие своего быстрого вращения, не опрокидывается, а движется устойчиво как гироскоп.

Так как сопротивление воздуха непрерывно на протяжении всего полёта, то ось снаряда описывает конус с вершиной в центре тяжести, а головная часть - круг.

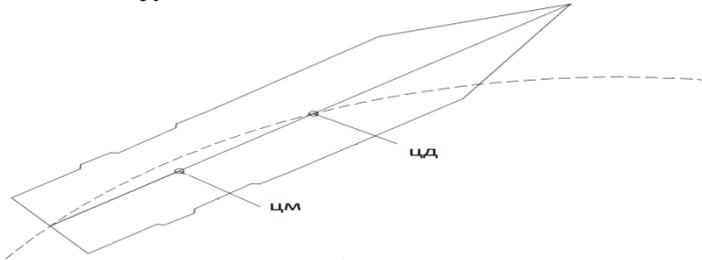


Рис.2 - Процесс стабилизации снаряда вращением

Примером стабилизируемого вращением снаряда является дальний снаряд Ф-625Д. [3] Придание снаряду быстрого вращательного движения обеспечивается за счет получения снарядом вращения в канале ствола вследствие движения выступов ведущего пояaska снаряда по винтообразным нарезам ствола. В данном снаряде ЦД расположен впереди ЦМ, то ось снаряда совершает прецессионное движение, что ведет к непредсказуемой ориентации снаряда в момент соприкосновения с преградой.

Нами предлагается один из способов уменьшения прецессионного движения оси снаряда с помощью гироскопической стабилизации. [4]

Принцип заключается в том, что внешний и внутренний корпусы имеют моменты импульса L_1 и L_2 соответственно, направленные по оси X , внешние силы P – составляющая сил давления, перпендикулярная оси снаряда, и G – вес. Момент этих сил M_v , направленный по оси Y , побуждая раскрученный внешний корпус вращаться вокруг оси Z в направлении ω_1 , вследствие чего внешний корпус действует на внутренний моментом M_{1-2} . Внутренний корпус под действием момента M_{1-2} стремится к вращению вокруг оси Y в направлении ω_2 , вследствие чего действует на внешний корпус моментом M_{2-1} , который направлен в сторону, противоположную моменту внешних сил и тем самым компенсирует его.

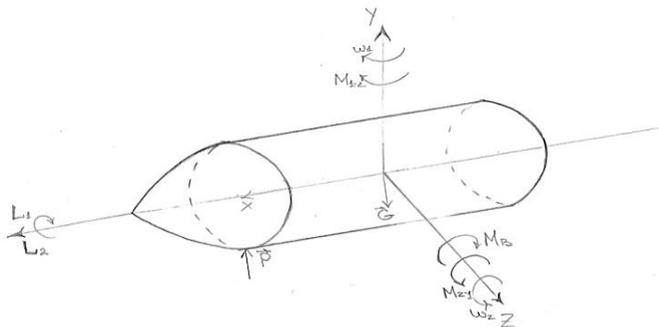


Рис.5 - действия моментов сил на предлагаемый снаряд

В данном устройстве реализуется то, что в отличие от стабилизации оперением не используются стабилизаторы, увеличивающие сопротивление воздуха, что позволяет сохранить скорость и дальность полёта снаряда при помощи быстрого вращения снаряда вокруг своей оси.

Таким образом, устойчивость снаряда во время полёта с помощью оперения или вращения являются наиболее эффективными способами стабилизации и имеют перспективы в дальнейшем развитии.

Литература:

1. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н., Богодистов С.С. Внешняя баллистика: Учебник для студентов вузов.- 3-е изд. Перераб. И доп. – М. Машиностроение, 1991.- 640с.
2. А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, А.В. Сотенко Внешняя баллистика : учеб. пособие. – 2-е изд. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – 188 с.
3. И.А. Балаганский, Л.А. Мержиевский Действие средств поражения и боеприпасов : учеб. пособие. – 2-е изд. испр. и доп.- Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. - 408 с.
4. Патент RU 192 853 U1, МПК F42В 10/26 (2006.01) Российская Федерация. Артиллерийский снаряд, стабилизируемый вращением/ А.В. Гуськов, В.Л. Литвинов, К.Е. Милевский, А.А. Нестерова; - № 2019119297 заявл.19.06.2019; опубл. 03.10.2019 , Бюл. № 28

КОНСТРУКЦИЯ И МАТЕРИАЛ ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЕЛИЧИНУ ДАВЛЕНИЯ ФОРСИРОВАНИЯ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

**М.С. Хребтова, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский,
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, a.guskov@corp.nstu.ru**

Стабилизация давления форсирования при выстреле артиллерийского боеприпаса из нарезного оружия может быть достигнута путем изменения конструкции ведущего пояска. Переходя к новому типу ведущего пояска становится возможным обеспечение уменьшения затрат энергии на врезание практически вдвое. Произведен расчет, доказывающий, что геометрические характеристики ведущего пояска существенно влияют на указанные выше характеристики.

Boost pressure stabilization during a shot through rifle can be achieved with driving band construction change. Changing the design of the driving belt is one of the most relevant way to reduce the energy consumption for plunging almost by half. Influence of geometry characteristics of driving band was calculated.

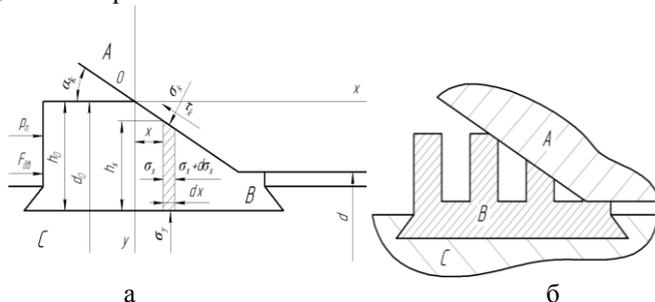
В настоящее время весьма актуален вопрос поиска способов повышения технических характеристик (точность, дальность и т.д.) артиллерийского снаряда при уменьшении его себестоимости. Одним из таких способов является изменение конструкции ведущего пояска (ВП) [1]. Анализ протекающих при выстреле процессов показал, что к параметрам ВП и физико-механическим свойствам материала, из которого он изготовлен предъявляются следующие требования [1-4]:

- обтюрация пороховых газов на всем пути движения снаряда по КС;
- минимально допустимое сопротивление при пластической деформации материала ВП (минимально возможное давление на корпус снаряда и КС) с целью уменьшения прогибов как стенок корпуса, так и стенок КС;
- максимальная живучесть КС, то есть стабильность геометрических размеров (за счет минимального износа поверхностей при движении боеприпаса в процессе выстрела);
- фиксирование боеприпаса в соединительном конусе при отдельно-гильзовом зарядании;
- сохранение геометрических размеров, надежности крепления и физико-механических свойств при длительном хранении.

При изменении конструкции ВП изменяется и количество энергии, передаваемой боеприпасу, что сказывается на его скорости. Таким образом, управляя геометрией ВП можно обеспечить минимизацию рассея-

ния давления форсирования при выстреле, тем самым улучшая характеристики боеприпаса.

Определим, насколько изменяется усилие продавливания в зависимости от конструкции ведущего пояска. Для этого сравним два вида: типовую (рисунок 1, а) и гребенчатую (1, а, б) [2], причем оба выполнены из одного материала.



А – канал ствола, В – ведущий поясок, С – корпус боеприпаса,
а – типовой ведущий поясок либо гребень пояска нового типа,
б – гребенчатый ведущий поясок

Рис. 1 – Форма ведущего пояска

Используя методику расчета контактных напряжений, представленной в [3], определим зависимость контактных напряжений, возникающих при врезании ВП в нарезы канала ствола. На рисунке 2 показана полученная зависимость контактных напряжений в ВП типовой формы от координаты сечения x для большого наклепа материала, $\varepsilon_0 = 0,4$ с учетом допусков на диаметральный размер.

Для пояска нового типа зависимость будет иметь аналогичный вид, где Δx_i - ширина выступа, $\Delta x_0 i$ - расстояние между выступами.

Количество энергии, затрачиваемой на деформацию ВП, равно интегралу под площадью кривой зависимости контактных напряжений от координаты сечения x . Это означает, что если для типового ВП энергия составляет X Дж, то для ведущего пояска нового типа из того же материала, в соответствии с графиком, – около $0,46X$ Дж.

В соответствии с оценочными расчетами энергии, затрачиваемой на деформацию ВП с учетом допуска можно сделать следующие выводы. Для ВП стандартного вида (высота нареза либо высота ВП составляет около 2% от калибра боеприпаса) для типового ведущего пояска энергия изменяется от X до $1,02X$ (2%), в то время как для ВП нового типа – от $0,46X$ до $0,47X$ (1%). Для ВП, высота которого составляет около 1% от калибра боеприпаса, значения будут следующими: у типового ВП – от X до $1,01X$ (1%), у ВП нового типа – от $0,463X$ до $0,468X$ (0,463%).

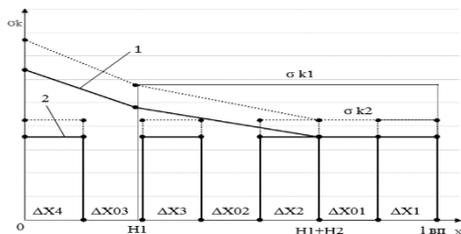


Рис. 2 – Зависимости контактных напряжений от координаты сечения x для типового (1) и ведущего пояска нового типа (2)

Уменьшение разброса количества энергии, затрачиваемой на деформацию, приведет к стабилизации давления форсирования при выстреле, и, следовательно, повышению точности боеприпасов.

Изменение давления P в канале ствола при выстреле с учетом влияния допусков на диаметральный размеры ВП в зависимости от времени представлено на рисунке 3. Для каждого из типов ВП представлено по две кривых изменения давления, соответствующие давлениям, возникающим при максимальных диаметральных размерах ВП и при минимальных. Каждая из кривых имеет несколько опорных точек: начала движения снаряда (1), достижения максимума давления (2), окончания горения пороха (3) и момент вылета (4). За давление форсирования принимается давление в точке начала движения снаряда.

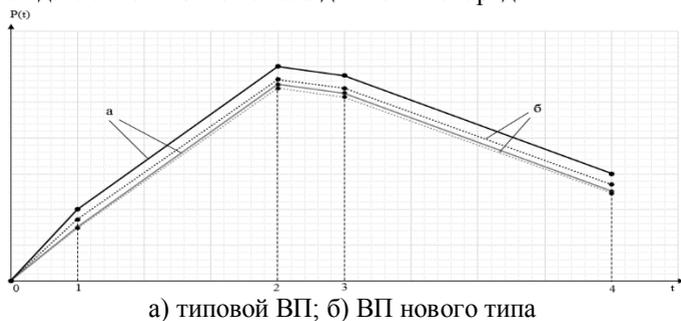


Рис. 3 – Изменение давления P в канале ствола при выстреле в зависимости от времени t

При варьировании диаметральных размеров ВП возникающие в канале ствола давления будут изменяться, соответственно. Аналогично величинам контактных напряжений в типовом ВП и ВП нового типа, разброс давления для ВП нового типа будет меньше в той же степени,

как и при расчете энергии. Так, если проинтегрировать получившуюся зависимость и тем самым определить общую энергию, то для типового ВП значения изменяются от X (минимальные диаметральные размеры ВП) до $1,13X$ (максимальные диаметральные размеры ВП) – 13% разброс, а для ВП нового типа – от $0,98X$ до $1,04X$ – 6,5% разброс.

Таким образом, переход к конструкции нового типа обеспечивает меньшее рассеивание энергии при выстреле и тем самым повышает кучность.

В ходе проведенной работы было определено влияние конструкции ВП на процессы, протекающие при выстреле, проведено сравнение по усилению формирования боевых выступов. Исследовано воздействие допущения диаметра ВП на изменение величины форсирования и на затраты энергии при врезании боеприпаса в нарезы КС. Для ВП стандартного вида (высота нареза либо высота ВП составляет около 2% от калибра боеприпаса) для типового ведущего пояска энергия изменяется на 2% от энергии, затрачиваемой на продавливание ВП с минимальными размерами в пределах допуска, в то время как для ВП нового типа – на 1%. Для ВП, высота которого составляет около 1% от калибра боеприпаса, значения будут следующими: у типового ВП – 1%, у ВП нового типа – 0,463%.

Кроме того, показано, что изменение профиля ВП обеспечивает уменьшение разброса давления при выстреле вдвое: для типового ВП значения изменяются на 13%, а для ВП нового типа – 6,5%.

Литература:

1. Гуськов А.В. Ведущий поясок, обеспечивающий повышенную точность стрельбы / А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, М.С. Хребтова // Академические Жуковские чтения. Современное состояние и перспективы развития авиационного вооружения: сб. науч. ст. по материалам 2 Всерос. науч.-практ. конф. (25–27 нояб. 2014 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2015. – С. 56–61. - 41 экз.
2. Селиванов В.В. (общ. ред.) Средства поражения и боеприпасы / М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 982 с.
3. Ермолаев С.И. Внешняя баллистика / С.И. Ермолаев, Л.Б. Комаров, Е.В. Чурбанов — Л.: Военно-морская академия кораблестроения и вооружения им. Крылова, 1958. — 718 с.

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО БРОНЕБОЙНОГО БОЕПРИПАСА КАЛИБРА 40 мм

Е.А. Хмельников^{1,2}, А.Е. Чванов², Р.С. Чванов¹, В. Ширяева¹

¹«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина» Нижнетагильский технологический институт (филиал)

²Нижнетагильский институт испытания металлов
г. Нижний Тагил, andy.mike13579@gmail.com

В данной статье рассматривается создание телескопического боеприпаса калибра 40 мм, который должен выступить в роли эволюционного развития боеприпасов и автоматических пушек калибра 30 мм. Расчетные параметры внутренней баллистики проверяются в двух программах, одна из которых разработана на кафедре Специального Машиностроения НТИ (ф) УрФУ, и европейской программой «InteriorBallistics: Stanag 4367». Производится анализ бронепробивных характеристик путем постановки трехмерной задачи в «ANSYS AUTODYN».

In the article the creation of a 40 mm telescopic munition, which should play the role of an evolutionary development of ammunition and 30 mm automatic guns are discussed. The calculated parameters of the internal ballistics are checked in two programs, one of which was developed at the Department of Special Engineering of the NTI (branch) of UrFU, and the European program "Interior Ballistics: Stanag 4367". The analysis of armor-piercing characteristics is made by setting a three-dimensional task in ANSYS AUTODYN.

В настоящее время основным калибром отечественных автоматических пушек Сухопутных войск, ВВС и ВМФ является калибр 30 мм, а их монопольным разработчиком – Тульское КБП, создавшее десять типов 30-мм пушек, в том числе одноствольных, двуствольных и шестиствольных. Использование одного калибра во всех видах Вооруженных сил и унификация боеприпасов является несомненным преимуществом, но в то же время, значительно ограничивает боевые возможности автоматических пушек. Применительно к пушкам БМП главным и решающим фактором негативной оценки калибра 30 мм является неудовлетворительное бронепробивное действие.

Решение этой проблемы может быть, как революционным – установка одной крупнокалиберной пушки 100-мм и одной автоматической 30-мм (БМП-3) – так и эволюционным – с разработкой нового боеприпаса и переходом на более крупный калибр автоматических пушек, что исключило бы неэффективность 30-мм боеприпасов в настоящее время.

Для проведения расчетов была выбрана конструкция, изображённая на рисунке 1 [1].

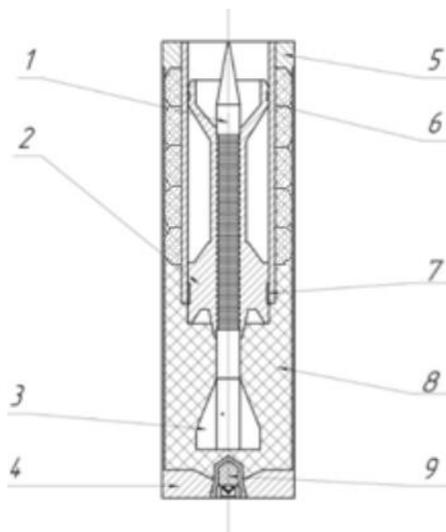


Рис. 1. Конструкция телескопического боеприпаса; 1-сердечник, 2-секторное ведущее устройство, 3-стабилизатор, 4-корпус, 5-фиксирующая втулка, 6-центрирующая втулка, 7-кольцевой obturator, 8-основной заряд, 9-капсуля детонатор

Основная задача внутренней баллистики решена методом Н. Ф. Дроздова [2], а дальнейший расчёт порохов производился в двух программах «ОЗВБ» и «InteriorBallistics: Stanag 4367».

Из полученных результатов расчета были выбраны два подходящих вида пороха, показавшие максимальную и минимальную дульные скорости, и в которых максимальное давление не превышало максимально допустимого давления в камере орудия. Максимальную дульную скорость показал порох 4/1 навеской 400 грамм, скорость составила 1486 м/с. Минимальную дульную скорость показал порох 4/1 фл навеской 350 грамм, скорость составила 1165 м/с.

Разница в расчётах максимального давления P_{\max} и дульной скорости V_d программы «ОЗВБ», разработанной на кафедре Специального Машиностроения НТИ (ф) УрФУ, в сравнении с европейской программой «InteriorBallistics: Stanag 4367» не превысила 11% (рис. 2), (рис. 3), (рис. 4).

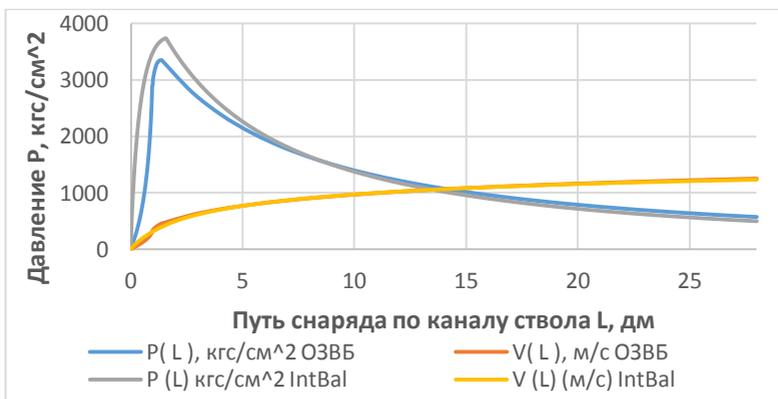


Рис. 2.График зависимости $P(L)$, $V(L)$ для пороха СФ033

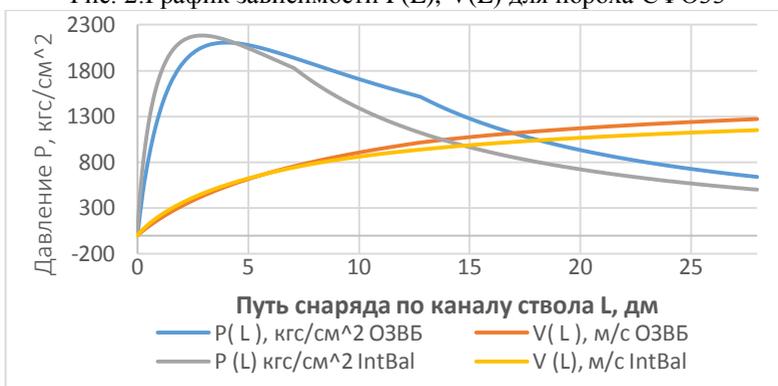


Рис. 3.График зависимости $P(L)$, $V(L)$ для пороха 7/1

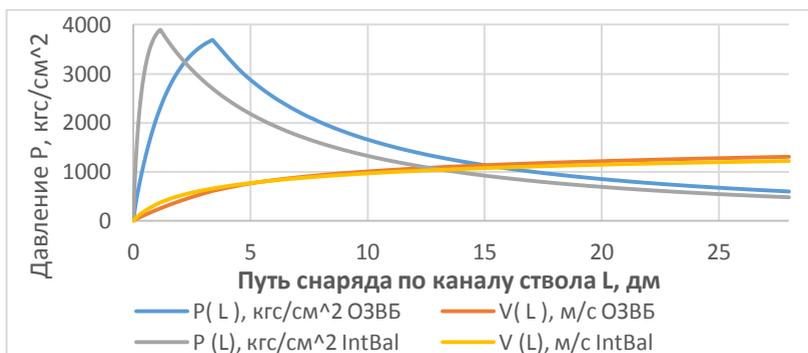


Рис. 4.График зависимости $P(L)$, $V(L)$ для пороха 4/1

Для решения поставленной задачи внешней баллистики использовалась система уравнений пространственного движения центра масс снаряда, включающая в себя характеристики атмосферы и характеристики поля притяжения Земли [3-5].

Расчет проводился в программе «ExteriorBallistics 2.6». По данным расчетам внешней баллистики максимальная скорость подхода к броне на дистанцию 1500м обеспечивается пороховом 4/1 400 гр. и составляет 1303 м/с. Минимальная скорость наблюдается у пороха 4/1 фл 350 гр. 981 м/с.

Для моделирования конечной баллистики были выбраны три варианта брони:

1) Верхний броневой лист БМП Франции из алюминиевого сплава, под углом 70° от нормали, толщиной 32 мм [6], [9].

2) Нижний броневой лист российской БМП-3. Лист находится под углом 30° от нормали и сделан из 10-мм стального листа, 70-мм воздушной прослойки и основной комбинированной брони из стали 12 мм и 60 мм сплава алюминия [7], [9].

3) Гомогенный броневой лист из алюминиевого сплава В95, толщиной 75 мм, под углом 60° [8], [9].

Моделирование трёхмерной задачи осуществлялось в программном комплексе «ANSYS AUTODYN».

Численное интегрирование уравнений совместно с определяющими соотношениями для материалов при соответствующих начальных и граничных условиях выполнялось на Эйлеровой сетке для воздуха и на Лагранжевой сетке для сердечника и преграды.

Для описания поведения материала сердечника и преграды используются: уравнение состояния Ми-Грюнайзена, уравнение упруго-пластичного материала Джонсона-Кука и уравнение разрушения материала Джонсона-Кука.

По результатам моделирования было получено, что броневой лист французской БМП пробит при минимальной скорости встречи, а остаточная скорость составляет 450 м/с (рис. 5). Броня российской БМП-3 пробивается при максимальной скорости встречи, а остаточная скорость ударника составляет 800 м/с (рис. 6).

При моделировании проникания в гомогенную броню проводилась проверка расчётных данных предлагаемых западными странами по глубине бронепробития. На дистанции 1500 м телескопический подкалиберный боеприпас должен был пробивать 150 мм брони. Результаты моделирования показали, что пробитие осуществлялось только при скорости встречи 1500 м/с (рис. 7). Расчёты соответствуют предоставленным данным.

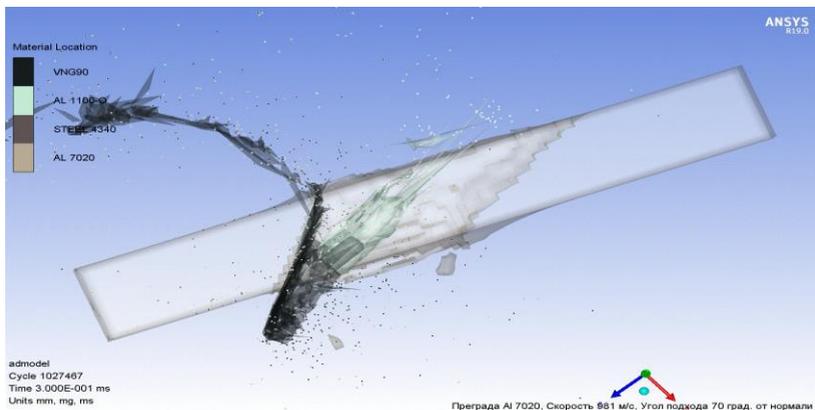


Рис. 5. Верхний броневой лист БМП Франции

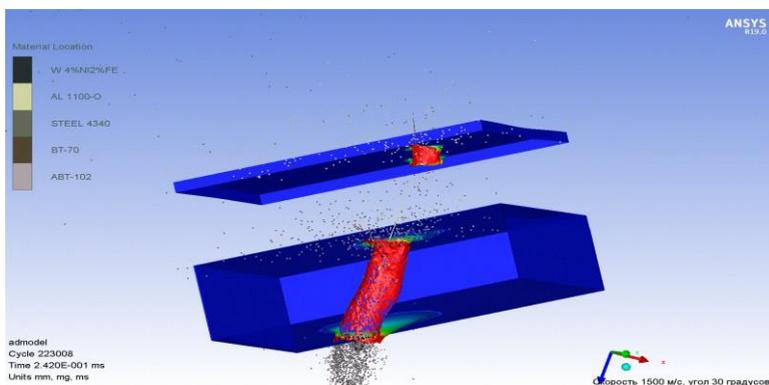


Рис. 6. Нижний броневой лист российской БМП-3

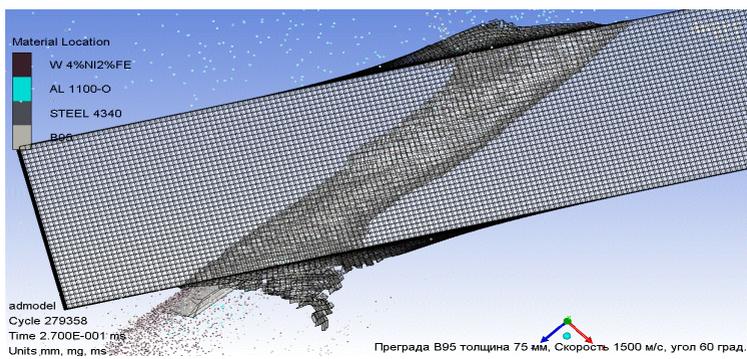


Рис. 7. Гомогенный броневой лист из алюминиевого сплава B95

Литература:

1. Одинцов В.А. «Техника и вооружение» / [http : // www.otvaga2004.ru](http://www.otvaga2004.ru)
2. Пат. EP0489282B1 German, «Telescopic ammunition cartridge» / John B. Davis E/ Оpubл.14.11.90
3. Е.А. Хмельников, А.В. Стыров. Решение основной задачи внутренней баллистики: Учеб. пособие по курсу «основы баллистики и аэродинамики». Нижний Тагил: ФКП «НТИИМ», 2017. 122с.
4. Монография. Под ред. заслуженного деятеля науки РФ, д-ра техн. на ук, профессора Л.Н. Лысенко и академика РАН, д-ра техн. наук, профессора А.М. Липанова. — Москва: Машиностроение, 2006. — 461 с.
5. Правдин В.М., Шанин А.П. Баллистика неуправляемых летательных аппаратов. Снежинск, издательство РФЯЦ-ВНИИТФ, 1999. – 496с.
6. Внешняя баллистика : учебное пособие / Л. Н. Лысенко. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 328 с
7. «Боевая бронированная машина ИВСІ» / <http://www.nevskii-bastion.ru>
8. Гомырин О.А. «Вестник бронетанковой техники» / <http://www.bvtv.narod.ru>
9. ГОСТ 4784-97.Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые
10. Библиотеки материалов программного комплекса ANSYS AUTODYN
11. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Либроком, 2015. - 272 с.

