

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, 03-07 декабря 2018 г.
в 9-и частях**

Часть 9

НОВОСИБИРСК
2018

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, 2018. – Часть 9. – 241 с.

ISBN 978-5-7782-3733-9
Ч.9: ISBN 978-5-7782-3742-1

В сборнике публикуются материалы по научным направлениям: *«Актуальные проблемы авиаракетостроения»*

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.социол.н., профессор, директор ИСТР
Рева И.Л., к.т.н., доцент, декан АВТФ
Ромм М.В., д.ф.н., профессор, 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
Хрусталева 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 978-5-7782-3742-1 (Часть 9)
ISBN 978-5-7782-3733-9

© Коллектив авторов, 2018
© Новосибирский государственный
технический университет, 2018

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАРАКЕТОСТРОЕНИЯ

Секция АЭРОДИНАМИКА И АЭРОУПРОГОСТЬ

ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОМПОНОВОК КОММЕРЧЕСКИХ САМОЛЁТОВ МАЛОЙ АВИАЦИИ

М.А. Акимов

**Новосибирский государственный технический университет,
Сибирский научно-исследовательский институт авиации
им. С.А. Чаплыгина
г. Новосибирск, akimail@yandex.ru**

Для каждой категории воздушных судов существует ряд особенностей, возникающих в результате особых условий их применения. Условия эксплуатации коммерческих самолётов малой авиации значительно отличаются от условий эксплуатации магистральных, деловых и реактивных региональных самолётов. Всё это отражается на облике, параметрах и лётно-технических характеристиках коммерческих самолётов малой авиации и возникают отличительные признаки свойственные преимущественно данной категории.

The features aircraft for each category is result of it using in special conditions. The operating conditions for commercial small aviation are significantly different from those of mainline, business and jet regional aircraft. All this is reflected in the appearance, parameters and flight performance of commercial airplanes of small aviation and there are features inherent mainly in this category.

Согласно государственной программе Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013 - 2025 годы» с изменениями от 30 марта 2018 г. [1], кроме прочих, выделяются задачи по развитию малой авиации в России, выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), направленных на создание технологий для этой категории транспорта, а также разработка до 2025 г. новых образцов авиационной техники, способных обеспечить высокую транспортную мобильность населения страны. В настоящее время Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина (г. Новосибирск), совместно с другими участниками программы, занимается решением этих задач. С целью подготовки инженерных и научно-исследовательских кадров, а также осмысления термина «малая авиация», определения её особенностей и отличитель-

ных черт от большой авиации, вниманию читателей предлагается настоящая работа.

Очевидно, что самолёты имеющие одинаковые назначение и физические условия эксплуатации (высоты, скорости, перегрузки и т.п.), в целом будут иметь и схожие черты. Предварительно следует разобраться что из себя представляет малая авиация как класс воздушных судов и почему следует отдельно выделять коммерческую подкатегорию.

К малой авиации относятся: некоммерческая (спортивная, частная) авиация или, она же, авиация общего назначения (АОН) и коммерческая авиация, в которой можно выделить три сегмента: авиацию местных воздушных линий (МВЛ), деловую авиацию и специализированную, предназначенную для выполнения авиационных работ. Деловую авиацию также можно разделить на реактивную, оснащённую турбореактивными двигателями, и не реактивную, оснащённую поршневыми или турбовинтовыми двигателями. Общим для всех этих самолётов является соответствие требованиям лётной годности указанным в российских АП-23 или американским FAR-23. Некоторые небольшие региональные самолёты, обычно вместимостью до 50 пассажиров, так же имеют признаки коммерческих самолётов малой авиации, потенциально могут быть приравнены к ней, однако эти воздушные суда уже должны соответствовать требованиям АП-25 или FAR-25.