**РАСЧЁТНАЯ ОЦЕНКА СХЕМ ПОСТРОЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ
БЫСТРОХОДНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

И.Д. Шадрин, Д.В. Юдинцев

**Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского
федерального университета**

**им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Нижний Тагил, ivan.shadrin12@gmail.com**

В данной работе приводится расчёт электромеханических трансмиссий для основного боевого танка Т-90.

В большинстве армий мира танк рассматривается, как наступательное средство, поэтому принципы его применения жёстко связаны с проблемами

обеспечения движения и увеличения подвижности. Важнейшей составляющей повышения подвижности боевых машин является совершенствование их трансмиссий. С этой целью на перспективные образцы разрабатываются принципиально новые виды трансмиссий.

In this paper, the electromechanical transmissions are calculated for the main battle tank T-90.

Mobility is crucial the main and fundamental properties of the main battle tanks. One of the most important components of increasing the mobility of combat vehicles is the improvement of their transmissions. According to the method of energy transfer from the engine to the drive wheels, the scientists divide them into three types: mechanical, hydromechanical and electromechanical.

Трансмиссия (силовая передача) – это совокупность агрегатов, соединяющих двигатель танка с его движителем (ведущими колёсами), а также системы, обеспечивающие работу агрегатов трансмиссии. Основное назначение трансмиссии заключается в изменении тяговых усилий, скоростей и направления движения танка.

В общем случае трансмиссия может включать в себя: главный фрикцион; карданный вал; бортовые входной редуктор; коробка передач (КП); механизм передач и поворота; остановочные тормоза; бортовые редукторы (БР).

Трансмиссии, по способу передачи энергии от двигателя к ведущим колёсам, делятся на механические, гидромеханические и электромеханические (ЭМТ).

Электромеханическая трансмиссия – обеспечивает передачу тягового усилия от первичного двигателя (Д), используя электрически соединённые электрогенератор (ЭГ) и электродвигатели (ЭД), которые в свою очередь, соединяются с ведущими колёсами через БР (рисунок 1). Электрическая передача обеспечивает удобное изменение частоты и направления вращения на выходе, плавное трогание с места, а также распределение мощности на несколько ведущих колёс.

Генераторная установка может быть расположена в любом месте транспортного средства независимо от расположения тяговых ЭД и не ограничивает (в пределах гибкости кабелей, питающих ЭД) перемещение последних относительно ЭГ. Также, благодаря кабельному подключению органов управления каждый член экипажа, при необходимости, сможет управлять движением машины. Реализуемо дистанционное управление с помощью выносного пульта; появляется возможность роботизации машины.

Отсутствие жёсткой механической связи между агрегатами ЭМТ ведёт к бесступенчатому изменению крутящего момента, что значительно повышает простоту и надёжность механической части силовой переда-

чи; расширяется возможность создания различных компоновочных схем.

Крутящий момент серийных ЭД изменяется обратно пропорционально частоте вращения, сохраняя почти постоянную мощность. Данное свойство упрощает управление танком и повышает среднюю скорость за счёт более полного использования мощности двигателя.

Обеспечивается аккумулярование генерируемой, при торможении и движении под уклон, энергии для последующего питания потребителей в экстренных случаях, а также для движения с помощью силовых электродвигателей при неработающем основном двигателе.

Схема с бортовыми электромашинами – идентична схеме с бортовыми фрикционами, в которой: удалена центральная КП; бортовые фрикционы заменены электромашинами (ЭМ), соединёнными с ведущими колёсами через БР (рисунок 2) [1; стр.2].

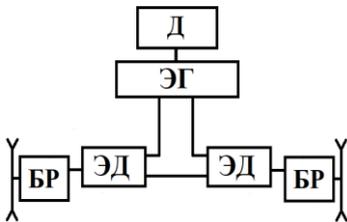


Рис. 1 – схема ЭМТ

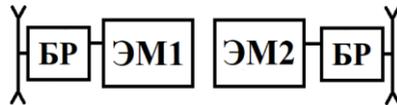


Рис. 2 – схема с бортовыми электромашинами

Для расчёта кинематической схемы, за основу возьмём шасси основного боевого танка (ОБТ) Т-90. Примем, что ОБТ движется по луку с дёрном, при этом, сила тяги по сцеплению гусениц с опорной поверхностью всегда реализуется.

Технические характеристики шасси ОБТ Т-90

Масса машины m , кг	49500
Коля B , м	2,79
База L , м	4,285
Высота центра масс, м	1,2
Передаточное отношение бортовой передачи $i_{БР}$	10,99
Радиус ведущего колеса $R_{в.к}$, м	0,314
Максимальная скорость танка, км/ч	70
Максимальная частота вращения вала электромашин, об/мин	6500

Расчёт будет вестись для отстающего и забегающего бортов; в зависимости от внешних условий движения и теоретического радиуса пово-

рота R_T . Уточним, что при радиусе поворота более 10 метров, поворот танка будет производиться с помощью ЭМ; в противном случае используются тормозные устройства гусеничной машины. Теоретический радиус поворота примем в пределах от 10 до 100 метров.

Выбранная опорная поверхность характеризуется: малым сопротивлением прямолинейному движению $f = 0,07$, но большим сопротивлением повороту машины $\mu_{max} = 0,8$.

Силы тяги гусениц, для забегающего и отстающего бортов, которые определяются сопротивлением прямолинейному движению и сопротивлением повороту, в первом приближении могут быть определены следующим образом [1; стр.6]:

$$P_i = \frac{fmg}{2} \pm \frac{\mu mgLK}{4B}, \#(1)$$

где μ – коэффициент сопротивления повороту гусеничной машины; обычно рассчитывается по формуле Никитина:

$$\mu = \frac{2\mu_{max}B}{1,85B + 0,3R_T k}, \#(2)$$

Используя зависимость (2), приведём расчёт силы тяги к виду:

$$P_i = \frac{mg}{2} * \left(f \pm \frac{\mu_{max}LK}{1,85B + 0,3R_T k} \right), \#(3)$$

Учитывая допущение о неизменности в повороте скорости центра масс гусеничной машины, найдём частоту вращения валов ЭМ:

$$\omega_{ЭМi} = \frac{2R_T \pm B}{2R_T} \omega_{пр}, \#(4)$$

где $\omega_{пр}$ – частота вращения валов ЭМ в режиме прямолинейного движения.

Далее, определим крутящие моменты для отстающего $M_{ЭМ1}$ и забегающего $M_{ЭМ2}$ борта, которые развивают ЭМ на основе зависимости (3) (механический коэффициент полезного действия гусеничного движителя и трансмиссии примем равным 1) (рисунок 3):

$$M_{ЭМi} = \frac{mgR_{в.к}}{2i_{БР}} * \left(f \pm \frac{\mu_{max}LK}{1,85B + 0,3R_T k} \right), \#(5)$$

где $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, m/c^2 ; K – поправочный коэффициент момента сопротивления повороту; k – коэффициент,

определяющий соотношение, между фактическим R_{ϕ} и теоретическим R_T радиусами поворота центра масс гусеничной машины.

Полученные результаты позволяют проанализировать нагруженность электромашин, используемых в схеме электромеханической трансмиссии с бортовыми электромашинами.

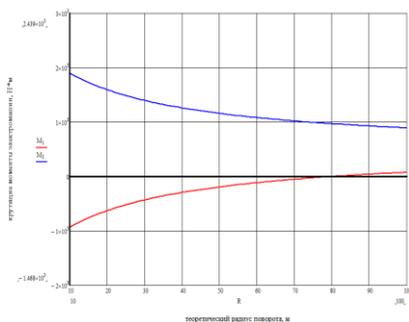


Рис. 3 – график потребного момента ЭМ

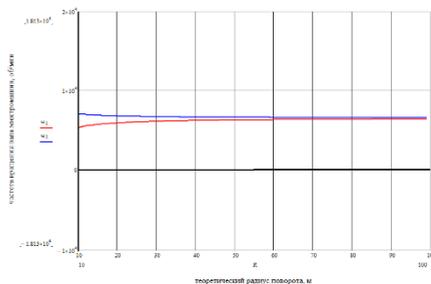


Рис. 4 – график частоты вращения вала ЭМ

По результатам анализа, можно сделать вывод, что стоит продолжить научно-исследовательскую работу, направленную на поиск и расчёт различных кинематических схем ЭМТ для гусеничной техники.

Литература:

1. Б.В. Падалкин, С.А. Харитонов, Г.О. Котиев. Анализ схем построения электрических трансмиссий гусеничных машин – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 17 с.
2. М.Ю. Анвельт, В.Г. Герасимов. Электротехника: учебник для вузов. – М.: “Высш. школа”, 1976. – 560 с.
3. С.В. Устьянцев, Д.Г. Колмаков. Т-72/Т-90. Опыт создания отечественных ОБТ. – Нижний Тагил: УВЗ-Медиа Сервис, 2013. – 303 с.
4. И.Ю. Лепешинский. Устройство бронетанковой техники. Омск: ОмГТУ, 2011. – 301 с.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВЫТЯЖКЕ И ШТАМПОВКЕ

В.А. Шальнев², А.А. Пушкарёв¹

¹Акционерное Общество «Новосибирский Патронный Завод»

²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, shalnev.2014@stud.nstu.ru

В статье ставится задача повышения точности изготовления деталей при вытяжке и штамповке. В результате анализа статистических данных замеров диаметров заготовок, получены дисперсия и математическое ожидание значения диаметра заготовки после операции обработки металла давлением. Основываясь на полученных данных, выдвинуто предположение о том, что, повысив точность изготовления заготовок на предыдущих этапах, на следующих операциях можно получить меньшую величину дисперсии, что позволит увеличить время работы инструмента и сократить количество простоев оборудования.

The article aims to improve the accuracy of parts manufacturing during drawing and stamping. As a result of the analysis of statistical data of measurements of diameters of preparations, dispersion and mathematical expectation of value of diameter of preparation after operation of processing of metal by pressure are received. Based on the data obtained, it is assumed that by increasing the accuracy of the workpiece at the previous stages, the following operations can be obtained a smaller amount of dispersion, in the following operations, you can get fewer differences, which will increase the working time of the tool and increase the number of simple equipment.

Получение дополнительной экономической выгоды – одна из важнейших задач на любом производстве. Повышение производительности труда – один из факторов, оказывающих влияние на эффективность работы предприятия.

Производительность труда можно повысить, сократив количество простоев оборудования, связанных с его переналадкой. Рабочий инструмент, в процессе эксплуатации, подвергается износу, и, с увеличением износа, детали, получаемые на этом оборудовании, начинают отходить от заданных чертежных размеров. При превышении допуска на размер, деталь считается условно не годной, а партия таких деталей подлежит дальнейшему разделению на окончательный брак и исправимый брак. Для уменьшения количества брака, рабочий инструмент проверяют на износ и, в случае необходимости, заменяют его. Каждая замена инструмента требует отладки работы станка, что является причиной простоя оборудования и, как следствие, потерей возможной экономической выгоды.

Для увеличения время работы инструмента, можно повысить его износостойкость, а можно повысить его точность. Если повышение изно-

состойкости влечет за собой удорожание самого инструмента и его производства, то повышение его точности можно достичь применением станков с числовым программным управлением, что в наше время не является сложной задачей.

Для подтверждения этого предположения, была собрана статистика по внешнему диаметру заготовок после операции вытяжки. Операция выполняется на роторном станке, на котором установлено 6 единиц матриц. Выборка заготовок сделана в количестве 50 штук (Рисунок 1).

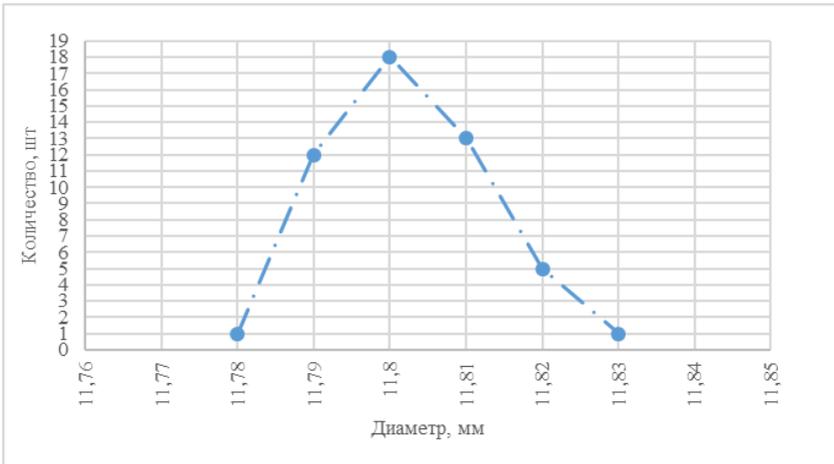


Рис.1 – Распределение диаметров заготовок

Учитывая то, что диаметр матрицы, используемой для этой операции, равен 11,74Н7, упругая деформация заготовки составляет от 0,04 мм до 0,09 мм, а математическое ожидание размера заготовки составляет [1]:

$$M(D) = \sum_{i=1}^{\infty} D_i * p_i = 11.78 * 0.02 + 11.79 * 0.24 + 11.8 * 0.36 + 11.81 * 0.26 + 11.82 * 0.1 + 11.83 * 0.02 \approx 11.80 \text{ мм}$$

В данном случае, получаемые заготовки считаются годными, так как необходимый размер заготовки лежит в диапазоне от 11,78 мм до 11,84 мм. Учитывая это, можно отметить, что на износ инструмента имеется допуск в 0,01 мм.

Запас на износ можно увеличить, повысив точность изготовления самого инструмента. Матрица имеет допуск на размер Н7=+0.018 мм, следовательно, значение дисперсии диаметра заготовки зависит не

только от допуска на заготовку, полученную с предыдущей операции и допуска на сам материал, но и на допуск изготовления матрицы [2].

Учитывая, что разброс диаметров заготовок равен 0,05 мм, а матрица имеет точность 0,02 мм, можно предположить, что, применив к диаметру матрицы допуск $H_6=+0,011$, можно повысить точность изготовления изделий на 0,01 мм и получить разброс не 0,05 мм, а 0,04 мм. Запас на износ, в свою очередь увеличится до 0,02 мм, что позволит сократить периоды переналадки оборудования до двух раз.

В ходе дальнейших исследований планируется изготовить опытную партию матриц и произвести выборку получаемых на этих матрицах, заготовок, дабы подтвердить или опровергнуть имеющиеся предположения. Далее будет произведена выборка заготовок на последующей операции штамповки для оценки влияния ужесточения допуска на инструмент на предыдущей операции.

Литература:

1. Технология производства патронов стрелкового оружия. Часть II. Процессы штамповки. Агеев Н.П., Данилин Г.А., Огородников В.П. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2007, - 533 с.
2. Малов А.Н. Производство патронов стрелкового оружия. Москва, Оборонгиз, 1947, - 406 с.

**СЕКЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ**

**КАФЕДРА АВТОНОМНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ
И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**

В.Н. Легкий

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, legkij@corp.nstu.ru**

Приводится краткая история кафедры Автономных информационных и управляющих систем. Обозначаются направления подготовки и сферы деятельности студентов, аспирантов и выпускников кафедры.

The brief history of department of Autonomous information and control systems is considered. The field of study and students, post-graduates and graduates scope of activity are denote.

История кафедры АИУС (до 1999 г. она называлась кафедрой Приборных устройств) началась с открытия в НЭТИ в 1972г. подготовки инженеров специальностей 0547 и 0575. Кафедра неоднократно занимала призовые места в конкурсах изобретателей и рационализаторов НЭТИ. В 80-е годы коллектив неоднократно отмечался как один из лучших по научной, спортивной работе. Среди студентов кафедры было несколько Ленинских стипендиатов.

С 20 апреля 1993 года кафедра ПУ переведена в состав факультета Автоматики и вычислительной техники (АВТФ) (Приказ №163). Кафедра имела филиал в Сибирском НИИ оптических систем, заведующий филиалом - главный инженер СНИИОС к.т.н., профессор кафедры АИУС Галун Борис Васильевич. Значительную роль в научной и методической работе кафедры в 70-80-е годы играло НПО «Луч», а также НИИ электронных приборов. Филиал кафедры при нем возглавлял последующий директор НИИЭП к.т.н. Эдвабник Валерий Григорьевич.

С сентября 1995 года кафедрой руководил к.т.н. доцент Легкий Владимир Николаевич. В декабре 1999 г. в рамках специальности 210800 кафедра открыла вторую специализацию 210807 «Многофункциональные измерительно-управляющие системы», где студенты специализируются в области оптоэлектронных, тепловизионных и радиотехнических бортовых систем для авиационных комплексов вооружения. Данная специализация ориентирована на оборонные предприятия Новосибирска и Екатеринбурга.

Кафедра Приборных устройств продолжает укреплять научно-техническую базу, здесь созданы оптоэлектронные стенды (координаторы, лазерные дальномеры и высотомеры для авиации), лаборатория

специальных радиосистем с безэховой камерой, лаборатория бортовых антенн для летательных аппаратов, развертывается учебная компьютерная сеть с программно-аппаратными элементами защиты информации.

В 1996г. специальность 210800 получила название «Автономные информационные и управляющие системы» (Приказ ГК РФ по высшему образованию от 24.07.96г. №1309). На кафедре ведется обучение магистров по программе: 55.02.12 «Элементы и устройства систем управления», а также осуществляется подготовка аспирантов по специальности 05.12.21 «Радиотехнические системы специального назначения, включая технику СВЧ и технологию их производства». Научные исследования ведутся в интересах оборонной промышленности, по тематике двойного назначения по направлениям: оптимальная и адаптивная обработка сложных локационных сигналов от аэродинамических объектов, в том числе с применением теории распознавания образов; зондирование плотных неоднородных сред в СВЧ и ИК диапазонах.

В 1996г. по инициативе кафедры Научно-методический совет вводит новую специализацию конверсионного плана 210806 «Технические средства защиты объектов и информации». В НГТУ начинает активно развиваться новое направление – информационная безопасность. Благодаря опыту оборонных исследований кафедры, наличию аппаратуры и фонда спецлитературы, кафедра входит в УМО по образованию в области информационной безопасности при ИКСИ Академии ФСБ, а также в число исполнителей Межвузовской научно-технической программы «Методы и технические средства обеспечения безопасности информации» (головной ВУЗ программы – МИФИ).

Приказом Минобразования России №1781 от 20.08.1997 г. в соответствии с решением Межведомственной комиссии Совета Безопасности РФ от 28.09.1995 г. №8.3 на базе кафедры создан Западно-Сибирский региональный учебно-научный Центр по проблемам информационной безопасности в системе высшей школы. Директором Центра назначен к.т.н., доцент Легкий В.Н. За восемь лет в Западно-Сибирском РУНЦ на курсах «Защита информации» прошли переподготовку около 300 человек, в том числе специалисты Госкомрезерва РФ, ГТК РФ, банков, предприятий транспорта, связи и оборонной промышленности Сибири, Алтая и Дальнего Востока.

В 1999г. кафедра прошла экспертизу и НГТУ получил лицензию по специальности 075500 «Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем» (Приказ Минобразования России от 01.04.99г. №821). С учетом потребностей региона НГТУ ведет подготовку по широкой специализации 075511 «Комплексное обеспечение безопасности информационных систем и объектов». С учетом нали-

чия двух специальностей Приказом НГТУ 344 от 01.06.1999 г. кафедры приборных устройств переименована в кафедру «Автономные системы и информационная безопасность» (АСИБ).

С 2000г. кафедра проводит Всероссийскую конференцию «Информационная безопасность». В 2004г. открывается аспирантура по специальности 051319 «Защита информации». В 2004г. коллектив кафедры насчитывает 25 преподавателей, 6 сотрудников и 3 аспиранта.

В 2005г. специальность 075500 «Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем» передается на кафедру Вычислительной техники АВТФ и далее на ее базе создается кафедра Защиты информации АВТФ. С 2005г. кафедра АСИБ переименована в кафедру Автономных информационных и управляющих систем, с октября 2006г. кафедру возглавляет к.т.н. с.н.с. Ющенко Валерий Павлович. В 2008г. здесь начинается подготовка специалистов по специальности 17.05.01 «Боеприпасы и взрыватели» специализация «Автономные системы управления действием средств поражения», которые могут работать на высокотехнологичных оборонных предприятиях, так же в других отраслях (авиапромышленность, Госкорпорации Росатом и Роскосмос, ОАО «РЖД» и др.).

В мае 2011 г. кафедру АИУС возглавил д.т.н. доцент Легкий В.Н. С учетом особенностей подготовки оборонных кадров широкого профиля кафедра АИУС переходит на факультет Летательных аппаратов (приказ по НГТУ №757 от 4.05.2011г.), где готовит бакалавров и магистров по направлению 27.03.04 и 27.04.04 «Управление в технических системах, профиль: «Автономные информационные и управляющие системы»)), специалистов по специальности 17.05.01 «Боеприпасы и взрыватели, специализация: «Автономные системы управления действием средств поражения» и аспирантов по направлениям 27.06.01 «Управление в технических системах», 12.06.01 – «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии».

С 1 сентября 2019г. исполняющим обязанности заведующего кафедрой АИУС назначен д.э.н., к.т.н., чл.-корр. Российской Академии Ракетных и Артиллерийских Наук (РАРАН) Эдвабник Валерий Григорьевич, приказ по НГТУ №1443/1 от 30.08.2019г.

Кафедра с 2012 г. ведет целевую подготовку для предприятий ОПК. Выпускникам предлагается трудоустройство с широким выбором места работы. За годы работы кафедра подготовила более тысячи пятисот инженеров, работающих на предприятиях ОПК и в других отраслях промышленности, науки, сферы управления.

Уровень подготовки обеспечивается постоянным взаимодействием кафедры с профильными предприятиями и первую очередь с АО «НИИ

электронных приборов», ведущие специалисты которого преподают профессиональные дисциплины, руководят выпускными работами. Выпускники кафедры работают в области создания систем ближней локации в диапазоне электромагнитных волн от дециметрового до оптического, а также бортовых вычислительных машин и автоматики для различных систем вооружения и военной техники - от средств поражения целей на заданной территории до высокоточного ракетного и торпедного оружия. Основные области применения бортовой радиотехнической, оптоэлектронной и цифровой аппаратуры - сверхбыстродействующие и помехоустойчивые системы обнаружения целей и управления действием средств поражения для различных видов вооружения и военной техники: зенитные ракетные комплексы, авиационные ракеты и авиабомбы, ракеты и снаряды комплексов корабельного базирования, реактивные системы залпового огня, артиллерия. Студенты кафедры АИУС трудоустроиваются на предприятия, зачастую уже во время прохождения производственной практики. Ряд выпускников стали главными конструкторами изделий, руководителями научных подразделений и ведущими специалистами.

Кафедра Автономных информационных и управляющих систем за период с 1980г. выполнила 25 НИР и получила 20 авторских свидетельств и патентов.

Возможности кафедры АИУС по подготовке в области бортовых радио - оптоэлектронных измерительных и навигационных систем управления летательными аппаратами и средствами поражения позволяют на факультете летательных аппаратов НГТУ в полной мере обеспечить подготовку кадров по тематике авиационных комплексов вооружения: авиастроение – системы наведения и управления ЛА и БП – средства поражения. На кафедре ведется проектно обучение по таким направлениям как «Проектирование бортовых радиочастотных и оптоэлектронных информационно-измерительных систем», «Цифровая обработка сигналов в бортовых радиоэлектронных устройствах летательных аппаратов», «Проектирование антенных решеток систем ближней локации на интегрированном волноводе». Студенты и аспиранты кафедры регулярно участвуют в научных конференциях различного уровня, получают призовые места, являются соавторами научных публикаций в рецензируемых изданиях.

СЕКЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

**ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ПРОБЛЕМ
ЭКОЛОГИИ НГТУ**

В.В. Ларичкин

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, larichkin@corp.nstu.ru**

В связи с 60-летним юбилеем факультета летательных аппаратов Новосибирского государственного технического университета, приведена история образования и развития одного из структурных подразделений факультета – кафедры инженерных проблем экологии. Указаны образовательные программы, научная инфраструктура, направления научно-исследовательской деятельности, участие студентов в экологических проектах.

In connection with the 60th anniversary of the faculty of aircraft of the Novosibirsk State Technical University, the history of the formation and development of one of the structural divisions of the faculty, the department of environmental engineering, is given. Educational programs, scientific infrastructure, research areas, student participation in environmental projects are indicated.

В 1995 году Госкомвузом России, Сибирским отделением РАН и администрацией Новосибирской области было принято решение №1560/117/308 от 16.11.95 о подготовке в НГТУ квалифицированных инженерных кадров для решения экологических проблем Сибирского региона. Начиная с 1998 года, впервые за Уралом в НГТУ был открыт набор на специальность 330200 – Инженерная защита окружающей среды (в топливно-энергетическом комплексе). Квалификация выпускника – инженер-эколог. Выпускники данной специальности должны были быть подготовлены к выполнению научно-исследовательской, производственно-технологической, организационно-управленческой и проектной профессиональной деятельности.

Такие специалисты нужны везде – от нефтеперерабатывающих, машиностроительных, химических заводов, тепловых электростанций, до городских и областных управленческих структур по охране окружающей среды.

Кафедра инженерных проблем экологии (ИПЭ), первоначально была образована в виде Академической кафедры в составе кафедры аэрогидродинамики (АГД) факультета летательных аппаратов приказом ректора НГТУ №389 от 19 июня 1998 г.

Основателями кафедры ИПЭ были: д.т.н., профессор Кураев Анатолий Алексеевич, на то время - декан ФЛА и зав. кафедрой АГД; д.т.н., профессор, зам. директора по науке Института катализа СО РАН Носков Александр Степанович – первый заведующий кафедрой ИПЭ (2002...2006 гг.), д.т.н., профессор Ларичкин Владимир Викторович – заведующий кафедрой ИПЭ с 2006 года по настоящее время.



*Кураев
Анатолий Алексеевич*



*Носков
Александр Степанович*



*Ларичкин
Владимир Викторович*

Рис. 1. Основатели кафедры инженерных проблем экологии НГТУ
НЭТИ

Первый набор студентов на специальность был осуществлен в **сентябре 1998 г.** из желающих студентов, успешно окончивших 2 года обучения на разных специальностях факультета летательных аппаратов. В дальнейшем, в связи с завершением формирования контингента студентов по специальности 280202 (330200) – инженерная защита окружающей среды, приказом ректора НГТУ №617 от **19.09.02 г.** академическая кафедра ИПЭ была преобразована в структурное подразделение НГТУ – кафедру «Инженерные проблемы экологии» факультета летательных аппаратов.

Официальный День рождения кафедры ИПЭ - 1 сентября 2002 года.

Один из первых в Сибири выпуск инженеров – экологов в количестве 15 чел. состоялся - **01 июля 2000 года.**

В настоящее время на кафедре работают 25 преподавателей (профессоров - 9, доцентов - 12, старших преподавателей - 3, ассистентов - 1). Педагогический коллектив состоит из штатных преподавателей - 11, и совместителей - 14, ведущих учёных из Института катализа СО РАН, Института химии твердого тела и механохимии СО РАН, Института теоретической и прикладной механики СО РАН, Института химической биологии и

фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирского научно-исследовательского института гигиены Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

В связи с участием НГТУ в Болонском процессе Приказом ректора **№993 от 12.07.99 г.** на кафедре была открыта подготовка бакалавров по направлению 280200 (553500) – «Защита окружающей среды». Подготовка студентов, **поступивших до 2010 года включительно**, велась в две ступени: **1-я ступень** - 4-х годичная (бакалавриат) по направлению **280200.62 – «Защита окружающей среды»**, 2-я ступень - 5-и годичная (инженерная подготовка) по специальности **280202.65 – «Инженерная защита окружающей среды»**.

В связи с введением, начиная с 2011 года, нового федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования 3-го поколения на кафедре ИПЭ началась подготовка **бакалавров и магистров** по направлению **280700 «Техносферная безопасность»** с профилем (специализацией) **Инженерная защита окружающей среды**. С 2013 года изменился шифр направления. Вместо 280700, стало **20.03.01** для бакалавриата и **20.04.01** для магистратуры.

Учебную, производственную и преддипломную практики студенты проходят на крупнейших предприятиях г. Новосибирска – Горводоканал, НАПО им. В.П. Чкалова, ОАО "Новосибирский авиаремонтный завод", НЗХК и др., ведущих НИИ СО РАН – Институте катализа, Институте химии твердого тела и механохимии, Институте теоретической и прикладной механики, Центральном Сибирском Ботаническом саду, в Министерстве природных ресурсов и экологии Новосибирской области, частных предприятиях экологического направления – ЭКОНИИпроект, СибКОТЭС, ООО «Чистый город», группе компаний «Чистый сервис» и др.

В 2011 году на кафедре ИПЭ было открыто новое направление подготовки **бакалавров 05.03.06 (022000) «Экология и природопользование»** с профилем (специализацией) **Экологическая безопасность**. В июне 2017 года состоялся первый выпуск бакалавров этого направления.

В настоящее время на кафедре ИПЭ аккредитована аспирантура (очная, очная целевая и заочная) по **направлению 05.06.01 Науки о земле**. Научные специальности: 25.00.36 Геоэкология (в горно-перерабатывающей промышленности и металлургии), 03.02.08 Экология (в нефтегазовой отрасли и энергетике).

На сегодняшний день кафедрой осуществлён выпуск за период 2000...2013 гг. инженеров–экологов – 226 чел., бакалавров за период

2012...2019 гг. – 155 чел.; магистров за период 2013...2019 гг. - 61 чел.; аспирантов за период 2014...2019 гг. – 8 чел. Всего: 450 чел.

Выпускники кафедры работают по специальности практически во всех отраслях промышленности в отделах по охране окружающей среды, в природоохранных учреждениях, подразделениях Ростехнадзора, частных фирмах экологического профиля, в различных НИИ Сибирского отделения Российской Академии наук.

Кафедра располагает современной материально-технической базой, обеспечивающей получение качественного образования. В учебном процессе кафедры также широко используется научное оборудование лабораторий Институты СО РАН.

Научная инфраструктура кафедры ИПЭ включает:

1. Научно-образовательный центр «Новые материалы на основе техногенных отходов»

2. Независимый испытательный центр НГТУ (НИЦ НГТУ)

3. Центр коллективного пользования «Экоаналитическая лаборатория» (ЦКП ЭкоЛаб)

4. Учебно-научная лаборатория «Инженерная защита окружающей среды»

5. Научно-образовательный центр «Катализ», образованный на базе Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, с участием студентов и преподавателей Новосибирского государственного университета (НГУ) и Новосибирского государственного технического университета (НГТУ).

На кафедре с участием студентов ведётся разработка проектов природоохранной деятельности промышленных предприятий, таких как:

- проекты нормативов выбросов в атмосферу (нормативы ПДВ);
- проекты нормативов образования отходов (ПНООЛР);
- паспортизация отходов промышленных предприятий;
- проекты санитарно-защитных зон для предприятий и др.

Направления научно-исследовательской деятельности:

– Разработка проектов очистки газовых выбросов от пыли;

– Разработка мероприятий, проектов по разделению неоднородных гетерогенных систем (отстаивание, фильтрование, центрифугирование, очистка газов и жидкостей);

– Разработка рекомендаций по оптимизации и увеличению эффективности массообменных процессов (сушка, ректификация, абсорбция, адсорбция, перегонка, экстракция, кристаллизация и т.п.);

– Переработка твердых отходов механическими, механохимическими и термическими методами.

– Разработка методологии изготовления и исследования фазового состава, структуры и свойств композиционных материалов с использованием техногенных и коммунальных отходов.

Сотрудники кафедры активно участвуют в формировании в обществе ответственного отношения к окружающему миру, пропаганде экологических знаний, вовлечению широкой аудитории студентов в экологическую деятельность.

В 2019 году по инициативе кафедры НГТУ НЭТИ вступил в общественное объединение «Ассоциация «зелёных» вузов России». 18 мая 2019 года студенты приняли участие в экологическом субботнике в рамках экологической стратегии «Мир без отходов» (Worldly Without Waste).

Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области, региональное представительство Национального совета по корпоративному волонтерству в Новосибирской области, Новосибирское отделение межрегиональной общественной экологической организации «ЭКА», региональная ассоциация «Зеленые ВУЗы» организовали 25 мая этого года волонтерскую акцию «Посади лес», посвященную Всероссийскому дню посадки леса 2019.



Рис. 2 Волонтерская акция «Посади лес». Коченевский район, п. Лесная поляна

Цели акции: 1 - Посадка деревьев (2-х летних саженцев сосны) на землях лесного фонда Коченевского лесничества. 2 - Воспитание экологической культуры через формирование осознанного, бережного отношения к природе и окружающему миру.

Студенты также участвовали во Всероссийской молодёжной акции «RecycleIt_Pro», приуроченной к Международному дню вторичной переработки отходов 15 ноября 2019 года, который отмечается во всём мире с 1997 года и других.

Важно отметить, что студенты экологического профиля активно принимают участие во всероссийских и международных конференциях, интернет-олимпиадах, форумах, становясь победителями в разных номинациях.



Рис. 3. Команда ESOPRO студентов кафедры ИПЭ ФЛА направления Техносферная безопасность, специальность: инженерная защита окружающей среды.
Лауреат 2-й степени VII Межвузовского экологического кубка – 2019.

ГОРНЫЕ УДАРЫ КАК ПРИЧИНА ТРАВМАТИЗМА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

А.А. Алексева, Д.А. Цыганков
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, tsyganov@corp.nstu.ru

Указаны основные горно-геологические и горнотехнические факторы травматизма подземных рабочих. Определены доли аварийности, травматизма с летальным исходом и экономического ущерба при ведении подземных горных работ на угольных шахтах, вызванных горными ударами. Даны рекомендации по предотвращению травматизма при подземной разработке угля.

The main mining and geological and mining factors of injuries of underground workers are indicated. A certain proportion of accidents, fatal injuries and economic damage during underground mining caused by mountain impacts. Recommendations are given on the prevention of injuries in underground coal mining.

Обрушения и вывалы горных пород кровли при любых технологиях очистной выемки остаются одними из основных травмирующих факторов при подземной разработке угля. Это предъявляет особые требования к применяемой системе разработки, а также способам крепления и управления кровлей. При управлении кровлей с применением частичной закладки уровень травматизма от обрушений и вывалов горных пород с тяжелым и смертельным исходом на 25 % больше чем при управлении кровлей с применением полной закладки выработанного пространства, а по сравнению с управлением кровлей полным обрушением - меньше на 45 % [1].

Особую роль в безопасности работ при подземной разработке угля играют горные удары. Число вызываемых ими производственных аварий очень велико и колеблется в пределах 40-80 % от их общего количества. В этой области существует тенденция постепенного сокращения количества производственных аварий, обусловленных горными ударами (рис. 1).

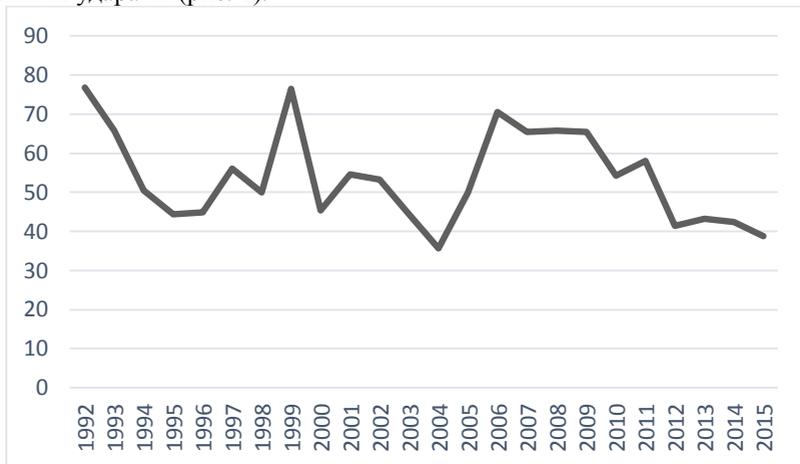


Рис. 1. Доля аварий, являющихся следствием возникновения горных ударов при подземной разработке угля, % [2, 3].

При этом доля травматизма с летальным исходом, возникающего по причине горных ударов, медленно растёт и колеблется в пределах 4-10 % от общего количества случаев (рис. 2).

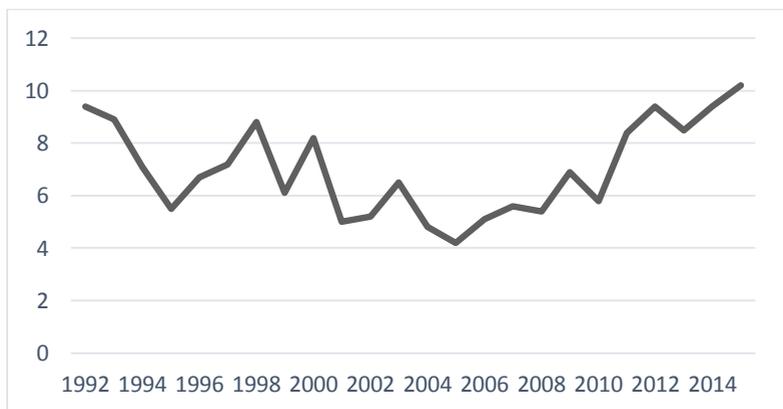


Рис. 2. Доля летального травматизма, являющегося следствием возникновения горных ударов при подземной разработке угля, % [2, 3].

По месту возникновения горные удары, происходящие в угольных шахтах, подразделяются на три группы. К первой относятся классические горные удары, имеющие место в охранных целиках различного назначения. Вторая группа характеризуется воздействием на угольный или породный массив, находящийся на расстоянии от очистного забоя. Первая и вторая группы чаще всего не связаны с ведением горных работ по выемке полезного ископаемого. К третьей группе относятся горные удары, происходящие в действующих очистных забоях и непосредственно связанные с разрушением угля.

Суммарный экономический ущерб, который несут угольные шахты в следствие горных ударов всех трёх типов, находится в пределах 8-16 % от его общей величины и склонен к постепенному увеличению. Наибольший рост экономического ущерба от горных ударов за последние двадцать пять лет приходится на кризисные 2006-2009 гг. Прежде всего это связано с сокращением расходов предприятий на технические и технологические меры по их прогнозу и профилактике, а также увеличением социальных расходов по нетрудоспособности (рис. 3).

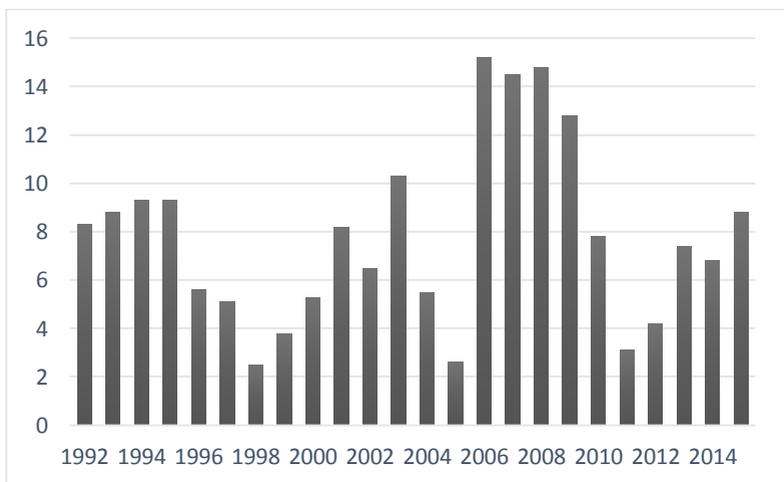


Рис. 3. Доля экономического ущерба, являющегося следствием горных ударов при подземной разработке угля, % [4].

В соответствии с мировой тенденцией добыча угля будет продолжать наращиваться. Применяемые в настоящее время меры безопасности, включая те, которые относятся к горным ударам, не обеспечивают необходимый уровень аварийности, а также зависящих от неё травматизма и экономического ущерба, возникающих при ведении подземных горных работ в угольных шахтах.

В целях повышения безопасности подземной разработки угля, в значительной степени зависящей от эффективности борьбы с горными ударами, необходимо:

1. Сократить применение сплошной системы разработки, поскольку травматизм с тяжёлым и летальным исходом при ней в среднем в три раза выше, чем при столбовой;

2. Придерживаться сложившейся практики борьбы с вывалами и обрушениями путём применения полного обрушения в породах первого класса, частичной закладки выработанного пространства – второго класса, полной закладки – в породах третьего и четвёртого классов;

3. Применять технологии горных работ с максимальными площадями перекрытия пород кровли, комплексной механизацией очистной выемки, а также креплением в участковых подготовительных выработках и местах их сопряжений с лавой;

4. Планировать меры борьбы с горными ударами, исходя из анализа причин и мест их проявления, отдавая предпочтение технологическим мерам предотвращения возможности их возникновения;

5. Вскрывать опасные и угрожаемые по горным ударам пласты по вмещающим породам или неопасным пластикам с проходкой полевых штреков и квершлагов в разгруженных зонах;

6. Вести подготовку шахтного поля так, чтобы обеспечить отработку пластов без оставления охранных целиков;

7. Отрабатывать пласты, опасные по горным ударам, только после предварительного создания разгруженных зон в их призабойных частях и опережающей отработки защитных пластов.

Литература:

1. В. А. Портола, П. В. Бурков, В. М. Гришагин, В. Я. Фарберов. Безопасность ведения горных работ и горноспасательное дело. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 201 с.

2. U. S. Energy Information Administration [Электронный ресурс], 2015. - Режим доступа: <http://www.eia.gov/>, свободный. - Загл. с экрана.

3. International Energy Agency [Электронный ресурс], 2015. - Режим доступа: <http://www.iea.org/>, свободный. - Загл. с экрана.

4. Center For Climate And Energy Solutions [Электронный ресурс], 2015. - Режим доступа: <http://www.c2es.org/>, свободный. - Загл. с экрана.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

А.А.Борисова¹, Т.А.Коротаева^{1,2}

**¹ Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск,**

**² Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск
nasten4ik170598@mail.ru**

В работе представлены результаты численного моделирования распространения вредных примесей из труб ТЭЦ, полученные с помощью пакета программ ANSYS 19.0 (academic). Расчеты модельной двумерной задачи выполнены в рамках осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье - Стокса, с использованием модели турбулентности 'k — ω'. Получены поля скоростей и концентраций диоксида серы, азота, углекислого и угарного газа. Проведен анализ полученных результатов.

The paper presents the results of numerical simulation of the distribution of harmful impurities from CHP pipes, obtained using the ANSYS 19.0 (academic) software package. The calculations of the model two-dimensional problem were carried out in the framework of the Reynolds-averaged Navier – Stokes equations, using the 'k - ω ' turbulence model. The velocity and concentration fields of sulfur dioxide and nitrogen are obtained. The analysis of the results.

В настоящее время проблемы охраны среды относятся к числу важных государственных задач. Один из главных источников негативного воздействия на окружающую среду являются компании энергетической отрасли. К таким компаниям можно отнести ТЭС.

ТЭС вносят немалый вклад в загрязнение атмосферного воздуха (около 27% общего количества выбросов от всей промышленности России). Негативное воздействие на окружающую среду происходит из-за использования органического топлива на теплоэнергетических предприятиях[1].

На сегодняшний день, одним из основных средств, которое позволяет исследовать воздействия на окружающую среду является – математическое моделирование. Эффективность вычислительной техники позволяет численно моделировать процесс распространения продуктов сгорания ТЭЦ.

Целью данной работы является моделирование локального распространения топочных газов при различном соотношении скорости их истечения из дымовой трубы.

В качестве прототипа объекта исследования рассматривается истечение из трубы Новосибирской ТЭЦ-5, являющейся одной из крупнейших электростанций Российской Федерации.[2]. Основным видом топлива является бурый уголь марки 2Б. Процесс возгорания угля происходит в котле, оттуда через дымовую трубу под действием естественной тяги исходят дымовые газы.

В данной работе проводится численное моделирование истечения из дымовой трубы оксидов серы, азота, углекислого и угарного газа. Численное моделирование проводится с использованием академической версии коммерческого пакета программ ANSYS 19. На первом этапе модельная стационарная задача рассматривается в плоской двумерной постановке.

Расчетная область представляет собой прямоугольник высотой 2 километра и шириной 5 километров. Область включает в себя дымовую трубу длиной 180 метров и диаметром 8,4 метра.

В качестве граничных условий задавались: на входной границе расчетной области (слева) условия типа '*velocity_inlet*', на выходной (сверху и справа)- '*pressure outlet*', условие прилипания с заданной температурой на подстилающей поверхности (нижняя граница), на выходе из трубы '*pressure inlet*', условие стенки на стенках трубы.

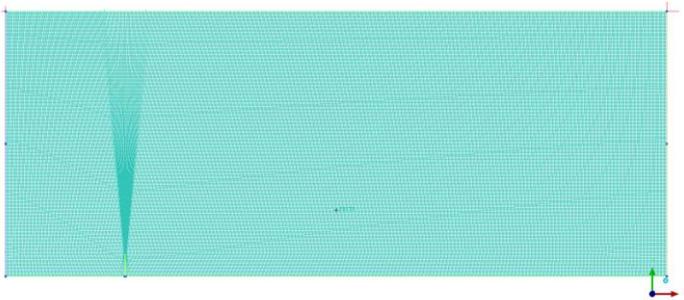


Рис. 1 – Расчётная область, покрытая сеткой

Численно решается система уравнений Навье-Стокса осредненная по Рейнольдсу дополненная моделью турбулентности SST $k-\omega$. Рассматривается пассивное распространение загрязняющих веществ, т.е. без учета возможного химического взаимодействия истекающих загрязняющих веществ с компонентами воздуха.

Параметры в области решения: атмосферное давление 101325 Па, температура окружающей среды 300°K, скорость ветра 4 м/с. При проведении данных расчетов сила тяжести не учитывалась. Скорость ветра на входной границе задавалась постоянной по высоте.

Загрязняющими веществами поступающими в атмосферу являются: азота диоксид, азота оксид, сера диоксид, углерода оксид (Таблица 1).

Таблица 1 – Концентрации химических веществ в массовых долях

Компонент	Содержание массовой доли вещества
CO	0,2
CO ₂	0,3
NO _x	0,0018
NO ₂	0,0009
SO ₂	0,0006
Водяные пары	0,002

Результатами численного моделирования являются поля температур и давления, скорости и концентрации химических веществ (CO, CO₂, O₂, NO_x, водяные пары и т.д.). Пример полученных результатов с учётом загрязняющих веществ со скоростью 5 м/с можно видеть на рисунке 2.

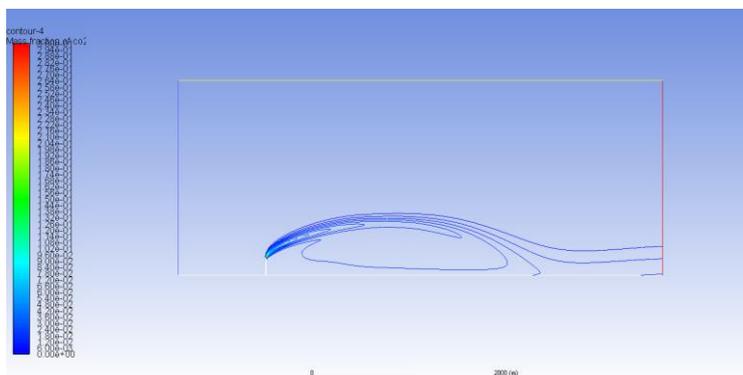


Рис. 2 – Скорость на выходе из трубы – 5 м/с

По полученным данным можно сделать вывод, что с повышением скорости истечения на выходе из трубы, увеличивается высота дымового факела и концентрации токсичных веществ. Наибольшая концентрация дымовых газов поступают в атмосферу при скорости 15 м/с, которые предоставлены в таблице 2.

Таблица 2 – Количество вредных веществ на выходе из дымовой трубы (в массовых фракциях)

Скорость истечения дымовых газов, м/с	Загрязняющие вещества			
	SO ₂	NO ₂	CO	CO ₂
5	0,00010	0,00010	0,0312	0,0450
10	0,00015	0,00020	0,0500	0,0700
15	0,00020	0,00030	0,0700	0,0950

Повышение момента количества движения струи выбрасываемых газов приводит к увеличению высоты дымового факела и, следовательно, должно приводить к снижению приземной концентрации загрязняющих веществ. Полученные результаты сопоставлены с данными работы [3], в целом, данные согласуются.

В результате проделанной работы представлены результаты численного моделирования распространения дымового потока трубы ТЭЦ, полученные с помощью пакета программ ANSYS 19.0 (academic). При неблагоприятном для жилой застройки в окрестности ТЭЦ-5 западном направлении ветра были определены профили загрязняющих веществ по высоте на различном расстоянии от трубы, а также зоны переброса факела и задымления.

Литература:

1. Электронная библиотека, глобальные проблемы окружающей среды и природопользования: [Электронный ресурс] URL – <http://libsib.ru/ekologiya/globalnie-problemi-okruzhaiushey-sredi-prirodopolzovaniya>.

2. Новосибирская ТЭЦ-5: [Электронный ресурс] URL - https://ru.wikipedia.org/wiki/Новосибирская_ТЭЦ-5

3. A Numerical simulation of emissions of pollutants from industrial chimney: Dr. Saleh I. Najim/ Dr. Qais A. Rishack, Mr. Alaa H. Mohammed. - Basrah Journal for Engineering Sciences, vol. 14, no. 2, 2014

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Е.И. Бунькова, В.В. Ларичкин, К.П. Гусев
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, catya.bunkova@yandex.ru

В работе проведен анализ технологий получения строительных материалов с использованием органических отходов. Разработана рецептура получения арболита на основе костры льна с высокими теплоизоляционными свойствами.

The paper analyzes the technology of obtaining building materials using organic waste. A formulation for obtaining arbolite based on flax fires with high thermal insulation properties has been developed.

Согласно статистическим данным за прошедший год [1] посевная площадь льна в России занимала 45 тыс. га, что составляет менее 0,1 % от всей площади посева сельскохозяйственных культур. При этом урожайность льна составила 8700 кг на 1 гектар площади.

Известно, что в процессе первичной переработки льна образуются отходы, основную часть которых составляет костра в виде 60 - 70 % от его массы [2]. При этом около 70 % костры утилизируется на льно-перерабатывающих предприятиях путем сжигания в котельных, а остальная часть вывозится в отвал и является причиной экологического загрязнения.

В работе [3] показано, что органический состав костры льна состоит, мас. %: целлюлоза – 38; лигнин – 46; гемицеллюлоза – 10,5; жиры, воск – 4,8; водорастворимые вещества – 0,7.

Количество неорганической золы в разных частях одного и того же растения различно и зависит от степени зрелости. Содержание чистой золы в льняной костре 1,8 %. По

химическому составу зольная часть (%) включает следующие соединения: P_2O_4 – 5,5; K_2O – 7,2; CaO – 27,2; MgO – 2,3; Mn_2O_3 – 0,4; SiO_2 – 13,6; SO_3 – 32,6; $Fe_3O_4 + Al_2O_3$ – 10,0; Cl – 0,1.

Учитывая свойства данного отхода и то, что выход костры имеет значительные объемы актуально найти практические области его применения, так как это требует Федеральный закон №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

На рисунке 1 представлена схема, которая отражает пути использования костры льна в различных отраслях.

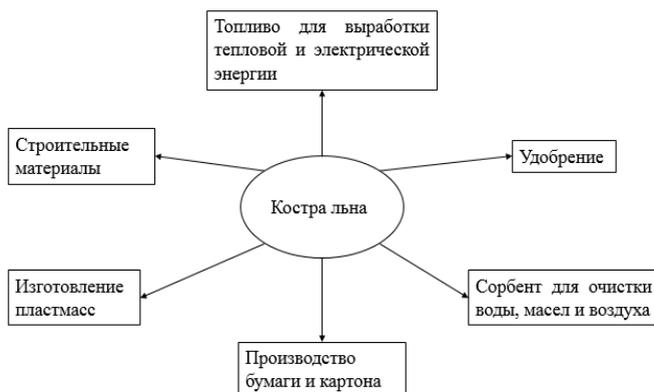


Рис. 1 – Пути использования костры льна в различных областях

Наиболее экономически и экологически выгодно использовать костру льна в производстве строительных материалов. Преимущества использования отхода, как одного из компонент, например, легкого бетона следующие:

- так как костра льна отход, то низкая себестоимость, по сравнению с традиционными заполнителями;
- строительные изделия имеют малую массу и не подвержены гниению;
- легко поддаются различным модификациям (пилке, сверлению, рубке);
- имеют высокие экологические и энергосберегающие качества.

Кроме того, лен, в отличие от древесины, можно выращивать каждый год, что обеспечит стабильность производства строительных материалов, а также позволит, например, сооружать малоэтажные постройки в короткие сроки в зонах, пострадавших от стихийных бедствий.

В работе ставилась задача – разработать рецептуру получения строительного материала (арболита), состоящего из подобранной смеси вяжущего, органических заполнителей растительного происхождения, воды и различных химических добавок. На первой стадии экспериментов в качестве органических заполнителей использовалась костра льна. Была изготовлена партия образцов кострбетона, которые исследовались на прочность, водопоглощение. В дальнейшем предполагается изучить морозостойкость и провести поиск путей повышения качества кострбетона.

Литература:

1. Россия в цифрах. 2019: Краткий статистический сборник. – М: Росстат, 2019. – 549 с.
2. Карпунин И.И. Химия льна и перспективные технологии его углубленной переработки / И.И. Карпунин, И.А. Голуб, П.П. Казакевич. – Минск: Беларус. Навука, 2013. – 96 с.
3. Смирнова О.Е. Костра льна – органический заполнитель для производства строительных материалов // Труды НГАСУ. – Т.14, №3 (52). – 2011. – С. 117-122.

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРО- И НАНО
ТИТАН-МАГНИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ
ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРОДУКТОВ**

Е.П. Вентлянд, В.Н. Панченко

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, katerina.ventlyand@mail.ru**

В данной работе приведено исследование титан-магниевого катализатора (ТМК) $Al_2O_3/MgBu_2/TiCl_4$, синтезированных на поверхности двух образцов γ -оксида алюминия, размер частиц которых составлял 60-200 мкм (Al_2O_3) и 10-20 (диаметр) и 100 (длина) нм (нафен). Физико-химическими методами анализа показано, что размер частиц носителя не влияет на Ti/Mg (мол./мол.). Однако содержание Ti и Mg в ТМК (нафен) в 2.4 раза больше, чем в ТМК (Al_2O_3).