Суть коммерческой авиации выполнение перевозок и авиационных работ на возмездной основе. Для данной категории воздушных судов наиболее важной характеристикой является соотношение приносимой ими прибыли к затратам на их приобретение, содержание и эксплуатацию. Если в «большой» авиации – это, обычно ведёт к усложнению и совершенствованию конструкции, в малой – это достигается за счёт упрощения конструкций и механизмов. Специфика малой авиации заключается в большей степени ограниченности ресурсов, чем для большой. Поскольку в большинстве своём потребителями малой авиации являются частные лица, спортивные клубы и сравнительно небольшие авиакомпании – закупочная стоимость воздушного судна в значительной мере определяет спрос. И если в большой авиации контракты на поставку самолётов заключаются на годы вперёд, малая авиация, несмотря на то что стремится к этому же, более уязвима к покупательской способности потребителей, экономическому благополучию региона и мерам принимаемым государством по организации и управлению деятельностью в сфере частной и коммерческой малой авиации. Важно отметить, что коммерческой малой авиации с провозной ёмкостью не

превышающей 19 пассажиров также приходится действовать в условиях малых пассажиропотоков, поэтому её эффективность в значительной мере зависит от организации перевозок.

Всё выше сказанное ведёт к тому, что в компоновках и конструкции коммерческих самолётов малой авиации наравне с технологиями большой авиации (убирающиеся шасси, щелевые закрылки и др.), присутствуют элементы простых геометрических форм, например, прямоугольный в плане центроплан, часто применяются неубирающиеся шасси и подкосные крылья. Можно выделить две принципиально отличающиеся концепции, в настоящее время представленные самолётами ДНС-6 и L-410. Самолёт ДНС-6 двухдвигательный подкосный высокоплан с прямоугольным крылом в плане и неубирающимися шасси с передней опорой. Самолёт L-410 двухдвигательный свободнонесущий высокоплан с трапециевидным крылом в плане и убирающимся шасси с передней опорой. Самолёты исторически разрабатывались в одно время и по состоянию на вторую половину 2010-х гг. имеют близкие цены, около 6,3..6,5 млн. дол. США, их построено каждой модели более чем 1200 ед. с 1970-х гг.

Особое место в истории отечественной малой авиации занимает самолёт Ан-28, а если быть точным линейка самолётов Ан-14, Ан-28 и Ан-38 с их модификациями, производимые в СССР, Польше, России и на Украине. Самолёт Ан-28 двухдвигательный подкосный высокоплан. Крыло состоит из прямоугольного центроплана и трапециевидных консолей крыла. Самолёт имеет двухкилевое Н-образное хвостовое оперение и неубирающееся шасси с носовой опорой. Особенностью этого самолёта также является рампа в хвостовой части фюзеляжа, которая штатно используется для посадки и высадки пассажиров и оснащена выдвижной лестницей. В сравнении с L-410 и ДНС-6 Ан-28 имеет самое большое удлинение крыла $\lambda = 11,7$ против 8-9 у аналогов, что указывает на более низкое индуктивное сопротивление при прочих равных условиях. Отношение диаметра фюзеляжа к размаху крыла у Ан-28 менее 9%, у L-410 оно составляет около 12%, для ДНС-6 – около 9%, это означает, что при прочих равных условиях у Ан-28 интерференция крыла и фюзеляжа лучше и максимальное аэродинамическое качество выше.. Аэродинамическая компоновка Ан-28 самая сбалансированная и совершенная с точки зрения особенностей применения самолёта. При разработке новых образцов коммерческих самолётов малой авиации для следует учитывать данный опыт.

Ещё одно важное обстоятельство – это компоновка салона. До 10...12 пассажиров (включая членов экипажа) уместно использовать компоновку салона 1+1 (2 кресла в ряду), при этом абсолютная ширина фюзеляжа составит около 1,5...1,7 м. При увеличении численности до 19 пассажиров (не считая членов экипажа) разумно применять компоновку салона 2+1 (3 кресла в ряду), ширина фюзеляжа составит около 2,0...2,2 м. При рациональном удлинении фюзеляжа от 5 до 10 единиц, при компоновке салона 2+1, вместимость таких самолётов может составлять от 12 до 40 пассажиров при шаге кресел 0,96 м (38") и от 15 до 50 пассажиров – при 0,75 м (30"). Что технически позволяет расширить понятие малой коммерческой авиации на региональные самолёты вместимостью до 50 пассажиров, поскольку эти самолёты могут быть получены путём удлинения фюзеляжей самолётов вместимостью 18-19 пассажиров. Следующий класс с компоновкой салона 2+2 будет иметь диаметр фюзеляжа около 3,0...3,5 м и в среднем вмещает в себя около 70-80 пассажиров и однозначно будет являться региональным самолётом.