Исследование ТМК в полимеризации этилена показало, что с уменьшением размера частиц наблюдается рост выхода полимера (г ПЭ/г Катализатора) при сохранении активности (кг ПЭ/гTi). Форма частиц и насыпной вес полученного полиэтилена определяются структурой носителя.

It was studied $Al_2O_3/MgBu_2/TiCl_4$ titanium-magnesium catalysts (TMC) synthesized on the surface of two samples γ -alumina. These alumina samples have particle sizes of 60-200 μm (Al_2O_3) and 10-20 (diameter) and 100 (length) nm (nafen).

It was shown by physical-chemical analyses the particle size does not affect Ti/Mg ratio of the carrier (mol./mol.). However, the content of Ti/Mg is 2.4 higher in TMC (nafen) than TMC (Al_2O_3). It was found polymer yield (g Polyethylene/g Catalyst) increased while maintaining activity (kg Polyethylene/gTi) as particle size decreased. The shape of the particles and the bulk weight of the polyethylene produced are determined by the structure of the carrier.

В повседневной жизни люди практически не могут обойтись без пластиковой продукции. Полиолефины, такие как полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП), заменили многие традиционные материалы в самых разных областях, благодаря своим уникальным свойствам. Они нашли применение во многих отраслях: электронике, электротехнике, машиностроении, автомобилестроении, приборостроении, транспорте, строительстве и т.п. По экологическим требованиям их считают относительно чистыми материалами из-за их повторной переработки и возможной утилизации.

В последнее время особое внимание уделяют разработке нанотитан-магниевым катализаторам (н-ТМК) для получения различных марок ПЭ и ПП [1,2]. н-ТМК имеют более высокий выход полимера по сравнению с традиционными титан-магниевыми катализаторами (ТМК). Они снижают экологические риски (опасные для здоровья продукты синтеза (HCl , $TiCl_4$, гептан), энергетические затраты и т.п.). Кроме того, они позволяют получать композиционные материалы с пониженным содержанием армирующего компонента. Стоит отметить, что в литературе отсутствуют данные по влиянию размера носителя на химический состав и каталитические свойства ТМК.

В данной работе в качестве носителя были выбраны микро (Al_2O_3) и нано (нафен) Al_2O_3 . Частицы микро- Al_2O_3 имели сферическую форму диаметром 60-200 мкм. Нафен – наноматериал, состоящий волокон длиной 100 нм и диаметром 10-20 нм (Рисунок 1, Таблица 1).

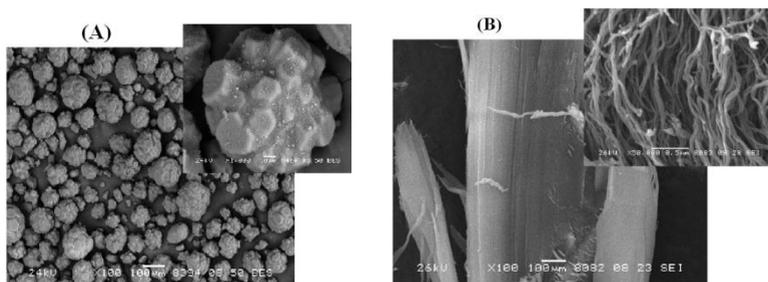


Рис.1 – Микрофотографии СЭМ (А) микро- Al_2O_3 и (В) нафена

Исследование методом ИК спектроскопии показало, что нафен и микро- Al_2O_3 имеют одну кристаллическую структуру (γ). Данные

носители содержат на поверхности только Льюисовские кислотные центры (ЛКЦ) (ν_{CO} 2200 см^{-1}).

Титан-магниевые катализаторы были синтезированы последовательным нанесением MgV_2 и TiCl_4 на выбранные носители $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (м-ТМК) и нафен (н-ТМК). Оказалось, что размер частиц носителя влияет на содержание магния и титана в катализаторе. н-ТМК содержит в 2.4 раза больше Mg и Ti, чем м-ТМК (Таблица 1).

Таблица 1 – Физико-химические данные носителей и катализаторов

№ п.п.	Носитель	Удельная поверхность $\text{м}^2/\text{г}$	Размер частиц, нм		Химический состав % ($\mu\text{моль}/\text{г}$)		
			диаметр	длина	Mg	Ti	Ti/Mg
1	Al_2O_3 (м-ТМК)	146	$6 \cdot 10^4$ - $20 \cdot 10^4$	–	1.34 (558)	2.15 (448)	0.80
2	Нафен (н-ТМК)	132	10-20	100	3.21 (1338)	5.26 (1096)	0.82

Данные химического анализа н-ТМК совпадают с данными просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Согласно ПЭМ, мольное отношение Ti/Mg равно единице. Отношение Si/Ti и Si/Mg равно 5.4. Это может указывать на образование MgCl_2 , TiCl_3 и TiCl_4 .

Полученные катализаторы были изучены в полимеризации этилена (Таблица 2). Выход полимера в н-ТМК в 2.4 раза больше, чем в м-ТМК (410 и 170 гПЭ/гКат·ч, соответственно). Это связано с высоким содержанием активного компонента в н-ТМК (Таблица 1). Активность катализаторов близка (7.8-7.9 гПЭ/гTi·ч). Это показывает, что доля титана, участвующего в полимеризации этилена, в катализаторах одинакова.

Таблица 2 – Данные полимеризации этилена м-ТМК и н-ТМК

Условия полимеризации этилена: давление водорода 2 атм, давление этилена 4 атм, 80 °С, гептан 250 мл, время 1 час, ТЭА 4.0 $\mu\text{моль}/\text{л}$

	Полимеризация		Свойства ПЭ			
	$\frac{z\text{ПЭ}}{z\text{Кат}\cdot\text{ч}}$	$\frac{kz\text{ПЭ}}{z\text{Ti}\cdot\text{ч}}$	M_w , 10^{-3}	$\frac{M_w}{M_n}$	ρ^1 кгПЭ/л	D_{90}^2 мкм
м-ТМК (м-ПЭ)	170	7.9	110	5.5	202	525
н-ТМК	410	7.8	125	6.0	69	921

(н-ПЭ)						
--------	--	--	--	--	--	--

¹ – насыпной вес ПЭ

² – средний размер 90% частиц ПЭ

Молекулярная масса (M_w) и молекулярно массовое распределение (M_w/M_n) м-ПЭ и н-ПЭ, близко (Таблица 2). Средний размер частиц (D_{90}) н-ПЭ в 1.75 раз выше, чем м-ПЭ (Таблица 2). Насыпной вес (ρ) н-ПЭ в 3 раза меньше, чем м-ПЭ (69 и 202 кг/л, соответственно). Это связано со структурой носителя. н-ПЭ состоит из больших рыхлых частиц, сформированных из более мелких (<1 мкм) (Рисунок 2). В то время как для м-ПЭ характерно образование плотных частиц.

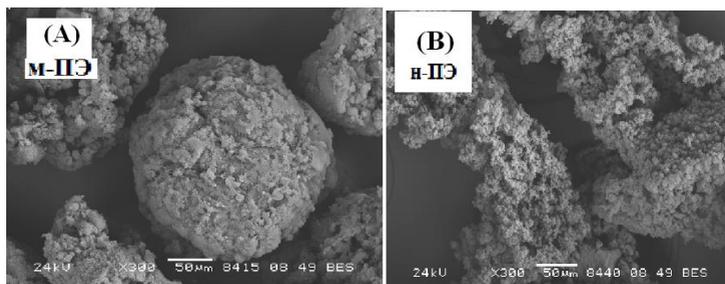


Рис. 2 – Микрофотографии СЭМ (А) м-ПЭ и (В) н-ПЭ

Проведенное исследование показало, что с уменьшением размера частиц

- больше активного компонента адсорбируется на поверхности
- растет выход ПЭ.

Активность ТМК и свойства ПЭ (M_w , M_w/M_n) не зависят от размера частиц носителя, что связано с близким процентным составом активных центров.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект № АААА-А17-117041710085-9)

Литература:

1. I. E. Nifant'ev, O. V. Smetannikov, A. N. Tavtorkin, M. S. Chinova, P. V. Ivchenko. Titanium–Magnesium Nanocatalysts of Polymerization (Review) // Petroleum Chemistry Journal.–M. –2016.– Vol. 56, No. 6.– P. 480-490.
2. Y. Bando, P. Chammingkwan, M. Terano, T.Taniike. Synthesis of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene Using MgO/MgCl₂/TiCl₄ Core–Shell Catalysts // Macromolecular Chemistry and Physics.– 2018.– 219:1800011.– P.1-8. – doi:10.1002/macp.201800011.

3. J. Mroczor, B. Pukarnszky. Polymer micro and nanocomposites: Structure, interactions, properties (Review) // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. –2008. –Vol. 14. – P. 535-563.

КОКСОВАНИЕ ГУДРОНА И ВЛИЯНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ЭТОТ ПРОЦЕСС

Р.В. Деревянко^{1,2}, А.С. Чичкань^{1,2}, В.В. Чесноков¹

¹Новосибирский государственный технический университет,

²ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН,

г. Новосибирск, rodion_pvl@mail.ru

Исследован процесс коксования гудрона при температурах 450-550 °С и влияние каталитических добавок: Ni/Сибунит, Cu/Сибунит, Ni-Mo/Сибунит на продукты реакции. Проведение процесса коксования гудрона при температурах 450-550 °С приводит к образованию газообразных продуктов и нефтяного кокса. Добавка катализаторов к гудрону приводит к улучшению свойств нефтяного кокса, а так же влияет на содержание серы в нефтяном коксе. Если содержание серы в исходном гудроне составляет 1,5 масс.%, то, после добавки Cu/Сибунит катализатора содержание серы в коксе уменьшается до 0,56% при температуре коксования 450 °С. Значительная часть серы переходит в состав сульфидов.

The tar coking process was studied at temperatures of 450-550 °C and catalytic additives: Ni/Sibunit, Cu/Sibunit, Ni-Mo/Sibunit on the reaction products. Carrying out the tar coking process at temperatures of 450-550 °C leads to the formation of gaseous products and petroleum coke. The addition of catalysts to the tar improves the properties of petroleum coke, and also affects the sulfur content in petroleum coke. If the sulfur content in the initial tar is 1.5 wt.%, Then, after the addition of Cu/Sibunit catalyst, the sulfur content in the coke decreases to 0.56% at a coking temperature of 450 °C. A significant part of the sulfur goes into sulfides.

Ожидается, что через 10-15 лет будет достигнут пик добычи и переработки традиционных лёгких нефтей, вследствие чего последует снижение темпов переработки таких нефтей. Разведанные запасы тяжелой (нетрадиционной) нефти, которые содержатся в месторождениях битуминозных источников, сейчас почти не разрабатываются [1]. Для перехода на переработку нетрадиционной низкокачественной нефти необходимо совершенствовать существующие и создавать новые направления переработки нефти. Коксование является одним из методов, используемых при переработке тяжёлых высоковязких нефтей в «синтетическую» нефть, это длительный процесс термолиза тяжёлых остатков или ароматизированных высококипящих дистиллятов при невысоком давлении и умеренных температурах 420-540 °С. Основное целевое назначение коксования — производство нефтяных коксов различных

марок в зависимости от качества перерабатываемого сырья. Побочные продукты коксования — малоценный газ, бензины низкого качества и газойли. Во всём мире нефтяной кокс используется для производства анодов для алюминиевой промышленности и графитированных электродов для плавления электросталей. Широкое применение находит нефтяной кокс при изготовлении конструкционных материалов, в производстве цветных металлов, кремния, абразивных (карбидных) материалов, в химической и электротехнической промышленности, в ядерной энергетике и др.

Однако рядом ученых отмечается неприменимость процесса коксования к высокосернистым тяжелым нефтям и природным битумам, поскольку получаемый высокосернистый кокс не находит квалифицированного применения.

Одним из направлений совершенствования технологии глубокой переработки тяжелых углеводородных нефтяных остатков методом коксования является использование каталитических добавок, которые могут существенно влиять на выход легких дистиллятных фракций.

В настоящей работе был исследован процесс коксования гудрона и влияние катализаторов на этот процесс.

Методом пропитки были приготовлены катализаторы: Ni/Сибунит, Cu/Сибунит, Ni-Мо/Сибунит.

В качестве носителей катализаторов использовали высокопористый углеродный материал Сибунит [2]. Процесс коксования проводили в автоклаве (рис.1) при температурах 450-550 °С и давлении 7–15атм в течении 3 часов. При загрузке сырья (гудрона) и катализаторов можно выделить три зоны:

Зона 1: Гудрон + Ni-Мо/Сибунит

Зона 2: Cu/Сибунит

Зона 3: Ni/Сибунит

Анализ элементного состава показал, что в исходном используемом гудроне КТ 1/1 содержится 1,5 мас. % серы.

Анализ продуктов коксования гудрона без катализатора показал, что увеличение температуры коксования с 450 до 550 °С приводит к незначительному снижению содержания серы в коксе (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание серы в продукте реакции коксования гудрона без катализатора

	Температура реакции, °С		
	450	500	550
Количество кокса от массы исходного гудрона, масс. %	30	27	24
Содержание серы, масс. %	1,32	1,27	1,18

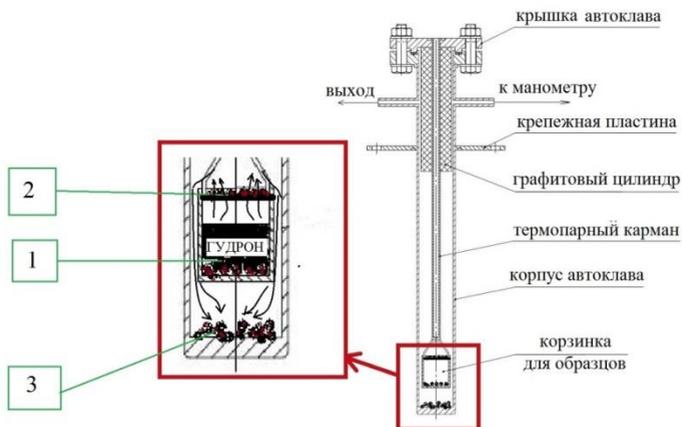


Рис.1 – Схема реактор и загрузки катализаторов: 1 – Гудрон + Ni-Mo/Сибунит; 2 – Cu/Сибунит; 3 – Ni/Сибунит

При нагревании гудрона с катализаторами в зоне 1 проходит крекинг гудрона; в зоне 2 происходит взаимодействие выделяющихся газов с Cu/Сибунит катализатором с образованием сульфида меди. В зоне 3 происходит процесс коксования, продуктом которого является кокс с низким содержанием серы (табл. 2).

Таблица 2 – Количество образовавшегося кокса и содержание серы в коксе при трехзонной загрузке катализаторов.

	Каталитические слои ($T_p=450^{\circ}\text{C}$)		
	1 зона	2 зона	3 зона
Количество кокса от массы исходного гудрона, масс. %	27	4,5	18
Содержание серы, % масс.	1,28	1,05	0,56

Проведено коксование гудрона без катализатора и при использовании трёхслойного расположения катализаторов [3].

Было показано, что при использовании катализаторов:

1) Выход кокса увеличивается от 30 % до 49,5 %

2) Содержание серы в конечном продукте реакции (коксе) снижается особенно сильно в третьем слое катализатора.

Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ – проект № 17-73-30032.

Литература:

1. Гринишин О.Б., Мохаммад Ш.А.А.А., Хлибишин Ю.Я. Характеристика и направления переработки тяжёлых высокосернистых нефтей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 5., № 6 (65). – С. 27-31.
2. Исследование содержания серы в продуктах реакции замедленного коксования гудрона / Чичкань А.С., Чесноков В.В., Деревянко Р.В., Сальников А.В. // Наука. Промышленность. Оборона: труды XX Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения С. А. Чаплыгина, г. Новосибирск, 17-19 апреля 2019 г.: в 4 т.– Т.3.– НГТУ., 2019.– С. 159-165.
3. Чичкань А.С., Деревянко Р.В., Чесноков В.В. Разработка катализаторов для процесса коксования гудрона // Новые каталитические процессы глубокой переработки углеводородного сырья и биомассы. Третья школа молодых учёных: сборник тезисов докладов, 1-4 октября 2019 г., Красноярск / Институт катализа СО РАН – Новосибирск: ИК СО РАН, 2019. – С. 53.

**ГИДРОЛИЗ-ГИДРОГЕНОЛИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ЦЕННЫЕ
ПРОДУКТЫ - ЭТИЛЕН И ПРОПИЛЕНГЛИКОЛИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИИ**

О.В. Землянухина¹, Н.В. Громов^{1,2}

**¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск,**

**²Институт катализа им.Г.К. Борескова СО РАН,
г. Новосибирск, msolgavi76@gmail.com**

Исследован одностадийный процесс гидролиза-гидрогенолиза целлюлозы в присутствии катализаторов на основе карбидов вольфрама CW и высокодисперсного никеля, закрепленного на карбидные носители. Основными продуктами реакции являлись низшие полиолы (этиленгликоль (ЭГ) и 1,2-пропиленгликоль (1,2-ПГ)). Показана возможность получения этилен- и пропиленгликолей с суммарным выходом 45,1%. Выявлены взаимосвязи между строением и составом катализаторов и их активностью в исследуемом процессе.

The one-pot hydrolysis-hydrogenolysis of cellulose in the presence of catalysts based on tungsten carbides CW and dispersed nickel was studied. The main reaction products were lower polyols (ethylene glycol (EG) and 1,2-propylene glycol (1,2-PG)). The target products namely ethylene and propylene glycols were produced with a total yield of 45.1%. The correlations between the structure and composition of the catalysts and their activity in the process under study are revealed.

1,2-Пропиленгликоль и этиленгликоль на сегодняшний день нашли широкое применение в различных отраслях промышленности (фармацевтике, парфюмерии, производстве полимеров, антифризов). На сегодняшний день потребление гликолей составляет порядка 30 миллионов тон в год и ежегодно увеличивается на ~5 % [1]. В настоящее время ЭГ и ПГ получают из невозобновляемого ископаемого сырья (этилена и пропилена) [2], поэтому предлагается синтезировать гликоли из возобновляемой биомассы (целлюлозы). Прямое одностадийное, так называемое «one-pot» получение полиолов из целлюлозы без получения каких-либо промежуточных продуктов, на сегодняшний день является перспективным общепризнанным направлением исследований в области их производства [3].

Целью работы стало исследование одностадийного процесса гидролиза-гидрогенолиза целлюлозы в присутствии катализаторов на основе карбидов вольфрама CW и высокодисперсного никеля, закрепленного на карбидные носители.

Процесс гидролиза-гидрогенолиза проводился в автоклаве высокого давления при температуре 245 °С, давлении водорода 50 атм, перемешивании 1000 об/мин. В реактор загружали 50 мл воды, 0,5 г микрокристаллической активированной целлюлозы, 0,5 г катализатора и 0,04 г Ca(OH)₂, в качестве сокатализатора. Анализ проб реакционной смеси проводился методами ВЭЖХ и анализа ООУ. ВЭЖХ анализ проводился на хроматографе Shimadzu Prominence LC-20, оборудованном рефрактометрическим и диодноматричным детекторами. Определение ООУ проводили на анализаторе углерода серии multi N/C 2100 s (Analytik Jena).

Расчет выходов продуктов одностадийного процесса гидролиза/гидрогенолиза целлюлозы проводили в мольных процентах (%) по формуле:

$$Y = \frac{C_{\text{продукт}} \cdot V}{N_C \left(\frac{m_{\text{Целл}}}{M_{\text{Глюкан}}} \right)} \cdot 100$$

где Y - выход продукта, C_{продукт} - концентрация продукта (моль л⁻¹), V - объем реакционной смеси (л), N_C - коэффициент, учитывающий мольное соотношение углерода между продуктом и глюкозой, m_{Целл} - масса целлюлозы (г), M_{Глюкан} - молярная масса глюкозы в целлюлозе (162 г·моль⁻¹).

Исследованные катализаторы показали заметную активность в процессе гидролиза-гидрогенолиза целлюлозы. При использовании в качестве катализаторов карбидов вольфрама и никельсодержащих систем на их основе выходы ПГ оказались больше, чем ЭГ.

Среди испытанных систем на основе карбидов CW-n в процессе гидролиза-гидрогенолиза наибольшей активностью обладает CW-2. Чтобы повысить выход целевых продуктов катализатор CW-2 промотировался высокодисперсным никелем в количестве 1 и 3%. Так же как и в присутствии CW-2 основными продуктами реакции выход ЭГ, ПГ. Увеличение выходов можно объяснить изменением природы кислотно-основных центров носителя в результате закрепления наночастиц никеля на поверхности CW-2. Максимальные выходы ЭГ и ПГ наблюдались в присутствии 1%Ni/CW-2 (16.8 и 28.3%, соответственно). Активность катализатора 3%Ni/CW-2 ниже, что, по-видимому, связано с укрупнением олигомерных частиц металла с увеличением количества никеля в образце.

В процессе гидролиза-гидрогенолиза исследованы четыре образца карбидов вольфрама (CW-1, CW-2, CW-3, CW-4), отличающихся соотношением компонентов, использованных при проведении высокотемпературного самораспространяющегося синтеза карбидных систем. Оптимальным катализатором представляется образец 1%Ni/CW-2, в присутствии которого достигнуты наибольшие выходы этилен- и пропиленгликолей, являвшихся основными продуктами процесса (16.8% и 28.3% соответственно (суммарный выход целевых продуктов 45,1%).

Благодарности:

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-33-01007).

Литература:

1. J. Pang, M. Zheng, R. Sun, A. Wang, X. Wang, T. Zhang, Synthesis of ethylene glycol and terephthalic acid from biomass for producing PET, Green Chem. 18 (2016) 342-359.
2. H. Yue, Y. Zhao, X. Ma, J. Gong, Ethylene glycol: properties, synthesis, and applications, Chem. Soc. Rev. 41 (2012) 4218-4244.
3. Van de Vyver S., Geboers J., Jacobs P. A. et al., Recent Advances in the Catalytic Conversion of Cellulose // ChemCatChem. – 2011. – Т. 3. – № 1. – С. 82-94.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНОГО ОКИСЛЕНИЯ АММИАКА В ЗАКИСЬ АЗОТА В ТРУБЧАТОМ РЕАКТОРЕ

А.С. Игнатов^{1,2}, Н.В. Верниковская^{1,2}, В.А. Чумаченко²

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ignatov.2014@stud.nstu.ru

²Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН,
г. Новосибирск, vernik@catalysis.ru, vachum@catalysis.ru

Закись азота является высокоэффективным окислителем и может быть использована для получения целого ряда ценных продуктов органического синтеза. В Институте катализа СО РАН разработан экологически безопасный способ получения N₂O путем селективного окисления аммиака кислородом на оксидных нанесенных MnO₂/Bi₂O₃/α-Al₂O₃ катализаторах. Технология получения закиси азота в производстве может быть реализована как в реакторе с турбулентным псевдооживленным слоем катализатора, так и в реакторе трубчатого типа. В работе проведено моделирование процесса окисления аммиака в закись азота на MnO₂/Bi₂O₃/α-Al₂O₃ катализаторе в трубчатом реакторе. Исследовано влияние входной температуры, температуры теплоносителя, линейной скорости, входных концентраций аммиака, кислорода и воды на показатели процесса и найдены оптимальные условия, обеспечивающие достижение максимальной конверсии аммиака и селективности по закиси азота с учетом ограничений на температуру в слое катализатора.

Nitrous oxide is a highly efficient oxidizer and can be used to obtain a number of valuable products of organic synthesis. An ecologically safety method of N₂O production by selective oxidation of ammonia with oxygen over MnO₂/Bi₂O₃/α-Al₂O₃ catalysts was developed in the Institute of Catalysis SB RAS. The technology for nitrous oxide production can be implemented both in a turbulent fluidized bed reactor and in a tubular reactor. Modeling of the ammonia oxidation to nitrous oxide on a MnO₂/Bi₂O₃/α-Al₂O₃ catalyst in a tubular reactor was done. The influence of the inlet and coolant temperature, linear velocity, inlet concentrations of ammonia, oxygen and water on the process performance was studied and optimal conditions were obtained under which the maximum temperature does not exceed 410 ° C and the maximum ammonia conversion and nitrous oxide selectivity are achieved.

Разработка новых технологических процессов, в которых закись азота выступает в качестве окислителя, приводит к росту объемов её потребления и влечёт за собой потребность в разработке эффективных способов ее получения. Например, в АльфОкс-процессе для окисления бензола в фенол используется концентрированная закись азота, поэтому синтез N₂O является составной частью этого процесса.

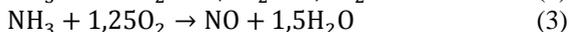
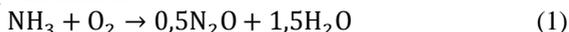
Перспективный способ синтеза закиси азота базируется на селективном окислении аммиака кислородом на оксидных нанесенных MnO₂/Bi₂O₃/α-Al₂O₃ катализаторах [1]. Технология получения N₂O в реакторе с турбулентным псевдооживленным слоем катализатора

обеспечивает высокий выход закиси азота при практически полном отсутствии токсичных оксидов азота [2,3], что выгодно отличает ее от классических методов синтеза.

В процессе производства фенола концентрированную закись азота получают в реакторе с кипящим слоем катализатора, в котором снимается основное тепло высокоэкзотермичной реакции селективного окисления аммиака. Непрореагировавший аммиак допревращается в трубчатом реакторе, что позволяет увеличить конечный выход закиси азота. Для достижения в трубчатом реакторе высокой селективности по закиси азота и минимальной по оксиду азота (II) необходимо строго соблюдать оптимальные условия проведения процесса.

Целью работы является теоретическое исследование процесса получения закиси азота путём окисления аммиака на $MnO_2/Bi_2O_3/\alpha-Al_2O_3$ катализаторе в трубчатом реакторе.

При окислении аммиака в закись азота на поверхности оксидного $MnO_2/Bi_2O_3/\alpha-Al_2O_3$ катализатора протекают реакции в соответствии со стехиометрическими уравнениями:



Математическая модель процесса в трубчатом реакторе учитывает конвективный перенос тепла и вещества, аксиальную и радиальную теплопроводность слоя катализатора и диффузию веществ, скорости превращения аммиака в закись азота и в побочные продукты, теплофизические свойства смеси, изменение объема реакционной смеси в результате протекания реакций, теплообмен реактора с теплоносителем. В модели использованы кинетические уравнения и кинетические параметры для скорости превращения аммиака в N_2O и для суммарной скорости образования N_2 и NO на $MnO_2/Bi_2O_3/\alpha-Al_2O_3$ катализаторе, приведенные в работах [2, 4].

Расчеты процесса проводились при следующих параметрах: входная температура ($T_{вх}$) 200-240°C, температура теплоносителя (T_x) 300-320°C, линейная скорость (u) 2.6-3.6 м/с (при нормальных условиях), давление (P) 0.22 МПа, входная концентрация аммиака (C_{NH_3}) 4 об. %, воды (C_{H_2O}) 10-20 об. %, кислорода (C_{O_2}) 11-17 об. %. Определялись максимальная температура (T_{max}), конверсия аммиака (X) и селективность по закиси азота (S).

Для проверки адекватности математической модели рассматриваемому процессу получения закиси азота в трубчатом реакторе было проведено сравнение расчетных и экспериментальных профилей температуры по высоте слоя катализатора, приведенных в работе [4]. В трубчатый реактор в виде U-образной трубки длиной 2,8

метра и внутренним диаметром 28 мм был загружен $\text{MnO}_2/\text{V}_2\text{O}_5/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализатор сферической формы, диаметром 5-6 мм. Тепло реакции отводилось с помощью бани с кипящим слоем инертного материала. Результаты сравнения приведены на Рисунке 1.

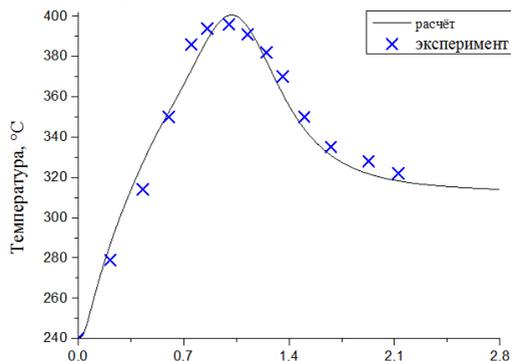


Рис. 1 - Профиль температуры по высоте слоя катализатора.
 $T_{\text{вх}} = 240^\circ\text{C}$, $T_{\text{х}} = 310^\circ\text{C}$, $u = 3.1$ м/с, $P = 0.22$ МПа, $C_{\text{NH}_3} = 4$ об. %, $C_{\text{H}_2\text{O}} = 15$ об. %, $C_{\text{O}_2} = 17$ об. %.

Экспериментальные данные взяты из работы [4]

Из рисунка 1 видно, что расчетный профиль хорошо согласуется с экспериментально измеренными значениями температуры.

В Таблице 1 представлены результаты расчетов при варьировании параметров процесса. Варьирование каждого параметра проводилось при фиксированных значениях остальных параметров: $T_{\text{вх}} = 240^\circ\text{C}$, $T_{\text{х}} = 310^\circ\text{C}$, $u = 3.1$ м/с, $C_{\text{NH}_3} = 4$ об. %, $C_{\text{H}_2\text{O}} = 15$ об. %, $C_{\text{O}_2} = 17$ об. %.

Результаты расчёта показывают, что при увеличении температуры теплоносителя растёт степень превращения и селективность процесса по N_2O , что, однако, сопровождается существенным ростом максимальной температуры в «горячей точке» слоя катализатора.

Увеличение начального содержания воды в смеси приводит к снижению степени превращения и уменьшению температуры «горячей точки», что хорошо согласуется с результатами, полученными в работе [4]. При увеличении начального содержания кислорода в смеси наблюдаются противоположные зависимости, а именно, рост степени превращения и температуры «горячей точки» и незначительное снижение селективности.

Таблица 1- Результаты расчёта

	T _{хз} , °C			u, мм/с		
	300	310	320	2,6	3,1	3,6
T _{max}	350	401	470	398	401	402
X	82,56	93,86	98,84	95,34	93,86	92,34
S	87,10	88,48	89,51	88,49	88,48	88,47
	H ₂ O на входе, об %			O ₂ на входе, об %		
	10	15	20	11	13	17
T _{max}	418	401	380	388	394	401
X	96,50	93,86	89,28	91,51	92,77	93,86
S	87,88	88,48	88,80	88,63	88,59	88,48

Снижение линейной скорости газа увеличивает конверсию аммиака. Варьирование входной температуры не оказывает существенного влияния на селективность по закиси азота, степень превращения аммиака и максимальную температуру.

В ходе исследования было выполнено моделирование процесса окисления аммиака в закись азота в трубчатом реакторе. Моделирование производилось по математической модели, в основе которой лежат кинетические уравнения скоростей реакций, уравнения баланса массы и энергии. Результаты моделирования показывают, что параметрами, в наибольшей степени влияющими на степень превращения и селективность по закиси азота, являются температура теплоносителя и начальная концентрация воды.

Литература:

1. Иванова А.С., Славинская Е.М., Полухина И.А., Носков А.С., Мокринский В.В., Золотарский И.А. Катализатор и способ получения закиси азота. Патент РФ № 2185237.
2. Кашкин В.Н., Разработка технологических основ процесса получения закиси азота путем селективного окисления аммиака в реакторе с турбулентным псевдооживленным слоем катализатора: дис. канд. техн. наук: 05.17.08. – Новосибирск, 2007. – 128 с.
3. Noskov A.S., Zolotarsky I.A., Pokrovskaya S.A., Kashkin V.N., Slavinskaya E.M., Mokrinskii V.V., Korotkih V.N., Ammonia oxidation into nitrous oxide over Mn/Bi/Al catalyst: II Fluidized bed reactor experiments // Chem. Eng. J. –2005 –Vol. 107.–P. 79-87.
4. Кагырманова А.П., Оптимизация формы и размеров зерна катализатора в трубчатых реакторах с неподвижным зернистым слоем: дис. канд. техн. наук: 02.00.15. – Новосибирск, 2009. – 149 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАНИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ОТ ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ЗОНЕ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ПРИРАЗЛОМНОЕ

К.Е. Квашнина

Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, clarascintilla3107e@mail.ru

В данной работе речь идёт об экологических проблемах, возникающих при добыче нефти, а также приведён краткий обзор существующих моделей, используемых для расчёта концентраций загрязняющих веществ в атмосфере.

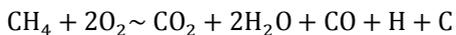
In this article, we are talking about environmental problems that arise during oil production, as well as a brief overview of existing models used to calculate the concentration of pollutants in the atmosphere.

С каждым годом истощаются существующие источники нефте- и газодобычи, это означает, что встает вопрос о разработке новых месторождений. Мировая тенденция такова, что добыча ценного сырья перемещается с континента на шельф. В Российской Федерации на данный момент пока добывается около 3% нефти на шельфе. Первый и единственный действующий проект, реализуемый на российском арктическом шельфе в Печорском море – разработка месторождения «Приразломное», открытого в 1989 году [1].

При строительстве МЛСП «Приразломная» были учтены все риски загрязнения воды и приняты меры по безопасности утечек нефти в воду. А что насчёт атмосферы? Можно ли считать, что при добыче нефти в этом месторождении, при сжигании попутного нефтяного газа (ПНГ) не происходит сильное влияние на окружающую среду. Сжигание ПНГ происходит с помощью факельных установок.

Высотная факельная установка – это установка, в которой подача ПНГ под давлением в зону горения производится по вертикальному факельному стволу (трубе), высотой 4 м и более [2]. Процесс горения газа является химической реакцией, при которой происходит взаимодействие природного газа с кислородом, который содержится в воздухе. В газообразном топливе присутствует горючая часть и негорючая. Основным горючим компонентом природного газа является метан – CH_4 .

При неполном его сгорании происходит выброс в атмосферу горючего вещества – угарного газа, водорода, сажи, а также водяных паров:



Опасность неполного сгорания ПНГ состоит в том, что угарный газ может стать причиной отравления персонала, обслуживающего платформу, а также выбросы могут стать причиной увеличения скорости таяния льдов, что в дальнейшем может сказаться на глобальном потеплении. Важно отметить и то, что в районе Печорского моря расположены особо охраняемые природные территории.

Математическое моделирование процессов, протекающих в атмосфере, является мощным инструментом для оценки и прогнозирования изменений характеристик окружающей среды вследствие антропогенной деятельности.

Целями данной работы являются: краткий анализ существующих моделей, предназначенных для оценки воздействия ЗВ на окружающую среду, а также расчёт максимальной концентрации СО с помощью модели, основанной на нормативно-техническом документе («Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе») от одиночного точечного источника МЛСП «Приразломная».

К настоящему времени сложились три основных подхода для количественного описания процесса рассеивания выброса в атмосфере:

- гауссовские модели рассеивания, или дисперсионные модели;
- модели рассеивания «тяжелого газа», методика «ТОКСИ-3»;
- полная газодинамическая модель.

Для расчёт максимальной концентрации СО в данной работе предлагается использовать нормативно-технический документ – «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», базирующийся на ОНД-86.

Максимальная приземная массовая концентрация ЗВ c_M , мг/м³ при выбросе из одиночного точечного источника с определяется формулой (1):

$$C_M = \frac{A * M * F * m * n * \eta}{H^2 * \sqrt[3]{V_1 * \Delta T}} \quad (1)$$

где А – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, определяющий условия горизонтального и вертикального рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе;

М - масса ЗВ, выбрасываемого в атмосферный воздух за единицу времени (мощность выброса), г/с;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ (газообразных и аэрозолей, включая твёрдые частицы) в атмосферном воздухе;

m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выброса из устья источника выброса;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности (определяемый в соответствии с главой VII настоящих Методов);

H – высота источника выброса, м;

V_1 – расход ГВС, м³/с [3];

ΔT – разность между температурой выбрасываемой ГВС T_r и температурой атмосферного воздуха T_b , °C.

Следуя методическим указаниям был произведён расчёт максимальной концентрации (C_m , мг/м³) СО при сгорании метана по формуле (1) и составила:

$$C_m = \frac{160 \cdot 11,4 \cdot 1 \cdot 0,937 \cdot 1 \cdot 1}{192 \cdot \sqrt[3]{6 \cdot 146,7}} = 0,49 \text{ мг/м}^3$$

ПДК для СО при сжигании природного газа на факельных установках равна 2-5 мг/м³, следовательно, рассчитанная максимальная концентрация ЗВ не превысила нормированные значения.

В данной работе были кратко рассмотрены распространенные методики, которые подходят для нахождения максимальной концентрации газовых выбросов. С помощью эмпирической формулы было найдено значение максимальной концентрации выбросов ЗВ от факельной установки МЛСП «Приразломная», которая не превысила значения ПДК. Данный результат можно объяснить тем, что рассматривалось влияние только одного продукта при ПНГ, без учёта выделения и других соединений. Также можно отметить и то, что выбранная методика довольно упрощена, то есть она представляет собой формулу, по которой вычисляется максимальная концентрация выбросов загрязняющих веществ, не учитывающая сложный рельеф местности. Повлияло на результат и то, что значение коэффициента A , зависящего от температурной стратификации атмосферы и определяющего условия горизонтального и вертикального рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, не было указано для данной местности и его приходилось подбирать. В дальнейшем планируется решение задачи с использованием численного моделирования, или полной газодинамической модели.

Литература:

1. [Электронный ресурс] // URL: http://www.greenpeace.org/russia/Global/russia/report/Arctic-oil/Prirazlomnaya_environ_impact_assessment.pdf

2. Акопова Г.С., Стрекалова Л.В., Шарихина Л.В., Прокофьева А.М., Нормативный документ "Методика расчета параметров выбросов

и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей" разработан в целях получения исходных данных для оценки воздействия выбросов вредных веществ факельных установок на качество атмосферного воздуха при добыче, переработке и транспорте газа. – М. : 1996 – 49с.

3. «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»: 01.01.2018г. – 2018. – 109 с.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.Ю. Красовская, И.В. Сторожко, Е.А. Удалцов
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, anya777.96@mail.ru

В работе проводится оценка загрязнения почв потенциально подвижными формами тяжелых металлов в районе воздействия металлургического предприятия. Был установлен высокий уровень загрязнения почв следующими металлами: As, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr. Сравнение полученных концентраций проводилось с гигиеническими нормативами (ПДК) и с фоновыми концентрациями.

This work assesses soil pollution with potentially mobile forms of heavy metals in the area of influence of a metallurgical enterprise. A high level of soil pollution with the following metals was established: As, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr. Comparison of the obtained concentrations was carried out with hygiene standards (MPC) and with background concentrations.

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами является всемирной проблемой, которая активировалась после промышленной революции и усиливается в настоящий момент из-за быстрой урбанизации, развития промышленности и сельского хозяйства [1]. Тяжелые металлы аккумулируются в объектах окружающей среды, что может поставить под угрозу функционирование водных и наземных экосистем. Основным хранилищем этих элементов является почва. Она может служить источником вторичного загрязнения воздуха и воды. Из почвы металлы усваиваются растениями и по пищевым цепям попадают в организм человека.

Практически все металлы в малых концентрациях активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов, то есть жизненно необходимы для нормальной жизнедеятельности человека и животных. Но при избытке они становятся токсичными и могут приводить к отрицательным

последствиям, оказывая на организм токсическое и канцерогенное действие. Наибольшую опасность из тяжелых металлов представляют ртуть, свинец, мышьяк и кадмий, которые являются токсичными элементами для живых организмов в любых концентрациях [2, 3].

Одним из основных источников загрязнения тяжелыми металлами являются предприятия цветной металлургии. Это обусловлено характером технологического процесса и составом руды. В связи с этим, исследование почв в зоне влияния металлургического предприятия имеет важное практическое значение, поскольку направлено на выявление уровня загрязнения и особенностей миграции тяжелых металлов.

Цель работы: оценка техногенного загрязнения почв подвижными формами тяжелых металлов в промышленном районе вблизи металлургического предприятия.

В Новосибирске крупным металлургическим предприятием является Новосибирский оловянный комбинат. Он был выбран в качестве объекта наблюдения в связи с тем, что в зоне его влияния продолжается интенсивная застройка жилыми домами, а также на расстоянии 1 км находятся активные дачные участки, что вызывает беспокойство, поскольку тяжелые металлы попадают в организм человека в большинстве случаев при потреблении овощей и фруктов.

На территории вблизи оловокомбината ранее проводились подобные исследования [4], в ходе которых было определено валовое содержание тяжелых металлов в почвах. Отличие настоящей работы в том, что мы определили элементы в подвижной форме, представляющей наибольшую опасность, так как именно в этой форме тяжелые металлы мигрируют в почвенной толще, доступны для растений и поступают в пищевые цепи.

Основной выброс вредных веществ в атмосферу производится через стометровую дымовую трубу. Поэтому пробы почв были отобраны на расстоянии 0,4 - 2,3 км относительно этой трубы в 10 точках с учетом юго-западного направления повторяемости ветра.

Все дальнейшие исследования проводились в лаборатории Института химии твердого тела и механохимии СО РАН.

Для верификации результатов химический анализ был проведен двумя методами в соответствии с ПНДФ 16.2.22.371-2011:

1. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией на приборе AA280FS. .

2. Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent 7500a.

В качестве контрольных образцов были отобраны пробы почвы в Караканском бору, в устье р. Ельцовка. Данная точка, значительно

удаленная от промышленных и сельскохозяйственных источников загрязнения, для оценки состояния окружающей среды часто служит для отбора контрольных образцов воздуха, воды и почвы, не подвергнутых техногенному воздействию [5,6].

В почвенном покрове промышленной зоны города отмечено повышенное содержание (выше ПДК) меди, свинца, цинка, мышьяка, хрома и никеля. Их содержание в почве в зависимости от расстояния до промышленной площадки оловокомбината представлены на рис.1. Также концентрация ТМ превышают фоновые концентрации, которые для Cu составляют 2,8 мг/кг, As – 1 мг/кг, Pb – 3,4 мг/кг, Cr – 5,2 мг/кг, Ni – 5,7 мг/кг, Zn – 9,5 мг/кг.

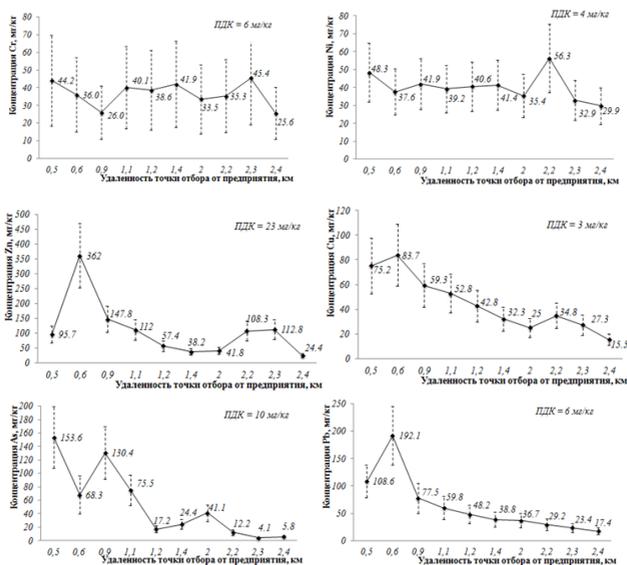


Рис. 1 – Концентрация ТМ по мере удаления от НОК

Для определения зависимости между содержанием ТМ и расстоянием от НОК были рассчитаны коэффициенты корреляции. В результате расчетов установлена сильная связь (0,7-0,9) между Cu, Zn, As и Pb. Напрашивается вывод, что деятельность НОК повлияла на загрязненность почв данными металлами. Загрязнение Ni и Cr возможно создается выбросами других предприятий, находящихся в данной промышленной зоне.

Проведенные нами исследования позволяют судить о том, что почвы данного района характеризуются опасным уровнем загрязнения.

Полученные результаты доказывают, что на загрязнение почв Zn, As, Pb, Cu повлияла деятельность НОК.

Выявленное в промышленной зоне накопление тяжелых металлов в почвах свидетельствует о необходимости организации и проведения почвенного мониторинга и разработки мероприятий по ремедиации загрязненных почв.

Литература:

1. Cantner U., Meder A., terWal A.L.J. (2010) Innovator network and regional knowledge base. *Technovation*, vol. 30, no 2, pp. 496–507, doi:10.1134/S1023193508080077

2. Prabhat K. R., Sang S. L. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management // *Environment International*. 2019. – V. 125. P. 365 – 385, doi: 10.1016 / j. envint.2019.01.067

3. Singh N., Gupta VK., Kumar A., Sharma B., Synergistic Effects of Heavy Metals and Pesticides in Living Systems // *Frontiers in Chemistry*, 2017, vol. 5, pp. 70, doi: 10.3389/fchem.2017.00070

4. Артамонова С. Ю., Рапута В. Ф., Колмогоров Ю. П. Техногенное загрязнение почв и растительного покрова в районе оловокомбината (г. Новосибирск) // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2005. – Т. 5. С. 106-110.

5. Skripkina T.S., Bychkov A.L., Smolyakov B.S., Lomovsky O.I. Changes in phytoplankton production after the introduction of heavy metals into ecosystem with subsequent cleaning by humic sorbent // *Water Resources*, 2019, vol. 46, no 2, pp. 242-248, doi: 10.1134/S0097807819020167.

6. Skripkina T.S., Bychkov A.L., Tikhova V.D., Smolyakov B.S., Lomovsky O.I. Mechanochemically oxidized brown coal and the effect of its application in polluted water // *Environmental Technology and Innovation*, 2018, vol. 11, p. 74-82, doi: 10.1016/j.eti.2018.04.010

ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

А.В. Лапин², Л.К. Бердникова¹,

В.А. Полубояров^{1,2}, Ф.К. Горбунов^{1,2}

**¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
(ИХТТМ СО РАН), г. Новосибирск**

**²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tto4ta-1996@mail.ru**

Разработаны оптимальные составы строительных материалов на основе силикатного вяжущего, дешевого минерального сырья (песок, супесь) и отходов огнеупоров (шамот). Полученные материалы обладают следующими физико-механическими показателями, рекомендованными для изделий конструкционного назначения: прочность при сжатии, МПа, образцов на основе шамота – 59,6-95,9; супеси – 37,8-64,2; песка – 57,0-89,6; прочность при изгибе, МПа, – 6,0-12,2; 4,7; 7,6-9,7; истираемость, г/см², – 0,36-0,49; 0,50; 0,15-0,54 соответственно.

Optimal compositions of building materials based on silicate binder, cheap mineral raw materials (sand, sandy loam) and waste refractories (chamotte) have been developed. The developed products have the following physical and mechanical characteristics recommended for structural products: compressive strength, MPa, of samples based on chamotte – 59.6-95.9; sandy loam – 37.8-64.2; sand – 57.0-89.6; bending strength, MPa, – 6.0-12.2; 4.7; 7.6-9.7; abrasion, g/cm², – 0.36-0.49; 0.50; 0.15-0.54 accordingly.

Образцы строительных изделий получали методом шликерного литья. В смеситель засыпали наполнитель, затем добавляли вяжущее. Оптимальное соотношение наполнитель: вяжущее (масс. ч.) составляло 3,3:1. Методика синтеза силикатного вяжущего была разработана авторами ранее и представлена в работе [1]. Смесь тщательно перемешивали до получения однородной массы, укладывали в стальные формы, и выдерживали на воздухе в течение 24 часов. Затем образцы подвергали термообработке.

В нормальных условиях (20-25°C) образцы строительных изделий на основе синтезированных вяжущих и выбранных наполнителей неводостойкие. Образцы при таких условиях твердеют более 10 суток, что объясняется низкой реакционной активностью кремнеземистого и глиноземистого компонентов наполнителей относительно вяжущего при обычной температуре. Поэтому в дальнейшем образцы, твердеющие при низких температурах, не исследовали.

Образцы строительных изделий, полученные на основе выбранных наполнителей и синтезированных вяжущих, вне зависимости от силикатного модуля последнего, после термообработки при температуре 60°C также не обладают водостойкостью и самопроизвольно разрушаются через некоторое время после погружения в воду. Увеличение температуры обработки от 150°C и выше ведет к получению водостойких образцов, наполнителем в котором является шамот.

Известно [2], что в результате спекания каолиновых глин в шамот образуется 40-60% кремнеземистого стекла. Поэтому можно предположить, что при повышенной температуре происходит растворение кремнеземистого стекла шамота в щелочной среде.

Таким образом, шамот в полученной композиции выступает в качестве активного структурообразующего компонента.

Остальные образцы, в которых наполнителем являются песок либо супесь, становятся водостойкими после обработки при температуре 300°С и выше.

Режим термообработки также влияет на рН поровой жидкости образцов. Варьируя компонентный состав и температуру обработки, можно получить водостойкие образцы, обладающие нейтральным либо слабощелочным рН поровой жидкости.

Для образцов на основе вяжущего с модулем 1,0 в ряду наполнителей шамот-супесь-песок при прочих равных условиях (одинаковое соотношение наполнитель:вяжущее – 3,3:1, одинаковая температура обработки – 700°С) рН увеличивается. Это может быть связано с основной сырьевой смеси, которая, увеличивается в данном ряду (основность определяется по коэффициенту насыщения $K_{нас}=(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3)$).

Для образцов, обладающих водостойкостью, были определены физико-механические характеристики. Полученные данные представлены в таблице 1. Анализ полученных данных показывает, что на основе природного и техногенного минерального сырья можно получать строительные изделия с широким спектром физико-механических характеристик. Увеличение температуры обработки с 300 до 700°С влияет на водостойкость и рН поровой жидкости образцов строительных изделий, однако практически не изменяет прочностные характеристики образцов.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики образцов строительных изделий

Наполнитель	Силикатный модуль вяжущего	Температура обработки, °С	Плотность, г/см ³	Предел прочности, МПа		Истираемость, г/см ²
				при сжатии	при изгибе	
Шамот	3,3	300	1,76	67,9	-	-
		700	1,76	76,3	6,0	0,49
	2,0	300	1,67	91,2	-	-
		700	1,74	95,9	12,2	0,36
	1,1	300	1,65	92,7	-	-
		700	1,73	90,3	12,0	0,48
Супесь	3,3	300	1,90	52,4	-	-
		700	1,80	37,8	-	-
	2,0	300	1,78	64,2	-	-
		700	1,76	62,7	4,7	0,50

Песок	1,0	300	1,83	40,7	-	-
		700	1,73	39,6	-	-
	3,3	300	1,82	71,6	-	-
		700	1,85	89,6	7,6	0,54
	2,0	300	1,77	57,0	-	-
		700	1,79	69,5	8,5	0,15
1,0	300	1,78	65,5	-	-	
	700	1,78	64,6	9,7	0,47	

Проследить зависимость физико-механических показателей полученных изделий от модуля силикатного вяжущего не удалось. Силикатный модуль вяжущего влияет на удобоукладываемость шликера, которая улучшается с уменьшением первого, вследствие понижения вязкости вяжущего. В результате формовочная масса становится более однородной при применении вяжущего с силикатным модулем 1,0. Однако, после термообработки (300 и 700°C) происходит некоторое вспучивание такой массы.

Сравнительный анализ прочностных характеристик полученных изделий с характеристиками силикатного и керамического кирпичей (таблица 2) показал, что образцы на основе синтезированного вяжущего могут быть рекомендованы в качестве изделий конструкционного назначения.

Таблица 2 – Сравнительные характеристики строительных изделий

Строительные изделия	Предел прочности, МПа		Истираемость, г/см ²	
	при сжатии	при изгибе		
Кирпич силикатный М300 (ГОСТ 379-95)	30,0	4,0	-	
Кирпич керамический рядовой М100-М300 (ГОСТ 530-2012)	10,0-30,0	2,2-4,4	-	
Кирпич керамический клинкерный М300-М1000 (ГОСТ 530-2012)	30,0-100,0	4,4 и более	не более 1,5	
Полученные* в настоящей работе на основе	шамота	95,9	12,2	0,36
	супеси	62,7	4,7	0,50
	песка	69,5	8,5	0,15

*Образцы на силикатном вяжущем с модулем 2,0 после термообработки при 700°C

Литература:

1. Вяжущее из отходов динасового огнеупора / Л.К. Бердникова, А.В. Лапин, Ф.К. Горбунов, В.А. Полубояров // В сборнике: Химические технологии функциональных материалов Материалы V Международной Российско-Казахстанской научно-практической конференции, посвященной 85-летию Казахского национального университета им. аль-Фараби. Отв. ред. А.И. Апарнев. Новосибирск, 2019, С. 81-82.

2. Аваков, В.А. Сравнительная растворимость некоторых модификаций кремнезема // Строительные материалы, 1972. – № 11. – С. 35-36.

АКТИВИРОВАНИЕ ЗОЛЫ В ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**А.В. Левкович¹, А.В. Дицель¹, Н.А. Попов¹, Д.А. Арещенко¹,
Н.А. Машкин¹, Б.Д. Гимаев²**

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск**

**Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск
an.v.levkovich@gmail.com**

Представлены результаты исследований технологий строительных материалов на основе активированной золы и минеральных компонентов бетонных смесей. Предложено универсальное оборудование для активирования материалов – дезинтеграторы и диспергаторы-активаторы.

The results of research of building materials technologies based on activated ash and mineral components of concrete mixtures are presented. The universal equipment for activation of materials – disintegrators and dispersants-activators is offered.

Среди промышленных отходов одно из первых мест по объемам занимают золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива (уголь разных видов, горючие сланцы, торф) на тепловых электрических станциях (ТЭС). На многих ТЭС ежегодный выход золы и шлака превышает 1 млн. т, а на станциях, сжигающих многозольное топливо, достигает 5 млн. т.