Общим в компоновках самолётов малой авиации является эксплуатация на грунтовых взлётно-посадочных полосах, обычно не превышающих 1300 м в длину, что накладывает ограничение на удельную нагрузку на крыло, до 150...200 кг/м², а это в свою очередь ограничивает крейсерскую скорость самолётов до 300...350 км/ч. При этом фактически самолётам достаточно около 300...500 м ровной поверхности для совершения разбега и пробега. У региональных самолётов эти параметры несколько выше и турбовинтовые самолёты имея фактические длины пробега и разбега около 600...800 м, при удельной нагрузке на крыло 300...400 кг/м², развивают крейсерские скорости до 400...500 км/ч при максимальных около 550...600 км/ч. Что касается реактивных самолётов, то они начинают быть эффективными со скоростей 700...800 км/ч, удельная нагрузка на крыло для этого должна быть более 400 кг/м², но длина взлётно-посадочной полосы для них необходима около 1800...2500 м, в зависимости от удельной нагрузки на крыло и эффективности механизации крыла. Это подчёркивает особенность малой авиации. Привязанность к грунтовым аэродромам ограничивает их лётно-технические характеристики. И, например, желание сделать реактивный самолёт для МВЛ, типа Як-40 и Ан-70, влечёт за собой необходимость применения на самолёте развитой механизации и методик краткосрочного создания дополнительной подъёмной силы на взлёте и посадке с целью уменьшения потребных длин разбега и пробега.

Для самолётов малой авиации является также характерным установка различных типов шасси: колёсное, лыжное, колёсно-лыжное, поплавковое и др. Это влияет на расположение опор в компоновке и на расстояния между ними.

Поскольку самолёты малой авиации, это самолёты с удельной нагрузкой на крыло до 200 кг/м^2 , среди них можно встретить бипланные компоновки, как Ан-2МС или ТВС-2ДТС. Их удельная нагрузка на крыло не превышает 100 кг/м^2 , а потому при эксплуатации им требуется не более 150...200 м ровной поверхности даже при взлёте и посадке с максимальной загрузкой. Однако, это сказывается на крейсерской скорости, она составляет около 200...250 км/ч при максимальной около 250...300 км/ч.

Теперь, когда определены условия, в которых должны эксплуатироваться коммерческие самолёты малой авиации, становятся понятно какими особенностями будут обладать их компоновки. Вместо заключения можно привести пример самолёта вобравшего в себя все принципы на основе которых должен формироваться коммерческий самолёт малой авиации: Short SC.7 Skyvan (1963 г.) – тот случай, когда технологичность побеждает аэродинамику, однако сам самолёт отлично справляется с возложенными на него задачами.

Литература:

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 марта 2018 г. № 349 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013 - 2025 годы» // Правительство России URL: <http://static.government.ru/media/files/ZZzztEdKKhfDZQgTBAU5AcchMrYI7mjF.pdf> (дата обращения: 05.10.2018).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ МЕТАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПРИ НАЛИЧИИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАТОРОВ

В.Ю. Амельчукова^{1,2}, В.П. Замураев^{2,3}, Д.С. Попова^{1,2}

¹Новосибирский Государственный Технический Университет,

²Институт Теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН,

³Новосибирский Государственный Университет,
г. Новосибирск, amel-nika@yandex.ru

Численно рассмотрены нестационарные процессы истечения метано-воздушной смеси из аксиально-симметричного горелочного устройства при атмосферном давлении с горением и без него. Показано, что вихревые структуры, формирующиеся в результате воздействия системы двух стабилизаторов (цилиндрического и кольцевого), являются начальными очагами горения и способствуют формированию устойчивого пламени. Численное моделирование выполнялось на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса и k - ϵ модели турбулентности.

Nonstationary processes of methane-air mixture outflow from an axially symmetric burning device at atmospheric pressure with and without burning are numerically studied. The vortex structures formed as a result of the action of the system of two stabilizers (cylindrical and ring shape) are formed. They are the initial sources of combustion. These stabilizers aid to the formation of a stable flame. Numerical simulation was performed on the basis of the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations and the k - ϵ turbulence model.

Задача расширения пределов стабилизации пламени метано-воздушной смеси при атмосферном давлении имеет большое практическое значение (применение в различных ТЭЦ). Особенно важно добиться расширения пределов стабилизации по скорости. Можно выделить два направления решения этой задачи: управление формой горелки и управление внешними активными энергетическими воздействиями, например электрическим полем или акустическими колебаниями [1]. Данная работа принадлежит к направлению «управление формой», а именно управление с помощью системы твердотельных стабилизаторов. Стабилизаторы способствуют формированию вихревых структур, созданию реверсивных потоков, что благоприятно для процессов горения и воспламенения. Численно изучен начальный этап нестационарного процесса воспламенения смеси в системе с двумя стабилизаторами (цилиндрическим и кольцевым) при наличии боковых ограничивающих

стенки. Показано, что начальными очагами устойчивого горения являются вихревые структуры на стабилизаторах.

Рассматривается метано-воздушное горелочное устройство аксиальной симметрии. В центре находится стальной твердотельный цилиндрический стабилизатор диаметром 3 мм, далее из кольцевой щели (радиусом 3 мм и 10 мм соответственно) подается метано-воздушная смесь при атмосферном давлении, и ограничивает эту щель второй кольцевой стабилизатор шириной 6 мм. Оба стабилизатора имеют высоту 20 мм над входной кольцевой щелью подачи пламени. Численное моделирование выполнялось на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса и $k-\epsilon$ модели турбулентности. Горение моделируется одной химической реакцией. Исследуемая система показана на рис. 1 (ускорение свободного падения на рисунке направлено горизонтально).

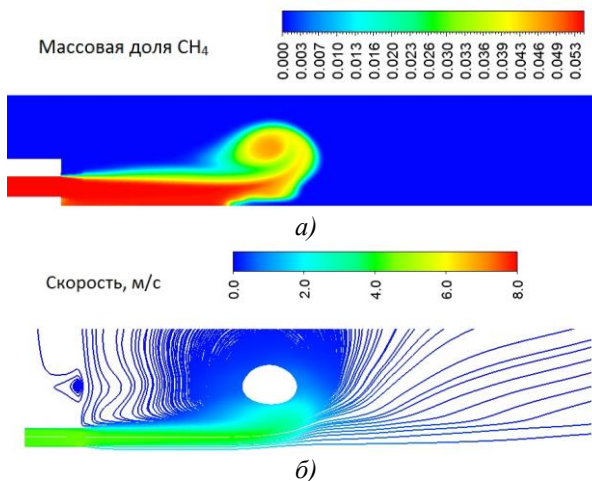


Рисунок 1. Распределение массовой доли метана перед поджигом смеси (а) и линии тока (б).

Рассмотрены скорости истечения смеси от 3 до 28 м/с. На рис. 1(а) показано распределение концентрации метана при скорости истечения 3 м/с, на рис. 1(б) для этого случая приведены линии тока, демонстрирующие вихревой характер течения. Видно, что на некотором возвышении над стабилизатором формируется тороидальный вихрь, причем его внешний радиус превышает внешний радиус кольцевого стабилизатора. На рис. 2 показано начало процесса горения.