Огромные количества золы и шлака скопились в отвалах, занимающих ценные земельные угодья. Содержание золошлаковых отходов требует значительных затрат. В то же время золы и шлаки ТЭС являются материалами, прошедшими высокотемпературную обработку и получившими специфические свойства, предопределяющие возможность их эффективного использования в производстве различных строительных материалов, что подтверждается научными

исследованиями и практическим опытом [1]. Повышенная химическая активность зол и шлаков ТЭС по сравнению с материалами, не прошедшими термической обработки, позволяет более чем на треть снизить топливно-энергетические затраты при последующем их использовании в производстве строительных материалов и изделий.

Из зол и шлаков возможно производство практически всех строительных материалов, изделий и конструкций, необходимых при возведении жилых и промышленных зданий, сельскохозяйственных объектов, дорожных и гидротехнических сооружений и т.п.

Необходимость использования зол и шлаков диктуется не только экономическими соображениями, но и особенно современными требованиями охраны окружающей среды. Замена природного сырья золами и шлаками способствует охране недр. Ликвидация золошлаковых отвалов благоприятно сказывается на атмосферном воздухе, который в местах отвалов содержит частицы пыли, разносимые ветром на значительные расстояния и отрицательно влияющие на окружающую среду и здоровье людей. Вместе с тем продолжают увеличиваться площади, занимаемые золошлаковыми отходами. В настоящее время на золоотвалах Новосибирска хранится более 23 млн. т ЗШО, которые занимают около 1000 га.

Ежегодно, в целом по России, образуется около 60 млн. т золошлаковых отходов (ЗШО), по Омским ТЭЦ-2, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 – около 2,5 млн. т ЗШО, по Новосибирским ТЭЦ-5, ТЭЦ-3, ТЭЦ-2 – 800 тыс. т. В среднем, по этим городам, мелкими потребителями утилизируется не более 5-6% ЗШО.

Наибольший интерес вызывают технологии массового применения ЗШО:

- производство портландцемента (кремнеземистые добавки). В этой технологии можно использовать практически весь объем, ежегодно образующихся на Новосибирских ТЭЦ ЗШО (до 800 тыс. т).

- производство пуццолановых портландцементов марок до 32,5, при этом на единицу продукции используется 30-40% ЗШО.

- производства легких, тяжелых и жаростойких бетонов и строительных растворов, где на единицу товарной продукции расходуется 10-30% ЗШО.

- производства глиняного и силикатного кирпича.

- производства зольного и аглопоритового гравия.

- производства сырьевых материалов для дорожной промышленности.

- производства сырья для металлургической промышленности.

- производства специализированной товарной продукции: различных типов (микросфер, ксеносфер, ценосфер, легковесных огнеупоров, шлакаты, облицовочной плитки и т.д.).

Для практической реализации указанных технологий в настоящее время разработан универсальный набор машин, включающий в себя мельницу сухого измельчения – дезинтегратор и гидродинамическую мельницу – активатор-смеситель для финишной обработки твердых и жидких компонентов и получения тяжелых и легких бетонов.

Кафедра Инженерных проблем экологии НГТУ (в содружестве с учеными ЮГУ, Ханты-Мансийск) предлагает использовать мобильные активационные комплексы для производства искусственных каменных материалов на основе техногенного и местного сырья. В качестве сырьевых компонентов могут широко применяться местные грунты, золошлаковые отходы, а также отходы переработки древесины и сельскохозяйственного сырья.

Основная идея таких технологий базируется на применении активационного оборудования: дезинтеграторов (рисунок 1) и гидродинамических диспергаторов-активаторов (рисунок 2) [2-3].

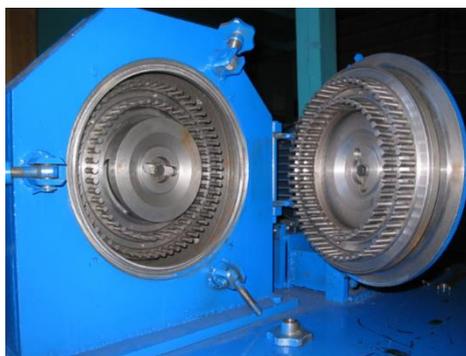


Рис. 1. - Дезинтегратор



Рис. 2. – Диспергатор-активатор

Исследования, проведенные в НГТУ и ЮГУ, показали, что активирование золы и цементных вяжущих позволяет на 30-50% повысить прочность цементно-зольных строительных материалов.

Литература:

1. Угляница А.В., Гилязидинова Н.В., Каргин А.А., Машкин Н.А. Разработка строительных материалов на основе отходов промышленного производства. Монография; КузГТУ. - Кемерово, 2017. – 174 с.
2. Федченко В.И., Машкин Н.А., Баев В.С. Архитектурно-строительная система «АБВ стройтехнологии». Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 8 (680). С. 118.
3. Машкин Н.А., Молчанов В.С., Зибницкая Н.Е., Петров И.И. Активирование цементного вяжущего в технологии тяжёлого и ячеистого бетона для транспортного строительства Вестник ТувГУ. – 2015. - Вып. 3 Технические и физико-математические науки. – С. 12-17.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ ПРИРОДНЫМИ ЦЕОЛИТАМИ

Ю.С. Мурашкина

Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, murashkina02@gmail.com

Одной из актуальных проблем полимерных материалов является снижение горючести и воспламеняемости. Одним из решений является добавление в полимеры антипиренов – замедлителей горения. Эффективность ряда антипиренов прямо пропорциональна их содержанию в полимерной матрице, вызывая ухудшение прочностных и функциональных характеристик материала. Для решения этой проблемы могут быть использованы природные минералы – цеолиты.

One of the pressing problems of polymeric materials is the reduction of combustibility and flammability. One solution is the addition of polymers flame retardants slow the burning. The effectiveness of a number of flame retardants is directly proportional to their content in the polymer matrix, causing deterioration of the strength and functional characteristics of the material. To solve this problem, natural minerals – zeolites-can be used.

Одной из актуальных проблем является проблема горючести полимерных материалов. Большинство таких материалов являются горючими и характеризуются низкой огнестойкостью. Решения этой проблемы повлияет на развитие множества отраслей народного хозяйства, таких как строительство, машиностроение, авиа- и автомобилестроение и т.д. Исследования в этой области направлены на определение условий распространения пламени, критических условий затухания материалов, а также на изучение влияния различных веществ на горючесть материалов [1-4].

В большинстве случаев причиной пожаров оказывается возгорание полимерных материалов от различных маломощных источников зажигания. Возникновение дыма и токсичных газов при горении полимерных материалов, уменьшение скорости горения и замедление склонности к воспламенению являются залогом снижения опасности возникновения и быстрого развития пожара, проявления его негативных последствий [5].

Введение в полимерный материал антипиренов (замедлителей горения) или модификация самого материала – основные способы снижения горючести. Однако одним из важнейших аспектов использования замедлителей горения является сохранение или улучшение физико-механических характеристик полимерных материалов. Для решения обеих задач может быть использован

экологически безопасный антипирен – природный цеолит Сахаптинского месторождения. По химическому составу цеолит относится к высококремнеземистой цеолитовой породе. Рентгенофазовый анализ показал, что образец содержит в своем составе примесные породы – кварц, монтмориллонит, полевои шпат и кристобалит, а также 45–50 % клиноптилолита, гейландит.

С помощью электронной микроскопии выявлено, что частицы цеолита имеют и пластинчатую (2–10 мкм) и брусковидную (5–15 мкм) форму и составляют сложные конгломераты.

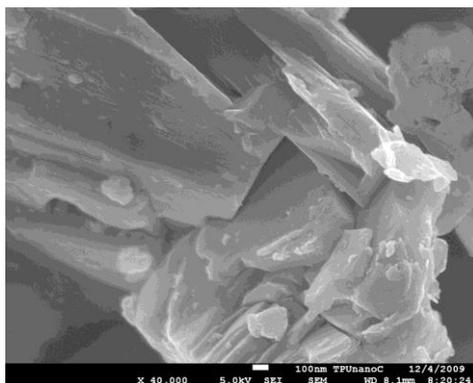


Рисунок. 1 – Электронная фотография Сахаптинского цеолита

Механические испытания эпоксидных композитов были проведены по ГОСТу 4648-71 «Метод испытания на статический изгиб» [6]. На рисунке 2 представлены образцы эпоксидных полимеров без наполнителя и с наполнителем.

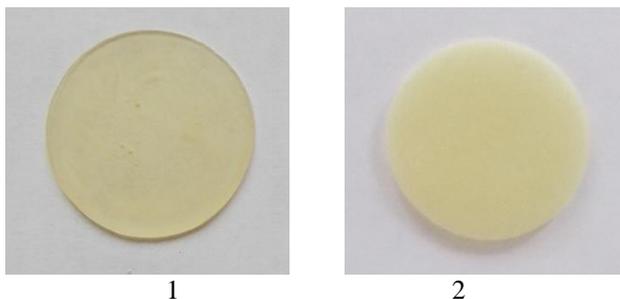


Рисунок. 2 – Образцы эпоксидных полимеров:
1 – без наполнителя; 2 – с наполнителем

В таблице 1 отображены полученные результаты механических испытаний.

Таблица 2 – Результаты испытаний

№ п/п	Наполнитель	Модуль упругости, МПа	Максимальная сила, кгс
1	Эпоксидный полимер (ЭП)	569,33	8,90
2	ЭП + 1% цеолит	1644,90	16,71
3	ЭП + 5% цеолит	1129,83	13,62
4	ЭП + 10% цеолит	1256,36	14,78

Из данных таблицы видно, что образцы, наполненные цеолитом, имеют повышенные механические показатели, но с увеличением концентрации цеолита происходит ухудшение механических свойств образцов. Это может объясняться большой пористостью и неоднородным распределением цеолитов.

Полученные результаты дают основание полагать, что цеолиты могут быть использованы в качестве антипиренов для полимерных материалов.

Литература:

1. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов. – М.: Химия, 1980. – 274 с.
2. Ю-Винг Май, Жонг-Жен Ю. Полимерные нанокompозиты. – М.: Техносфера, 2011. – 688 с.
3. Мурашкина Ю. С., Назаренко О. Б. Проблемы использования полимерных материалов, наполненных различными антипиренами //н34 наука. Технологии. Инновации//Сборник научных. – С. 180.
4. Мурашкина Ю. С., Назаренко О. Б. Снижение пожарной опасности эпоксидных композитов за счет применения природных цеолитов //Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития: сборник научных трудов международной научной конференции, г. Томск, 12–16 ноября 2018 г.—Томск, 2018. – 2018. – С. 313-314.
5. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов. – М.: Знание, 1981. – 64 с.
6. ГОСТ 12.1.044-89. Пожароопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Изд-во стандартов. – С. 13-23.

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Д.А. Немущенко, Е.И. Хорошева, М.М. Слонова
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nemuschenko@corp.nstu.ru

Проведен обзор современного состояния в области переработки полимерных отходов в г. Новосибирске – определены объемы образования отходов, предприятия-переработчики, система сбора. Выявлены системные проблемы, намечены пути решения, связанные с технологиями переработки отходов с получением вторичных полимеров с улучшенными свойствами.

A review of the modern state in the field of polymer waste processing in Novosibirsk was carried out - volumes of waste generation, processing enterprises, collection system were determined. Systemic problems are identified, ways of solving, technologies of waste processing with production of secondary polymers with improved properties are planned.

В связи с выходом поправок с 01 января 2019 г. к Федеральному закону «Об отходах производства и потребления» № 89-ФЗ и возникшей необходимостью налаживания раздельного сбора твердых коммунальных отходов (ТКО) в г. Новосибирске и области определен региональный оператор по обращению с ТКО – ООО «Экология-Новосибирск». На данный момент в г. Новосибирске активно ведется работа по налаживанию системы раздельного сбора ТКО, установлено более 2300 контейнеров [1]. Контейнеры также устанавливаются в р.п. Коченево, р.п. Краснообск, г. Обь, Ордынске и других населенных пунктах. При этом выделяются только полезные фракции ТКО, подлежащие дальнейшей переработке – стеклянная и полимерная тара, соответственно такую систему можно назвать *частичным* раздельным сбором. В составе ТКО, кроме того, присутствует значительное количество других фракций, которые либо могут быть чрезвычайно опасны для человека и окружающей среды (батарейки, ртутьсодержащие отходы и пр.), либо могут быть потенциально полезными для вторичной переработки (макулатура, бытовая и офисная техника, черные и цветные металлы). Выделение таких отходов из состава ТКО населения пока налажено очень слабо – присутствует в виде разовых акций или сбор проводят в отдельных коммерческих организациях – что является дальнейшей деятельностью регионального оператора.

При этом даже немногочисленные фракции, которые на данный момент выделяются (стекло, пластик), в масштабах нашего города являются многотоннажными, соответственно становятся актуальными технологии переработки, в частности, полимерных отходов. В

Новосибирске существуют несколько предприятий [2], занимающихся переработкой полимерной тары и изделий из полимеров в основном с получением вторичного продукта - гранулята. В основном принимаются к переработке такие материалы, как полиэтилентерефталат, полиэтилены высокого и низкого давления, полипропилен, некоторые специфические изделия массового производства (дорожные ограждения, стулья и т.п.). Не все виды полимерной тары и изделий подлежат вторичной переработке [3] в силу отсутствия технологий получения вторичных продуктов, либо выделением в атмосферу токсичных веществ при нагревании, т.к. большинство материалов перерабатываются экстразией.

Кроме того, экспертами отмечается низкое качество производимого в России вторичного сырья из полимерных отходов, в связи с чем пластмассовые отходы предприятиями-переработчиками закупаются за границей – в 2018 г. в Россию ввезено отходов на 20,3 млн. долл. [4].

Для более полного использования полимерных отходов, расширения номенклатуры утилизируемых отработанных изделий, а также номенклатуры производимой вторичной продукции на кафедре инженерных проблем экологии НГТУ проводятся исследовательские работы в рамках следующих тематик:

1. Получение вторичных полимерных материалов (гранулята) из отходов, образующихся при частичном раздельном сборе ТКО, изучение физико-химических свойств и направлений возможного применения. Особенно актуально проведение исследований в отношении промышленно не перерабатывающихся (либо незначительно перерабатывающихся) полимеров.

2. Модификация вторичных полимеров функциональными частицами различной химической природы, геометрии и дисперсности, в том числе наночастицами и нановолокнами с целью повышения качества вторичного продукта.

3. Получение и исследование физико-химических свойств композитов, прежде всего, строительного назначения на основе полимерных отходов.

Литература:

1. Бери и разделяй! [Электронный ресурс] // ООО "Экология-Новосибирск". - 07.11.2019 - Режим доступа: <https://ecologynsk.ru/news/203>

2. Переработка отходов пластика в Новосибирске [Электронный ресурс] // Информационный интернет-портал г. Новосибирска. - Режим доступа: https://ns-catalog.ru/podrubiki.php?rub_num=45853

3. Виды пластика для вторичной переработки: какие можно использовать повторно? [Электронный ресурс] // Все о переработке

вторсырья и утилизации отходов. - Режим доступа: <https://rcycle.net/plastmassy/kakoj-plastik-mozhno-pererabatyvat-i-ispolzovat-povtorno>

4. Россия на треть увеличила ввоз пластикового мусора из-за границы [Электронный ресурс]. - 30.08.2019. - Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/30/08/2019/5d67e17f9a7947d966d7fd3d>

5. Малкин А.Я, Вольфсон С.А., Кулезнев В.Н., Файдель Г.И. Полистирол. Физико-химические основы получения и переработки. - М.: Химия, 1975. - 288 с.

ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

А.Д. Останина¹, А. С. Чичкань^{2,1}, Е.Д. Фоменкова¹

¹Новосибирский государственный технический университет,

²ФИЦ Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

г. Новосибирск, ostanina-arina@mail.ru

Рассмотрена проблема сжигания попутного газа на факелах и вредное воздействие впоследствии сгорания. Проведен обзор методов утилизации попутного нефтяного газа, в которых особое внимание уделяется уменьшению воздействия на окружающую среду вредных веществ. Предложен каталитический метод утилизации попутных нефтяных газов с получением водород-метановой газовой смеси и углеродных наноматериалов.

The problem of associated gas flaring and the harmful effects of subsequent combustion are considered. A review of associated petroleum gas utilization methods is conducted, in which special attention is paid to reducing the environmental impact of harmful substances. A catalytic method for the utilization of associated petroleum gases to produce a hydrogen-methane gas mixture and carbon nanomaterials is proposed.

Попутный нефтяной газ считается побочным продуктом нефтедобычи и при отсутствии возможности его переработки обычно сжигается на факелах. Уровень сжигания нефтяного газа по нефтяным компаниям варьируется от 5% до ~ 54%. В среднем по России сжигается 20...24 %. При сжигании ПНГ теряется значительное количество ценного сырья, так как в отличие от природного газа, попутный нефтяной газ содержит значительное количество этана, пропана, бутана и некоторые другие углеводородные и неуглеводородные газы [1]. Непродуктивное сжигание ПНГ обусловлено рядом причин технического и экономического характера, а также особенностями

правового регулирования нефтедобывающей отрасли [2]. В результате на месторождениях и нефтеперерабатывающих предприятиях по всему миру горят более 17000 факелов, выбрасывая каждый год в атмосферу около 350 млн. т. CO₂, а также большое количество разнообразных загрязняющих веществ, в том числе очень опасных [2].

При сжигании попутного нефтяного газа негативному воздействию подвергается воздух, почва и вода. В первую очередь, негативное воздействие оказывается на воздушную среду. Сжигание является одним из главных источников загрязнения атмосферного воздуха в регионах, в которых развивается и развита нефтедобывающая промышленность. При сжигании ПНГ образуются сажа, оксиды азота, монооксид углерода, 3,4-бензпирен, «проскочившие углеводороды», бензол, фосген, толуол, тяжелые металлы (ртуть, мышьяк, хром), сернистый ангидрид, иногда сероводород, сероуглерод, меркаптаны. А также парниковые газы, прежде всего, углекислый газ. Токсичные соединения от сжигания ПНГ могут аккумулироваться в источниках питьевой воды, в почвах, растениях и животных и попадать в организм человека через пищевые цепочки. Особенно опасным может быть загрязнение пастбищных земель, что значительно увеличивает риск заболеваемости коренных народов [3].

В настоящее время, говоря об использовании ПНГ, выделяют следующие способы:

1) Рациональное (эффективное):

– глубокая переработка в газ, топливо и сырье для нефтехимической промышленности

– неглубокая переработка в газ и топливо

– генерация электрической и тепловой энергии

– закачка в газотранспортную систему – сжижение ПНГ;

2) Допустимое (затратное, потери ПНГ до 30–35% при повторном извлечении):

– обратная закачка ПНГ в нефтяной пласт;

3) Утилизация:

– бездымное сжигание на факельных установках с высокоинтенсивными камерами сгорания с минимальным количеством выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух;

4) Уничтожение:

– факельное сжигание[2].

Использование попутного нефтяного газа предполагает определение ценности его качественной переработки, ценности его отдельных компонентов. Состав ПНГ может значительно варьироваться в зависимости от территории добычи, а также от свойств конкретного месторождения. Из полученного попутного газа выделяют более легкие

фракции — смесь метана и пропана, сухой отбензиненный газ, по своим свойствам близкий к природному газу, а также широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ), которая является важным сырьем для газонефтехимии.

В дальнейшем из ШФЛУ в результате газофракционирования можно выделить сжиженные углеводородные газы, которые могут быть использованы в качестве топлива или сырья для газонефтехимии. Далее происходят процессы более глубокой переработки: пиролиз ШФЛУ; дегидрирование, полимеризация и другие процессы.

Важным результатом процесса переработки ПНГ в рамках газонефтехимии является появление полимеров — полиэтилена, полипропилена, полистирола, поливинилхлорида и синтетического каучука. Из них производятся одежда и обувь, тара и упаковка, продукты ежедневного потребления, элементы бытовой техники и автомобильные детали, оконные профили, линолеум, медицинское оборудование, подвесные потолки и другая гамма продукции, без которой немислима современная жизнь [3].

Следует отметить, что ПНГ является ценным химическим сырьем и высокоэффективным органическим топливом.

В настоящей работе предлагается способ каталитической утилизации ПНГ, который относится к рациональному и является частным случаем глубокой переработки. В качестве главных продуктов при каталитическом разложении ПНГ получают углеродные наноматериалы и водород. Структура получаемого углеродного наноматериала зависит от состава катализатора, используемого в процессе. Исследование проводили на модельной газовой смеси, используя природный газ и пропан-бутановую смесь в качестве исходного сырья [3].

Углеродные нанотрубки – уникальный углеродный наноразмерный материал, который, благодаря своим уникальным свойствам, имеет огромные перспективы применения. Известно, что наибольшей каталитической активностью в процессах каталитического получения углеродных наноматериалов среди индивидуальных металлов обладают Fe, Co и Ni. На никельсодержащих катализаторах происходит рост углеродных нанонитей, поэтому в качестве активных компонентов катализаторов мы использовали железо и кобальт. Для целенаправленного получения в процессе разложения углеводородов углеродных нанотрубок были приготовлены $\text{CoO-MoO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ катализаторы [4], в которых суммарное содержание железа, молибдена и кобальта варьировалось в районе 60 мас. %.

Процесс разложения углеводородов проводили в проточной пилотной установке с вращающимся реактором непрерывного действия.

Катализатор загружали в установку через систему подачи катализатора, затем реактор нагревали в токе аргона до температуры реакции (700-720 °С). При достижении температуры реакции включали вращение реактора, прекращали подачу аргона и подавали в систему реакционную смесь. В таблице представлены экспериментальные данные. Видно, что при использовании катализатора $\text{CoO-MoO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ газовый состав продукции значительно отличается от случая простого пиролиза углеводов [4].

Таблица – Составы газовых смесей: исходной, после пиролиза и каталитического разложения углеводов

Компоненты смеси	Состав исходной смеси, об. %	Состав газовой смеси после пиролиза без катализатора, об. %	Состав газовой смеси через 40 мин. после начала каталитического процесса, об. %
Водород	28,6	33,6	72,0
Метан	19,0	33,3	19,0
Этан/Этилен	9,4	21,2	4,4
Пропан/Пропилен	29,0	10,1	3,9
Бутан/Бутилен	14,0	1,8	0,7

Показано, что на оригинальной пилотной установке с вращающимся реактором, которая способна работать на смеси углеводов, моделирующей состав попутный нефтяных газов, можно получать 25 г УНТ на г катализатора в час и водород-метановую газовую смесь.

Настоящая работа была выполнена в Институте катализа СО РАН под руководством д-ра хим. наук Чеснокова В.В.

Литература:

1. Книжников, А.Ю., Пусенкова Н.Н. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России: ежегодный обзор проблемы в рамках проекта «Экология и Энергетика. Международный контекст»– М. : ИМЭМО РАН, 2009. – 28 с.

2. Книжников А.Ю., Ильин А.М. Проблемы и Перспективы использования попутного нефтяного газа в России — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017.— 34 с.

3. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» / Кирюшин П.А., Книжников А.Ю., Кочи К.В., Пузанова Т.А., Уваров С.А. // Аналитический доклад об экономических

и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013.— 88 с.

4. Чичкань А.С., Чесноков В.В. Метод каталитического разложения легких углеводородов на катализаторе Ni-Cu-Fe/Al₂O₃ для создания технологии утилизации попутных нефтяных газов // Кинетика и катализ. – 2015. – Т. 56, № 3. – С. 377-381.

5. Чичкань А.С. Утилизация попутных нефтяных газов методом каталитического разложения легких углеводородов с получением углеродных наноматериалов и водорода: дис. ... канд. техн. наук: 20.00.36. – Новосибирск, 2013. – 170 с.

СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЕЙ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Е. Д. Фоменкова¹, А. С. Чичкань^{2,1}, А. Д. Останина¹

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

г. Новосибирск, fomenkova2020@bk.ru

Рассмотрена проблема загрязнения атмосферного воздуха выхлопными газами автомобилей. Синтезированы Pd/Al₂O₃, Pd/TiO₂-δ-Al₂O₃, Pd/ZrO₂ катализаторы и исследованы их свойства в реакции окисления СО.

The problem of air pollution by automobile exhaust gases is considered. Pd/Al₂O₃, Pd/TiO₂-δ-Al₂O₃, Pd/ZrO₂ catalysts were synthesized and their properties were studied in the oxidation of CO.

Автомобильный транспорт является основным источником загрязнения атмосферы. С каждым годом число автомобилей растет, а, следовательно, растет степень загрязнения атмосферы. Становится необходимым использование дополнительных средств защиты окружающей среды.

Состав выхлопных газов автомобилей зависит от типа двигателя (бензиновый или дизельный) и характера топлива. Основными загрязняющими компонентами автомобильных газов являются несгоревшие углеводороды (СН_х), СО и оксиды азоты.

При взаимодействии оксидов азота с углеводородами под действием солнечной радиации происходит образование фотохимического смога, поэтому выхлопные газы особенно вредны в плохо продуваемых городах с большим количеством солнечной радиации.

Оксид углерода, поступающий в атмосферный воздух, оказывает непосредственное влияние на человека, воздействуя на клетки его организма, нарушая тканевое дыхание, уменьшая потребление тканями

кислорода [1]. Угарный газ, выступая в реакцию с гемоглобином, образует карбоксигемоглобин, что приводит к гипоксии.

При неполном сгорании и термическом разложении углеводов топлива образуются взвешенные вещества (сажа), это частицы твердого углерода. Наибольший вред сажи проявляется в адсорбировании на ее поверхности бенз(а)пирена, который в этом случае оказывает более сильное негативное воздействие на организм человека, чем в чистом виде. Он хорошо растворяется в маслах, жирах, в сыворотке человеческой крови. Накапливаясь в организме человека до опасных концентраций, бенз(а)пирен стимулирует образование злокачественных опухолей.

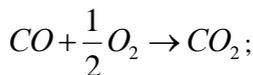
Рассуждая о возможностях снижения экологической нагрузки на атмосферу от автомобильных выхлопов можно предложить несколько альтернативных вариантов, например, использование электромобилей или замену традиционного топлива (бензин, ДТ) на газ.

Однако основными методами уменьшения токсичности выхлопных газов являются [2]:

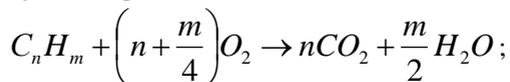
- улучшение конструкции двигателей;
- введение электронных устройств регулировки состава газов;
- улучшение качества топлива;
- применение катализаторов для очистки.

Очистку отходящих газов бензиновых двигателей осуществляют в каталитических нейтрализаторах (дожигатели). На катализаторах обезвреживания протекает большое число реакций, но основными являются три:

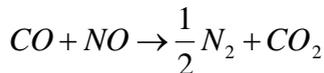
1) Окисление CO:



2) Дожигание углеводов до CO₂:



3) восстановление оксидов азота:



В условиях нестационарного процесса горения топлива в двигателе лучшими и практически единственными катализаторами, несмотря на их дороговизну, являются благородные металлы: Pt, Pd, Ru, Rh.

Рост производства дизельных двигателей ставит задачи о необходимости очистки таких выхлопных газов. При равных значениях выбросов NO_x выбросы CO и углеводов дизельными двигателями в

5-10 раз меньше, чем бензиновыми. Однако дизельные выхлопы содержат значительные количества сажи ($\approx 0,3-0,5 \text{ г/м}^3$). Частицы сажи содержат биологически активные и токсичные соединения, среди которых канцерогены, например, бензопирен, а также альдегиды, сера, азотсодержащие органические соединения.

Особенностью дизельного топлива является наличие в нем сераорганических соединений, т.к. оно состоит из тяжелых углеводородов с температурой кипения $180-420 \text{ }^\circ\text{C}$. При сгорании они образуют SO_2 , который в атмосфере окисляется до SO_3 и образует серную кислоту, основной источник кислотных осадков.

Катализаторы для удаления вредных веществ из дизельных выхлопов должны выдерживать гидротермальные условия и должны быть устойчивы к отравлению соединениями серы.

В настоящее время для удаления CO из выхлопных газов используются катализаторы на основе платины. Однако исследователи продолжают разработки катализаторов для нейтрализации выхлопных газов, используя и другие драгоценные металлы.

В настоящей работе был выполнен поиск высокоактивных, термостабильных и сероустойчивых палладийсодержащих катализаторов окисления CO .

На основе анализа литературных данных были синтезированы и исследованы свойства $\text{Pd/Al}_2\text{O}_3$, $\text{Pd/TiO}_2\text{-}\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$, Pd/ZrO_2 катализаторов в реакции окисления CO [3].

При исследовании механизмов дезактивации катализаторов под действием SO_2 , установлено, что поверхность палладиевых частиц катализаторов $\text{Pd/Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Pd/TiO}_2\text{-}\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ покрывается пленкой сульфата алюминия или титана и, таким образом, блокируется доступ газовых реагентов к поверхности активного компонента. При серообработке Pd/ZrO_2 катализатора механизм дезактивации имеет иной характер: поверхность палладия блокируется атомным слоем серосодержащих фрагментов. Каталитическая активность дезактивированных Pd/ZrO_2 катализаторов может быть в значительной мере регенерирована после гидротермальной обработки при $800 \text{ }^\circ\text{C}$.

Настоящая работа была выполнена в Институте катализа СО РАН под руководством д-ра хим. наук Чеснокова В.В.

Литература:

1. Лим Т.Е. Влияние транспортных загрязнений на здоровье человека. Обзор литературы // Экология человека. – 2010. – №1. – С. 4–9.
2. Крылов О.В. Гетерогенный катализ: Учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 679 с.

3. Чичкань А.С. Разработка Pd/Y₂O₃-ZrO₂ катализатора для удаления монооксида углерода из дизельных выхлопов: дипл. работа. – Новосибирск, 2002. – 68 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ ФЕНОЛА В ПРИСУТСТВИИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА СИБУНИТ

А. С. Фролова^{1,2}, А.И. Вартик¹, Н.В. Громов^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск,

²Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН,
г. Новосибирск, annaifrolova1997@gmail.com

Приготовлены образцы катализаторов 2%Fe/Sib на основе шести марок углеродного материала Сибунит для проведения исследований по переработке загрязнителя фенола в процессе жидкофазного окисления пероксидом водорода. Катализаторы исследованы физико-химическими методами анализа. Изучена кинетика протекания реакции окисления субстрата. Обнаружено, что катализатор 2%Fe/Sib-1, приготовленный на основе марки Сибунит-1, является наиболее эффективным для данной реакции. В его присутствии степень превращения фенола составила 82%.

Samples of catalysts 2% Fe/Sib based on six grades of carbon material Sibunit for research on the processing of the pollutant phenol in the process of liquid-phase oxidation with hydrogen peroxide were prepared. Catalysts were investigated by physical and chemical methods of analysis. The kinetics of the substrate oxidation reaction was studied. It was found that the catalyst 2%Fe / Sib-1 prepared on the basis of Sibunit-1 model is the most effective for this reaction. In its presence, the degree of conversion of phenol was 82%.

Фенолы являются одним из наиболее распространенных загрязнителей, встречающихся в сточных водах [1]. Известно, что фенолы относят к числу трудноудаляемых органических загрязнителей, поэтому разработка новых экологически и экономически эффективных методов переработки таких загрязнителей представляется актуальной задачей современных научных исследований. Процессы окисления пероксидом водорода часто применяются для очистки сточных вод от различных органических загрязнителей [2]. В качестве катализаторов предлагается использовать системы переходных металлов (Ru, Pt, Pd, Fe, Cu, Mn), нанесенных на оксидные, углеродные или цеолитные носители. Следует отметить, что использование недорогих металлов более перспективно, так как применение благородных

металлов (Ru, Pt, Pd) может существенно увеличить стоимость катализатора. С другой стороны, углеродные материалы отличаются высокой устойчивостью к воздействиям реакционной среды, а также часто оказываются более активными по сравнению с другими носителями за счёт высокой адсорбционной способности. Таким образом, в данной работе для проведения исследований по переработке загрязнителя фенола были использованы твердые катализаторы на основе железа, нанесенного на углеродный материал Сибунит.

Целью работы стало: приготовление катализаторов 2%Fe/Sib с использованием шести марок углеродного носителя, исследование активности железосодержащих катализаторов на основе углеродного материала Сибунит в реакции жидкофазного пероксидного окисления фенола.

Для приготовления углеродных катализаторов использовали 6 марок Сибунита, отличающихся физико-химическими показателями (удельная поверхность, влагоемкость, зольность, объем пор и т.д.). Углеродные материалы отмывали кипячением, измельчали, отсеивали фракцию 250-500 мкм для дальнейшей работы. Железо наносили методом пропитки по влагоемкости из раствора $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, прокаливали в потоке воздуха в течение 4 часов при 200°C и скорости потока 150 мл/мин.

Текстульные характеристики катализаторов на основе УМ Сибунит были исследованы методом низкотемпературной адсорбции азота. Анализ изотерм позволяет проследить динамику характеристических параметров текстуры в зависимости от условий и способа приготовления катализаторов (табл. 1).

Таблица 1 – Текстульные характеристики образцов катализаторов и средний размер частиц железа по данным ПЭМ

Катализатор	Текстульные характеристики катализаторов			Средний размер Fe, нм
	А Σ , м ² /г	V Σ , см ³ /г	Dпор, Å	
2%Fe/Sib-1	404	0,45	60,3	2,5
2%Fe/Sib-2	359	0,39	52,8	2,4
2%Fe/Sib-3	342	0,36	50,3	2,1
2%Fe/Sib-4	261	0,24	47,7	2,2
2%Fe/Sib-5	246	0,20	43,1	2,0
2%Fe/Sib-6	309	0,25	60,4	1,9

А Σ – уд. поверхность; V Σ - суммарный объем пор; Dпор – диаметр пор.

Величина удельной поверхности катализаторов возрастает в ряду: 2%Fe/Sib-5 < 2%Fe/Sib-4 < 2%Fe/Sib-6 < 2%Fe/Sib-3 < 2%Fe/Sib-2 < 2%Fe/Sib-1. Объем пор образцов находится в пределах 0,20 – 0,45 см³/г.

Катализаторы исследованы методом просвечивающей электронной микроскопии. Углеродный материал Сибунит представляет собой глобулы сферической формы. На УМ нанесены железосодержащие наночастицы. Средний размер металлических частиц на поверхности угля находится в диапазоне 1,9 – 2,5 нм (табл. 1).

Процесс окисления фенола происходит на поверхности катализатора, поэтому при проведении исследований по активности катализаторов необходимо определить величину адсорбции фенола на поверхности каждого образца катализатора. В среднем значения адсорбции находились в диапазоне 19-31 %. Сопоставление данных величины удельной поверхности катализаторов и величины адсорбции фенола позволяет заметить тренд к увеличению адсорбции от площади поверхности катализаторов (рис. 1).

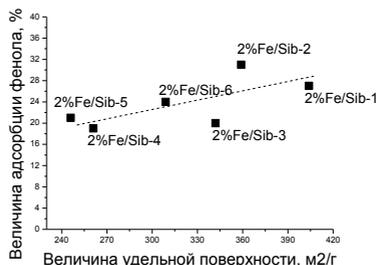


Рис. 1— Зависимость адсорбции фенола от поверхности Сибунита

Приготовленные образцы катализаторов были исследованы в процессе жидкофазного пероксидного окисления фенола.

Испытания катализаторов в исследуемой реакции проводили при атмосферном давлении и температуре 25 °С в стеклянном реакторе объёмом 100 мл. Температуру реакции поддерживали постоянной при помощи термостата.

По полученным результатам ВЭЖХ анализа построены кинетические зависимости превращения фенола от времени реакции для всех шести катализаторов. Превращение фенола протекало с высокой скоростью первые 15 минут реакции, после чего наблюдалось заметное замедление процесса, связанное с отравлением катализатора продуктами разложения субстрата (рис. 2).

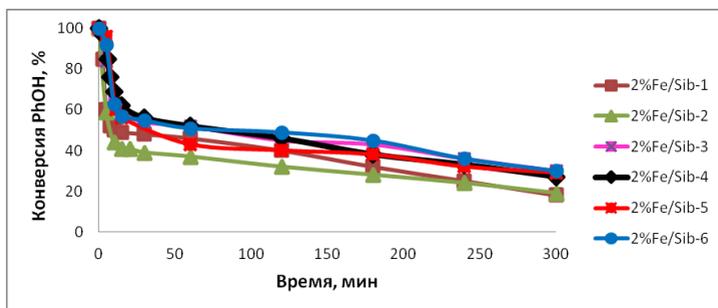


Рис. 2 - Кинетические кривые расходования фенола в зависимости от времени реакции

В целом глубина превращения субстрата достигала 70 – 82 % и изменялась в ряду: 2%Fe/Sib-3 ~ 2%Fe/Sib-6 < 2%Fe/Sib-5 < 2%Fe/Sib-4 < 2%Fe/Sib-2 < 2%Fe/Sib-1. Наибольшая величина превращения фенола зафиксирована в присутствии катализатора 2%Fe/Sib-1 и составила 82 %.

В ходе работы синтезированы твердые железосодержащие катализаторы на основе шести марок углеродного материала Сибунит (2%Fe/Sib). Катализаторы исследованы рядом физико-химических методов (низкотемпературная адсорбция N₂, ПЭМ). Катализаторы испытаны в реакции пероксидного окисления фенола при температуре 25°С. Обнаружено, что наиболее эффективным (активным) оказался катализатор на основе марки Сибунит-1. В присутствии катализатора на его основе степень превращения фенола составила 82%.

Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-33-01007).

Литература:

1. Autenrieth R.L., Bonner J.S., Akgerman A., Okaygun M. et al. Biodegradation of phenolic wastes // J. Hazard. Mater. – 1991. – V. 28. – N 1-2. P. 29-53.
2. Dojilido R., Best G.A. Chemistry of waters and water pollution. Ellis Horwood, New York, 1993. – P. 40 – 46.

СРАВНЕНИЕ СПОСОБНОСТИ КОМПОНЕНТОВ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ПРЕПЯТСТВОВАТЬ ПРОНИКНОВЕНИЮ НЕФТИ В ПОЧВУ

А.И. Циберкина, А. Е. Кожевникова, Н.И. Ларичкина
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tsiberkina@bk.ru

В работе представлены результаты лабораторных экспериментов по исследованию возможности задержки защитным экраном проникновения в почву нефти при её разливах. Защитный экран в виде смеси природных материалов и техногенных отходов расположенный на поверхности почвы позволяет более эффективно проводить работы по ликвидации аварии и восстановлению загрязнённых участков. Показано, что более 50% нефти адсорбируется в пористом слое, представляющим собой смесь древесных опилок с золой уноса угольных электростанций. Примерно 15 % нефти накапливается в смеси: глина (бентонит)+зола уноса. Механическое удаление защитного экрана вместе с нефтью позволяет более эффективно проводить процессы по восстановлению загрязнённых почв.

The work presents the results of laboratory experiments to study the possibility of delay by a protective screen of oil penetration into the soil during its spills. The protective screen in the form of a mixture of natural materials and man-made wastes located on the soil surface makes it possible to carry out works on elimination of the accident and restoration of contaminated areas more effectively. It is shown that more than 50% of the oil is adsorbed in the porous layer, which is a mixture of sawdust and fly ash of coal-fired power plants. About 15% of the oil accumulates in a mixture: clay (bentonite) fly ash. Mechanical removal of the protective screen together with oil allows to carry out more efficient processes for restoration of contaminated soils.

Проблема очистки земель в России от загрязнений нефтью является весьма актуальной. Нефть, попадая в почву, оказывает неблагоприятное воздействие на ее биологическую активность. К настоящему времени основные исследования направлены на разработку методов по восстановлению загрязненных земель.

Целью данной работы является сравнение адсорбционных свойств техногенных отходов и природных материалов, которые могут быть использованы при разработке экранов, препятствующих загрязнению почв нефтью.

Объектом исследования в работе являлись подзолистые почвы, как экранированные защитным экраном, так и без него. Для загрязнения исследуемых образцов почвы использовалась нефть средней плотности Восточно-Ягунского месторождения. Защитный экран представлял собой трехслойную систему. Верхний слой состоял из смеси золы уноса и древесных опилок, взятых в соотношении 10:1 (по массе) и характеризовался высокой пористостью и проницаемостью. Этот слой

способствует наиболее быстрому поглощению нефти при разливе, тем самым сокращает поверхность её растекания. Последующие два слоя, состоявшие из смеси бентонита и золы уноса характеризуются низкой проницаемостью. Они препятствуют проникновению нефти вглубь по разрезу.

Исследования, по изучению проникновения нефти в слой экрана и почвы, проводились в лаборатории новых материалов на основе техногенных отходов кафедры инженерных проблем экологии на модельной установке по методике, представленной в работе [1]. Было проведено два эксперимента, в каждом из которых было собрано по семь установок. В шести из них почва была защищена экраном, состоящим из слоев, состав которых опубликован в работе [2]. В седьмой установке находился только слой почвы высотой (2 см), аналогичной высоте почвы, защищенной экраном. Во всех экспериментах высота слоя бентонита составляла 1 см. Высота слоя, представляющего собой смесь бентонита и высококальциевой золы уноса, взятых в соотношении 1:1 (по массе) в первом эксперименте равнялась 1 см, а во втором – 2 см. Высота трех нижних слоев защитного экрана и почвы оставалось неизменной. В первом эксперименте она равнялась 4 см, во втором - 5 см. В экспериментах изменялась только высота верхнего слоя, представляющего собой смесь высококальциевой золы уноса и древесных опилок. Высота этого слоя составляла 2 см, 4 см и 6 см. Учитывая, что каждый опыт проводился в двух параллельных измерениях, поэтому их нумерация осуществлялась следующим образом, а именно 2, 2', 4, 4', 6, 6'. (табл. 1).

Таблица 1 - Исходная масса компонентов защитного экрана и почвы (г), послойно, г.

№ опыт а	1 эксперимент				2 эксперимент			
	Слой							
	Зола+ опилки	Зола+ бентони т	Бенто- нит	Поч- ва	Зола+ опилки	Зола+ бентони т	Бен- тонит	Поч- ва
2	10,4	8,0	7,8	23,6	5	14	7	20
2'	14,3	8,4	8,4	20,0	5	14	7	20
4	24,0	8,4	8,4	23,8	10	14	7	20
4'	24,1	7,4	7,4	23,4	10	14	7	20
6	22,9	7,8	7,8	20,8	15	14	7	20
6'	22,6	7,5	7,5	23,4	15	14	7	20

Высота слоя нефти над экраном и почвой поддерживалась постоянной (1 см). В первом эксперименте установки были разобраны через три месяца, а во втором - по окончании проведения эксперимента.

Каждый слой защитного экрана и почвы, пропитанные нефтью, взвешивался (табл. 2).

Таблица 2 - Масса материалов защитного экрана и почвы (г), пропитанных нефтью

№	1 эксперимент				2 эксперимент			
	Слой							
	Зола+ опилки	Зола+ Бенто- нит	Бенто- нит	Почва	Зола+ Опил-ки	Зола+ Бенто- нит	Бенто- нит	Поч- ва
2	27,5	12,4	13,2	29,6	30,3	23,3	12,2	25,2
2'	27,4	13,7	20,0	25,6	25,6	22,6	12,4	24,8
4	47,0	16,6	12,1	32,2	46,8	21,8	12,0	25,7
4'	47,2	17,0	12,1	30,0	37,0	21,0	10,2	25,7
6	65,7	15,0	12,4	26,7	67,4	21,1	11,6	25,1
6'	69,1	10,5	14,0	32,6	66,0	21,2	12,0	26,0

В табл. 3 представлены результаты расчетов количества нефти, поглощенной каждым из слоев защитного экрана и почвой.

Таблица 3 - Количество нефти (г), поглощенной каждым из слоев защитного экрана и почвой

№	Слой								Масса поглощенной нефти, г	
	1 эксперимент				2 эксперимент				эксперимент	
	Зола + опилки	Зола + бентонит	Бентонит	Почва	Зола + опилки	Зола+ бентонит	Бентонит	Почва	1	2
2	17,1	4,4	5,4	6,0	25,3	9,3	5,2	5,2	32,9	45,0
2'	13,1	5,3	11,6	5,6	20,6	8,6	5,4	4,8	35,6	39,4
4	23,0	8,2	3,7	8,4	36,8	7,8	5,0	5,7	43,3	55,3
4'	23,1	9,6	4,7	6,6	27,0	7,0	3,2	5,7	44,0	42,9
6	42,8	7,2	4,6	5,9	52,4	7,1	4,6	5,1	60,5	69,2
6'	46,5	3,0	6,5	9,2	51,0	7,2	5,0	6,0	65,2	69,2

Результаты исследований показывают, что с увеличением высоты адсорбционного слоя (в 3 раза) прямо пропорционально возрастает и количество поглощенной нефти. В первом эксперименте, когда установки были разобраны спустя три месяца, количество нефти возросло в 3 раза. А во втором, масса поглощенной нефти увеличилась в 2,3 раза. Эти различия указывают на то, что для полного насыщения нефтью слоями защитного экрана необходимо время. Следует отметить,

что масса адсорбированной нефти в каждом из этих слоев в первом эксперименте меньше, чем во втором (~ на 7,5 г). С одной стороны, это указывает на процесс испарения низкокипящих компонентов нефти с поверхности защитного экрана. С другой – на процессы миграции мигрантноспособных (насыщенных) углеводородов (УВ) нефти в ниже лежащие слои как защитного экрана, так и почвы (табл. 4).

Таблица 4 – Процентное распределение нефти по слоям защитного экрана и почвы

№ эксперимента	слой			
	зола+опилки	зола+бентонит	бентонит	почва
1	56	14	15	15
2	65	15	9	11

Полученные данные показывают, что основная часть нефти (более 50%) адсорбируется слоем опилок с золой уноса. В слоях одинаковой мощности бентонита и смеси его с золой уноса задерживается одинаковое количество нефти (14-15%). Что подчеркивает не только сходство в элементном составе зол уноса с бентонитом, но и в их одинаковой сорбционной способности нефтяных УВ. И значит, бентонит можно частично или, возможно, и полностью заменить золами уноса, получаемых при сжигании бурых углей. Увеличение количества нефти, в слое смеси бентонита и золы уноса (15%) по сравнению с бентонитом (9%) объясняется тем, что во втором эксперименте высота (масса) этого слоя была в 2 раза больше, чем бентонита.

Таким образом, при наличии защитного экрана значительная часть (от 85 до 89%) наиболее токсичных УВ нефти (ПАУ, смолы, асфальтены) задерживается компонентами защитного экрана и лишь около 15% нефтяных УВ с невысокой молекулярной массой (главным образом, метановые УВ), удаление которых из почвы происходит в более короткие сроки, может проникать в почву. Это снижает и сроки рекультивации почв и приводит к снижению загрязнения их нефтью.

Литература:

1. Кочегарова К.В., Ларичкина Н.И., Ларичкин В.В. Использование тех-ногенных отходов для создания экранов по защите почв от разливов нефти /Наука. Промышленность. Оборона: тр. XVIII Всерос. науч.-технич. конф.: в 4 т./ под ред. С.Д. Саленко - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – Т. 4. - С. 225 – 230.

2. Кожевникова А.Е, Соловей М.В., Ларичкина Н.И., Ларичкин В.В. Исследование скорости проникновения нефти в слои защитного экрана и почву / Наука. Промышленность. Оборона: тр. XX Всерос.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ АДСОРБЦИОННОЙ ВОДООЧИСТКИ ОТ ДИКЛОФЕНАКА

А.В. Швыдко, М.Н. Тимофеева
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, alina.schwydcko.98@mail.ru

В данной работе изучена возможность применения металлоорганических координационных полимеров, образованных ионами Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ga^{3+} и тримезиновой кислотой, в качестве адсорбентов для очистки воды от фармацевтических препаратов на примере диклофенака. Показано, что их адсорбционная ёмкость по диклофенаку составляет 127-202 мг/г и определяется их текстурными характеристиками.

This investigation is devoted to adsorptive removal of diclofenac from water using metal-organic frameworks (MOFs) based on trimesic acid and metal ions such as Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ga^{3+} . It was found that adsorption capacity of MOFs is 127-202 mg/g and depends on their textural properties.

Бурное развитие фармацевтической промышленности и активное применение её продуктов привело к загрязнению вод поверхностных и подземных источников. Многочисленные исследования по их очистке от лекарственных препаратов и их метаболитов показали, что эти вещества не поддаются биологическому разложению. Одним из наиболее стойких к воздействию обычных биологических систем очистки является диклофенак (Рисунок 1), который широко используется как нестероидное противовоспалительное средство с сильным обезболивающим действием при ревматоидном артрите, остеоартрозе и т.д.

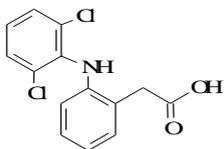


Рис. 1 – Структура диклофенака

В настоящее время для очистки воды от органических загрязнителей применяют различные физико-химические методы, такие как электрохимическое окисление, каталитическое окисление с

использованием кислорода или пероксида водорода, коагуляция, а также адсорбция на различные пористые носители. Недавно была показана возможность применения в качестве адсорбентов металлорганические координационные полимеры (МОКП), таких как MIL-100 и UiO-66. Однако адсорбция диклофенака из водных растворов на эти МОКП была изучена в кислой среде (pH 5.4-5.6) введением соляной или азотной кислот [1-3]. Целью данной работы было исследование адсорбции диклофенака на МОКП, образованных ионами Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ga^{3+} и тримезиновой кислотой, из водных растворов без дополнительного введения минеральных кислот, а также установление основных факторов, влияющих на адсорбционные свойства МОКП.

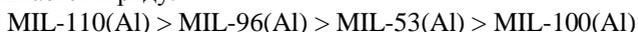
Для изучения адсорбционных свойств МОКП использовали водный раствор, содержащий 191 мг/л диклофенака. В 40 мл раствора присутствовал 1 мг адсорбента. Время установления адсорбционного равновесия при 25°C составляло 7 дней. Концентрацию диклофенака определяли спектрофотометрически на спектрофотометре Cary-50 Scan в кювете 1 см и длине волны 277 нм. Основные результаты приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Адсорбция диклофенака на МОКП

МОКП	$S_{\text{ВЕТ}}$ (m^2/g)	M^{3+}_{CUS} ($mmol/g$)	a (mg/g)	$a/S_{\text{ВЕТ}}$ (mg/m^2)
MIL-96(Al)	315	0.14	189	0.601
MIL-110(Al)	679	0.62	202	0.297
MIL-100(Al)	1249	0.98	144	0.116
MIL-100(Fe)	1161	2.28	127	0.109
MIL-100(Cr)	1842	2.64	145	0.079
MIL-53(Al)	1157	-	149	0.129
MIL-53(Ga)	1120	-	144	0.129
MIL-53(Cr)	1025	-	148	0.144

Согласно полученным данным величина адсорбции диклофенака на изоструктурные МОКП, такие как MIL-100(Al, Fe, Cr) и MIL-53(Al, Ga, Cr), слабо зависит от природы иона металла и находится в пределах 127-149 мг/г. Нормирование величины адсорбции на удельную поверхность ($a/S_{\text{ВЕТ}}$) также указывает на слабое влияние природы иона металла. Для данных МОКП она составляет 0.08-0.14 мг/м².

В тоже время величина адсорбции диклофенака на Al-содержащих МОКП снижается в ряду:



Интересно, что величина $a/S_{\text{ВЕТ}}$ снижается с увеличением количества координационно-ненасыщенных мест (M^{3+}_{CUS}), определенных методом

ЭПР с использованием TEMPO в качестве молекулы-зонда [4] (Рисунок 2А):

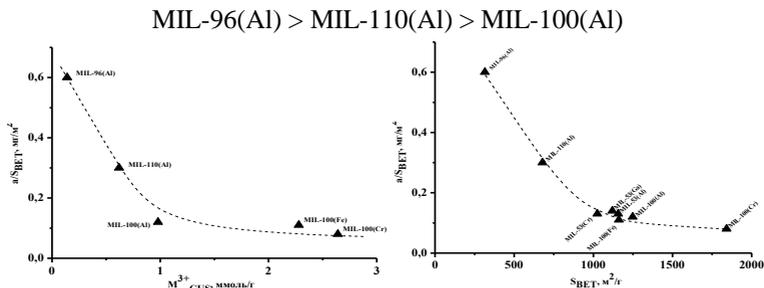


Рис. 2 – Зависимость величины адсорбции диклофенака, нормированной на удельную поверхность МОКП, от количества координационно-ненасыщенных мест (M^{3+}_{CUS}) (А) и удельной поверхности (Б)

Эту зависимость можно объяснить несколькими причинами. Прежде всего, это может быть связано с характером взаимодействия диклофенака с МОКП. Корреляция, показанная на Рисунке 2, и отсутствие зависимости от поверхностной кислотности МОКП ($\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$, точка нулевого заряда) для изоструктурных МОКП MIL-100(Cr) (4.4), MIL-100(Al) (3.9) и MIL-100(Fe) (3.7) могут говорить об адсорбции диклофенака через π - π -взаимодействие между бензольными кольцами молекулы диклофенака и лигандами МОКП (тримезиновой кислоты). Другое объяснение может быть связано с влиянием текстурных свойств МОКП на величину адсорбции диклофенака, что следует из корреляции, показанной на Рисунке 2Б. С увеличением удельной поверхности материала величина a/S_{BET} снижается. Наибольшая величина адсорбции 202 мг/г наблюдается в присутствии MIL-96(Al), для которого характерна низкая удельная поверхность и высокая микропористость материала.

Литература:

1. Hasan Z., Khan N.A., Jhung S.H. Adsorptive removal of diclofenac sodium from water with Zr-based metal-organic frameworks // Chemical Engineering Journal. – 2016. – N 284. – P. 1406–1413.
2. Zhuang S., Chen R., Wang J. Adsorption of diclofenac from aqueous solution using UiO-66-type metal-organic frameworks // Chemical Engineering Journal. – 2019. – N 359. – P. 354–362.

3. Bhadra B.N., Ahmed I., Kim S., Jung S.H. Adsorptive removal of ibuprofen and diclofenac from water using metal-organic framework-derived porous carbon // Chemical Engineering Journal. – 2017. – N 314. – P. 50–58.

4. Timofeeva M.N., Panchenko V.N., Prikhod'ko S.A., Ayupov A.B., Larichev Yu.V., Khan N.A., Jung S.H. Metal-organic frameworks as efficient catalytic systems for the synthesis of 1,5-benzodiazepines from 1,2-phenylenediamine and ketones // Journal of Catalysis. – 2017. – N 354. – P. 128–137.

ОЧИСТКА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПРОИЗВОДСТВА НЕКОНЦЕНТРИРОВАННОЙ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ ОТ ОКСИДОВ АЗОТА ПУТЕМ СЕЛЕКТИВНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ АММИАКОМ

А.Г. Шеболтасов², Н.В. Верниковская^{1,2}, В.А. Чумаченко¹

¹Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, vernik@catalysis.ru

Отходящие газы, образующиеся в процессе производства азотной кислоты, содержат оксиды азота, выброс которых в атмосферу строго нормируется. В промышленных установках обезвреживание отходящих газов проводят в реакторах каталитической очистки на различных катализаторах. В работе проведено моделирование адиабатического реактора селективного восстановления оксидов азота аммиаком на модифицированном алюмованадиевом катализаторе АОК-78-55М. Рассчитаны загрузки катализатора, обеспечивающие степень очистки газов от оксидов азота не менее 97 % при типичных для производств азотной кислоты в агрегатах УКЛ величинах объемного расхода газовых выбросов.

The waste gases generated during the production of nitric acid contain nitrogen oxides, the emission of which into the atmosphere is strictly regulated. In industrial plants, waste gas purification is carried out in catalytic reactors using various catalysts. In this work, we simulated the reaction of selective reduction of nitrogen oxides by ammonia in an adiabatic reactor on a modified aluminum-vanadium catalyst АОК-78-55М. For various amounts of gas emissions from nitric acid production units supplied to the purification reactor, the catalyst load was calculated, which ensures the degree of gas purification from nitrogen oxides of at least 97 %.

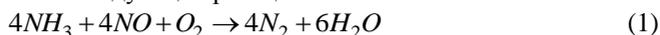
Оксиды азота NO_x – это высокотоксичные химические вещества, к тому же являющиеся причиной возникновения фотохимического смога, повышения кислотности атмосферных осадков, образования тропосферного и сокращения количества стратосферного озона. Следует особо подчеркнуть, что в части перечисленных процессов оксиды азота выполняют каталитическую функцию, что делает их особо

опасными загрязнителями [1]. Оксиды азота NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) относятся к 3 классу опасности и оказывают рефлекторное действие на верхние дыхательные пути, т. е. происходит реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей: ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т.п. Указанные эффекты возникают при кратковременном воздействии NO_x , поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления максимальной разовой предельно допустимой концентрации, которая составляет $0,4 \text{ мг/м}^3$ [2].

Установки по производству неконцентрированной азотной кислоты являются крупнейшим стационарным источником эмиссии оксидов азота в атмосферу. Поэтому очистка отходящих «хвостовых» газов производства азотной кислоты от оксидов азота стоит в ряду актуальных задач экологии.

Целью работы является теоретическое исследование процесса селективного каталитического восстановления (СКВ) оксидов азота аммиаком в адиабатическом реакторе обезвреживания с использованием модифицированного алюмованадиевого катализатора АОК-78-55М и определение оптимальных загрузок катализатора, обеспечивающих степень очистки газов от NO_x до санитарных норм, т.е. не менее 97 %.

При селективном каталитическом восстановлении оксидов азота аммиаком протекают следующие реакции:



Обычно реакция восстановления NO_2 до NO на разных типах катализаторов протекает быстрее, чем последующая реакция восстановления NO до N_2 , и не лимитируется присутствием кислорода [3]. Поэтому в расчетах мы будем предполагать, что протекает одна реакция восстановления NO . Кинетическое уравнение реакции восстановления NO имеет вид: $r_{\text{NO}} = kC_{\text{NO}}$, где $k = k_0 \cdot \exp(-E/RT)$ – наблюдаемая константа скорости реакции (на зернах катализатора в виде черенков размером $4 \times 10 \text{ мм}$ энергия активации $E = 13,39 \text{ кДж/моль}$, предэкспоненциальный множитель $k_0 = 252,1 \text{ с}^{-1}$).

Математическая модель процесса селективного восстановления NO в адиабатическом реакторе состоит из стационарных уравнений тепло- и массопереноса, учитывающих конвективный перенос тепла и массы и протекание экзотермической реакции. В модели учитываются термодинамические параметры, зависящие от состава, концентрации и температуры как всех соединений, входящих в реакцию, так и всей реакции в целом. Также учитывается зависимость константы скорости реакции от температуры по уравнению Аррениуса. В математической

модели учитываются габариты реактора, для которого производится расчет, и количество газовых выбросов, подаваемых в реактор.

Расчеты процесса проводились при следующих параметрах: входная температура 220°C; площадь сечения аппарата 11,34 м²; концентрации: оксиды азота – 0,15 об. %, аммиак – 0,165 об. %, кислород – 5 об. %, вода – 2 об. %, азот – остальное; объемный расход газовых выбросов, подаваемых в реактор, Q = 46040-58670 м³/ч (н. у.).

На рисунке 1 показаны расчетные профили степени превращения NO и температуры в адиабатическом реакторе при Q = 47038 м³/ч.

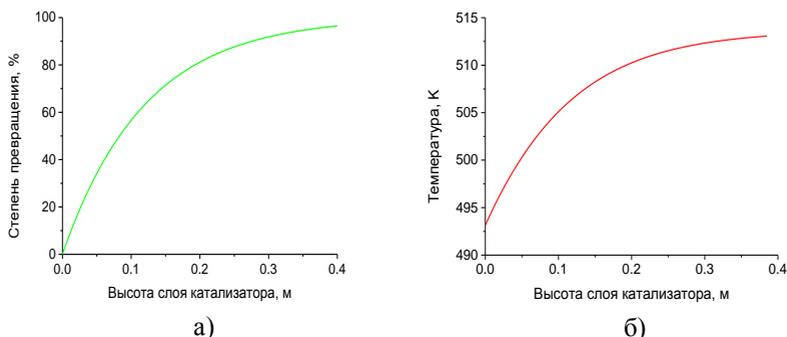


Рисунок 1 – Профили степени превращения NO (а) и температуры (б) в адиабатическом реакторе при Q = 47038 м³/ч.

Из рисунков видно, что достигнутая степень превращения NO составила не менее 97 % при высоте слоя катализатора 0,385 м. Адиабатический разогрев реакции составил 20°C. Загрузка катализатора составила 3,929 т, при этом перепад давления не превысил 739 Па.

В зависимости от заданного количества газовых выбросов, подаваемых в реактор, была рассчитана загрузка катализатора, обеспечивающая степень очистки газов от NO_x не менее 97 %. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 2 – Рассчитанные параметры процесса для различного количества подаваемых в реактор газов

Q, м ³ /ч	46040	47038	55035	56400	57600	58670
H, м	0,375	0,385	0,450	0,460	0,470	0,480
G, т	3,827	3,929	4,593	4,695	4,797	4,899
U, м/с	1,128	1,152	1,348	1,382	1,411	1,437
ΔP, Па	710	739	989	1036	1077	1115

Q , м³/ч – количество газовых выбросов, подаваемых в реактор;

H , м – высота слоя катализатора;

G , т – вес катализатора в тоннах;

U , м/с – линейная скорость потока;

ΔP , Па – гидравлическое сопротивление слоя катализатора в виде цилиндров диаметром 4 мм и длиной 10 мм.

Из рассчитанных данных видно, что при увеличении газового потока высота слоя катализатора увеличивается от 0,375 до 0,480 м. Необходимая загрузка катализатора составила 3,827-4,899 т. Наблюдается прямая зависимость всех рассчитанных параметров от величины газового потока.

В работе выполнено моделирование процесса очистки отходящих газов при производстве неконцентрированной азотной кислоты от оксидов азота путем селективного каталитического восстановления аммиаком. Получены оптимальные загрузки катализатора при различных количествах газовых выбросов, обеспечивающих степень очистки газов от оксидов азота не менее 97 %.

Литература:

1. Смирнов Б. Ю. Об очистке газовых выбросов от оксидов азота // Альманах современной науки и образования. – 2012. – № 5 (60). – С. 124-126.;

2. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. – Введ. 22.12.2017.

3. Матрос Ю. Ш., Носков А. С., Чумаченко В. А. Каталитическое обезвреживание отходящих газов промышленных производств / Ю. Ш. Матрос, А. С. Носков, В. А. Чумаченко – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1991. – 224 с.

АКТИВНОСТЬ НИКЕЛЬЦЕРИЕВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ ПАРОУГЛЕКИСЛОТНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

А.С. Шляхтина¹, О.Б. Сухова², Е.В. Матус^{1,2}

¹ Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

² Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, г. Новосибирск
alexandra_issakova@mail.ru

С целью разработки стабильных к дезактивации катализаторов риформинга природного газа исследована активность никельцериевых катализаторов $Ce_{1-x}Ni_xO_y$ ($x = 0.1-0.4$) в реакции пароуглекислотной конверсии метана. Изучено влияние состава катализаторов на показатели процесса. Выявлена взаимосвязь между физико-химическими характеристиками образцов и их функциональными свойствами.

In order to develop stable catalysts for reforming of natural gas, the activity of nickel-cerium catalysts $Ce_{1-x}Ni_xO_y$ ($x = 0.1-0.4$) in the reaction of steam-carbon dioxide methane conversion was studied. The effect of the composition of the catalysts on their performance in the process was studied. The relationship between the physicochemical characteristics of the samples and their functional properties is revealed.

В настоящее время одной из острых экологических проблем является высокая техногенная эмиссия диоксида углерода (CO_2), обусловленная использованием в качестве энергетических ресурсов богатых углеродом ископаемых видов топлив (уголь, нефть или природный газ). Диоксид углерода может служить сырьем для производства многих химических продуктов. Пароуглекислотный риформинг метана позволяет утилизировать два «парниковых газа» и получать базовый продукт химической промышленности – синтез газ (смесь CO и H_2).



Эффективными катализаторами данного процесса являются нанесенные никелевые катализаторы, к недостаткам которых можно отнести низкую устойчивость к зауглероживанию [1]. В этой связи актуальным является поиск оптимального состава и метода синтеза Ni катализаторов, обеспечивающих стабильные показатели процесса в течение длительного времени. Цель настоящей работы – исследование активности никельцериевых катализаторов $Ce_{1-x}Ni_xO_y$ ($x = 0.1-0.4$) в реакции пароуглекислотной конверсии метана в зависимости от их состава.

Синтезирована серия никельцериевых образцов при варьировании содержания активного компонента. Синтез проводился по методу

сложноэфирных полимерных предшественников, содержание Ni составляло 2, 5, 10 и 15 мас. %. Полученные катализаторы прокаливали на воздухе при температуре 500 °С в течение 4 часов и восстанавливали при 800 °С в течение 1 часа перед проведением каталитической реакции. Катализаторы охарактеризованы комплексом физико-химических методов (термический анализ, рентгенофазовый анализ, низкотемпературная адсорбция азота, термопрограммируемое восстановление водородом, просвечивающая электронная микроскопия) [2]. Тестирование образцов в реакции пароуглекислотного риформинга метана осуществляли в проточном кварцевом реакторе, при 1 атм, температуре 600-850 °С, мольном соотношении реагентов CH_4 : CO_2 : H_2O : He = 1,0: 0,81: 0,38: 2,8.

Исследование физико-химических свойств катализаторов $\text{Ce}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_y$ показало, что с увеличением содержания никеля текстурные характеристики образцов улучшаются, возрастает дефектность материала. Катионы никеля стабилизируются либо в составе твердого раствора на основе диоксида церия, либо в составе высокодисперсных частиц оксида никеля (менее 4 нм). Активация образцов перед реакцией в восстановительной среде приводит к формированию активных частиц Ni^0 (с размером частиц 6-8 нм) на поверхности диоксида церия (с размером кристаллитов 15-20 нм).

Установлено, что основными продуктами пароуглекислотного риформинга метана являются водород и CO. Конверсия реагентов (метан, CO_2) и выход продуктов (H_2 и CO) зависят от состава катализатора. Показано, что с увеличением содержания Ni от 2 до 15 мас. % как значения конверсии реагентов, так и выхода продуктов увеличиваются. При этом эффективность образования водорода, напротив, снижается с увеличением содержания Ni активного компонента: удельная скорость образования водорода снижается от 3 до 10 моль H_2 /(мольNi·мин). Длительные испытания катализаторов показали их удовлетворительную стабильность работы. Проведен сопоставительный анализ физико-химических характеристик образцов и их функциональных свойств, выявлен оптимальный состав катализатора. Катализатор с содержанием 15 мас. % при 800 °С обеспечивает в течение 24 ч реакции пароуглекислотного риформинга метана выход H_2 не менее 80% при конверсии реагентов не менее 75%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект № 18-53-45012 ИНД_а).

Литература:

1. Демидов Д.В., Сахаровский Ю.А., Розенкевич М.Б. Никель-циркониевые катализаторы для получения синтез-газа методом

пароуглекислотной конверсии метана. – Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – Т. XXVI. – №7. – С. 63–68.

2. Влияние метода приготовления на физико-химические и функциональные свойства Ni/CeO₂-катализаторов / Е.В. Матус, А.С. Шляхтина, О.Б. Сухова, И.З. Исмагилов, В.А. Ушаков, С.А. Яшник, А.П. Никитин, Р. Bharali, М.А. Керженцев, З.Р. Исмагилов. – Кинетика и Катализ. – 2019. – Т. 60. – № 2. – С. 245–255.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В КИТАЕ В XX И XXI ВЕКАХ

**Д.Д. Ануфриева, Е.В. Бурцева,
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, anufrieva99@inbox.ru**

В данной статье автор обозначает проблемы экологической политики в Китае в XX и XXI веках. Особое внимание уделено анализу состояния окружающей среды в КНР в контексте глобальных экологических проблем. Выявляя причины возникновения экологических проблем, в статье обозначены меры по защите окружающей среды в рамках сотрудничества Китая и России.

In this article, the author identifies the problems of environmental policy in China in the XX and XXI centuries. Special attention is paid to the analysis of the state of the environment in China in the context of global environmental problems. Identifying the causes of environmental problems, the article identifies measures to protect the environment in the framework of cooperation between China and Russia.

За последние два десятилетия экономический бум в Китае вызвал рост потребления и значительно ухудшил экологическое качество жизни. Стране требуется все больше и больше природных ресурсов, неуклонно растет энергопотребление. Тем не менее, Китай стремится и финансирует научные разработки в области новых технологий, способствующих реализации принятых экологических законов и инициатив [1].

Китай находится в восточноазиатском регионе, в котором в последние годы в связи с быстрым экономическим развитием неуклонно рос уровень промышленных выбросов. На данный момент этот регион — один из наиболее загрязненных на планете, высокий уровень загрязнения влечет большое количество кислотных осадков. Весьма серьезен уровень опустынивания земель [2]. В северо-азиатском регионе серьезной проблемой являются песчаные бури. Многие страны региона расположены на океанском побережье, их связывают общие проблемы загрязнения морских вод, особенно в южных областях.

Степень изученности темы. Вопросы и проблемы экологической политики Китая, исследовали такие авторы, как:

1) в российской историографии: А.С. Акишин «Экологическая политика зарубежных стран и России», Е. Фортигина «Экологические проблемы Китая»;

2) в зарубежной историографии: Ван Гуаньцзюнь «Основные проблемы экологической политики Китая в контексте глобальных проблем окружающей среды», Ван Яньюань «Исследование современной экологической политики Китая».

Объект исследования: экологическая политика Китая.

Предмет исследования: проблемы загрязнения окружающей среды.

Цель исследования: выявить проблемы экологической политики Китая.

Задачи исследования:

1) Проанализировать состояние окружающей среды КНР в контексте глобальных экологических проблем;

2) Выявление причин возникновения экологических проблем;

3) Рассмотреть вопросы двустороннего сотрудничества по проблемам охраны окружающей среды Китая с Россией.

В связи с масштабами китайской территории и традиционной структурой экономики, маловероятно, что в ближайшее время Китай сможет перейти к экономике «малоотходной чистой индустрии» [3]. В настоящее время, основой хозяйства страны являются отрасли тяжелой промышленности, химической, угольной и горнодобывающей отраслей, которые потребляют огромное количество энергии и дают большое количество опасных и не перерабатываемых отходов.

В настоящий момент Китай стоит перед лицом таких глобальных экологических проблем, как потеря биоразнообразия, опустынивание, уничтожение лесов, истощение запасов полезных ископаемых, загрязнение водных бассейнов, нехватка питьевой воды, загрязнение воздуха и почв, изменение климата. Подорванной можно считать репродуктивность полей, озер, рек, лесов, прибрежных районов страны. За последние два десятилетия во время экономического бума в Китае рост потребления значительно ухудшил экологическую ситуацию в стране [4].

Стремление к экономическим достижениям и реформам тормозит процесс экологического оздоровления. Стране требуется все больше и больше природных ресурсов, неуклонно растет энергопотребление. Если Китай, в ближайшее время не предпримет никаких мер, то плохая экология, причины которой кроются в варварском использовании природных ресурсов, нанесет непоправимый вред планете и существенно сократит население страны.

В Китае и в России в равной степени остро назрела необходимость переноса экологической трансграничной проблемы на абсолютно новый уровень. Уделяется особое внимание вопросам: охраны тигра, сохранение и восстановление популяций перелетных птиц. Россия и Китай заинтересованы в мероприятиях по восстановлению леса и принятии мер противодействия незаконным поставкам древесины[5]. Работа по охране трансграничных водных объектов будет продолжаться, также будет проводиться сохранение биологического разнообразия и реагирование на ЧС экологического характера.

В ближайшее время важным вопросом во внутренней и внешней политике Китая останется защита окружающей среды. Экологический фактор будет одним из важнейших в развитии экономики, политики, правовой системы и дипломатии КНР. Что касается сотрудничества, то эта сфера будет постепенно развиваться.

Литература:

1. Белая книга «Охрана окружающей среды в Китае». Пресс-канцелярия Госсовета КНР – Пекин, 2012. – 267с. (кит. яз.);

2. Ван Шивэй, М. Г. Ясовеев. Экологическая политика Китая, Экологическая политика Китая.

3. Дмитриева Е. И. Китай и Россия в международной системе обеспечения охраны окружающей среды // Молодой ученый. — 2015. — №11. — С. 1782-1784.

4. Конституции КНР «Закон КНР об охране окружающей среды», принятый 26 декабря 1989 г. на одиннадцатом заседании Постоянного комитета ВСНП седьмого созыва.

5. Международное сотрудничество РФ и КНР в сфере охраны окружающей среды [Электронный ресурс]- Режим доступа: http://filling-form.ru/blank_zayav/118515/index.html?page=30//

6. Плохая экология Китая: причины и последствия [Электронный ресурс]- Режим доступа: <http://fb.ru/article/309835/plohaya-ekologiya-kitaya-prichiny-i-posledstviya>

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАРАКЕТОСТРОЕНИЕ, ПОСВЯЩЕННОЕ 60 - ЛЕТИЮ ФАКУЛЬТЕТА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НГТУ

Саленко С.Д.	Новосибирск	3
--------------	-------------	---

Секция ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ

Пустовой Н.В.	Новосибирск	8
Белоусов И.С.	Новосибирск	41
Жучков Д.В.	Новосибирск	43
Занина Э.А., Бернс В.А., Лакиза П.А.	Новосибирск	45
Зыбарев И.А.	Новосибирск	48
Кокорина Е.А., Костюченко Т.Г.	Томск	54
Лакиза П.А., Красноручий Д.А.	Новосибирск	57
Мамелин М.М.	Новосибирск	59
Мирошниченко А.В., Леган М.А.	Новосибирск	64
Пашков Д.А., Железнов И.В., Шулепов А.И.	Самара	68
Титов И.А.	Новосибирск	70
Уперчук Р.А., Батулин А.П.	Самара	75
Шелухин П.А.	Новосибирск	78
Якунин В.А.	Новосибирск	83

Секция АЭРОДИНАМИКИ И АЭРОУПРОГОСТЬ

Кураев А.А., Обуховский А.Д.	Новосибирск	90
Акимов М.А., Поливанов П.А.	Новосибирск	106
Быков А.В., Павленко А.М., Занин Б.Ю.	Новосибирск	109
Валиуллин И.Р., Миронов С.Г.	Новосибирск	113
Васнев И.Р.	Новосибирск	117
Виноградова А.С., Акимов М.А.	Новосибирск	121

Золотухин А.В., Терехов В.И.	Новосибирск	125
Какаулин С.В., Езендеева Д.П., Гордиенко М.Р., Кабардин А.К.	Новосибирск	129
Королёв А.А., Кашковский А.В.	Новосибирск	132
Куликов В.В.	Новосибирск	136
Куликова О.А., Красюк А.М.	Новосибирск	140
Меньшиков К.С.	Новосибирск	143
Меньщикова И.В.	Новосибирск	148
Милицина Т.С., Поплавская Т.В.	Новосибирск	152
Полевщиков Д.П., Кашковский А.В.	Новосибирск	157
Скибина Н.П., Фарапонов В.В.	Томск	161
Усыннин С.Ю.	Новосибирск	165
Хворов И.В., Акимов М.А., Чемезов В.Л.	Новосибирск	169
Чудинова Ю.И., Косинов А.Д., Семенов Н.В., Ермолаев Ю.Г.	Новосибирск	172

**Секция ТЕЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ
ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Чичиндаев А.В.	Новосибирск	176
Верховцев О.Р., Аюров Б.Ч., Белоусов И.Д., Хромова И.В.	Новосибирск	180
Гравит А.И., Хромова И.В.	Новосибирск	182
Дагаева А.Б., Аюров Б.Ч., Белоусов И.Д.	Дубна, Новосибирск	185
Дагаева А.Б., Переладов Д.А., Герасимов А.С.	Дубна, Новосибирск	187
Дворецкий С.В., Макарова Е.Ю.	Новосибирск	190
Евдокименко И.А.	Новосибирск	194
Кан М.С., Хромова И.В.	Новосибирск	197
Лебеда К.С., Макаров М.С.	Новосибирск	200
Липин А.Н., Вишневская О.В., Чичиндаев А.В.	Новосибирск	202

Михайлов А.В., Бердников В.С., Гришков В.А.	Новосибирск	205
Лозовский М.В., Гоппе А.А., Горбачев М.В.	Новосибирск	209
Нягулов М.Р., Коротаева В.А., Тоекин В.А.	Новосибирск	210
Нягулов М.Р., Шакин А.Д., Краснощекова Д.С.	Москва, Новосибирск	214
Новикова Т.С., Манытов В.А.	Новосибирск, Улан-Удэ	217
Очередыко А.И., Пахомов М.А.	Новосибирск	220
Сиденко Д.Е., Сабельников В.И.	Новосибирск	224
Шеин С.Е., Чичиндаев А.В.	Новосибирск	227

**Секция КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ
ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ**

Гриф Е.М., Тумаева К.О., Упит О.К., Гуськов А.В., Милевский К.Е.	Новосибирск	232
Адрияшкина Т.Р.	Новосибирск	244
Батраев И.С., Дятлов Д.А.	Новосибирск	248
Батраев И.С., Рыбин Д.К.	Новосибирск	250
Белоусова Н.С., Глотов О.Г.	Новосибирск	253
Герман А.А., Кислин М.А., Гуськов А.В., Милевский К.Е.	Новосибирск	257
Головко К.С., Штерцер А.А., Ульяницкий В.Ю., Гриф Е.М.	Новосибирск	264
Есиков М.А., Абдразаков А.К., Ларичкин А.Ю.	Новосибирск	268
Есиков М.А.	Новосибирск	272
Жаровцев И.И.	Новосибирск	275
Зубашевский К.М., Пай В.В., Швецов Г.А.	Новосибирск	278
Иванников Н.С., Милевский К.Е.	Новосибирск	282
Квашнёв А.А.	Новосибирск	285
		289

Кирюхина В.А., Нестерова А.А.	Новосибирск	293
Копаненко А.С., Шаризанова Н.В., Таскаева Д.А., Милевский К.Е.	Новосибирск	297
Копаненко А.С., Таскаева Д.А., Шаризанова Н.В., Гуськов А.В.	Новосибирск	300
Кравец М.В., Звегинцев В.И., Романов В.В., Брагунцов Е.Я., Кузнецов Е.А., Романов В.В., Игонин Д.В., Брагунцов Е.Я.	Новосибирск	303
Мезенцев Н.В.	Новосибирск	311
Нестерова А.А., Литвинов В.Л.	Новосибирск	314
Хребтова М.С., Гуськов А.В., Милевский К.Е.	Новосибирск	318
Хмельников Е.А., Чванов А.Е., Чванов Р.С., Ширяева В.	Нижний Тагил	322
Шадрин И.Д., Юдинцев Д.В.	Нижний Тагил	327
Шальнев В.А., Пушкарев А.А.	Новосибирск	332

**Секция СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ**

Легкий В.Н.	Новосибирск	335
-------------	-------------	-----

**Секция ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

Ларичкин В.В.	Новосибирск	339
Алексеева А.А., Цыганков Д.А.	Новосибирск	344
Борисова А.А., Коротаева Т.А.	Новосибирск	348
Бунькова Е.И., Ларичкин В.В., Гусев К.П.	Новосибирск	352
Вентлянд Е.П., Панченко В.Н.	Новосибирск	354
Деревянко Р.В., Чичкань А.С., Чесноков В.В.	Новосибирск	358
Землянухина О.В., Громов Н.В.	Новосибирск	361

Игнатов А.С., Верниковская Н.В., Чумаченко В.А.	Новосибирск	364
Квашнина К.Е.	Новосибирск	368
Красовская А.Ю., Сторожко И.В., Удальцов Е.А.	Новосибирск	371
Лапин А.В., Бердникова Л.К., Полубояров В.А., Горбунов Ф.К.	Новосибирск	374
Левкович А.В., Дицель А.В., Попов Н.А., Арещенко Д.А., Машкин Н.А., Гимаев Б.Д.	Новосибирск, Ханты-Мансийск	378
Мурашкина Ю.С.	Томск	382
Немущенко Д.А., Хорошева Е.И., Слонова М.М.	Новосибирск	385
Останина А.Д., Чичкань А.С., Фоменкова Е.Д.	Новосибирск	387
Фоменкова Е.Д., Чичкань А.С., Останина А.Д.	Новосибирск	391
Фролова А.С., Вартик А.И., Громов Н.В.	Новосибирск	394
Циберкина А.И., Кожевникова А.Е., Ларичкина Н.И.	Новосибирск	398
Швыдко А.В., Тимофеева М.Н.	Новосибирск	402
Шеболтасов А.Г., Верниковская Н.В., Чумаченко В.А.	Новосибирск	405
Шляхтина А.С., Сухова О.Б., Матус Е.В.	Новосибирск	409
Ануфриева Д.Д., Бурцева Е.В.	Новосибирск	411

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
Сборник научных трудов в 9 частях

г. Новосибирск, 02-06 декабря 2019 г.

Часть 9

Под ред. Гадюкиной А.В.

Подписано в печать 10.12.2019. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 24,41. Печ. л. 26,25. Тираж 100 экз. Заказ № 9

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