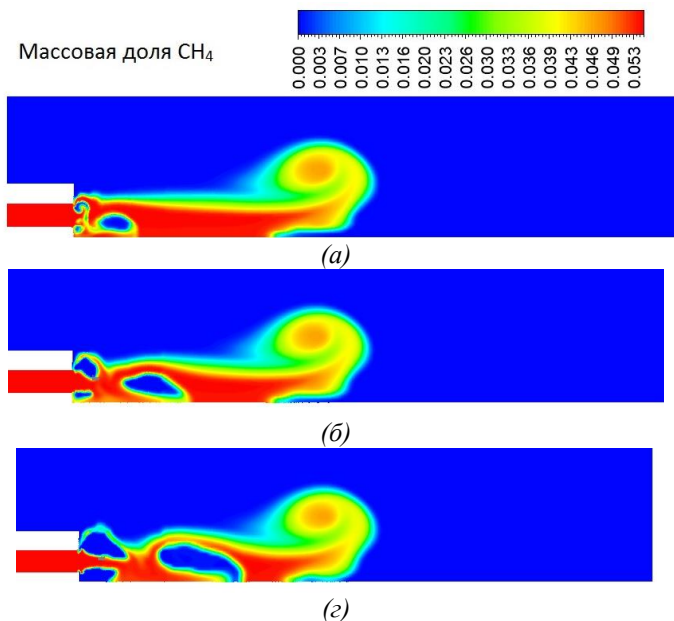


Рисунок 2. Массовая доля метана в три последовательных момента времени в начале воспламенения.

На рис. 2(a, б, в) показана массовая доля метана в три последовательных момента времени в начале процесса воспламенения. Вблизи обоих стабилизаторов формируется вихревой очаг горения, а один очаг отрывается и улетает вниз по потоку. Затем очаги горения соединяются и формируют пламя.

Таким образом, численно показано, что с помощью двух стабилизаторов (цилиндрического и кольцевого) можно добиться устойчивого горения при более высоких скоростях поступающей смеси, в частности от 3 до 4 м/с. Физическим механизмом процесса интенсификации горения является формирование вихревых структур посредством системы стабилизаторов. При этом формируются как маломасштабные (порядка сечения стабилизатора), так и крупномасштабные вихревые структуры (вихревое кольцо при выдувке смеси). Это способствует подкачке энергии в малые вихри из больших, общему торможению потока и повыше-

нию времени пребывания химических реагентов в зоне реакции. При более высоких скоростях истечения, вплоть до 15 м/с, устойчивого горения не наблюдается. Иногда формируется малоинтенсивный очаг диффузионного горения в окрестности цилиндрического стабилизатора. Следует заметить, что более эффективное управление возможно при применении комплексного воздействия: управление формой горелочно-го устройства в присутствии внешних активных энергетических воздействий.

Литература:

1. П. К. Третьяков, А. В. Тупикин, О. В. Ганеев, Н. В. Денисова, В. В. Замащиков, Ю. С. Козорезов Ламинарное пропано-воздушное пламя в слабом электрическом поле // ФГВ. 2012. Т.48, №2. С.9-14.
2. В. В. Азатын, Т.Р. Тимербулатов, С..В. Шатиоров Эффективные химические методы управления горением, взрывом и детонацией газов // Научно-технический журнал Вестник. 2012. № 2. С. 27-37.

КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО КРАНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛОЭТАЖНЫХ ДОМОВ

Н.В. Глотов

Сибирский государственный университет путей сообщения

В настоящее время широко развернулось строительство индивидуальных домов небольшой этажности. Не секрет, что строительство даже таких домов коттеджного типа требует не малых физических затрат. Облегчить труд строителей предназначена грузоподъемная техника – в частности, создаваемые в настоящее время мини-краны.

Примером такой машины является мини-кран КСРМ-500, предназначенный для подъема и перемещения груза весом до 500 кг. По конструкции этот **кран** является башенным стреловым с неповоротной *башней* и верхним расположением опорно-поворотного устройства. Размеры основания позволяют размещать КСРМ-500, внутри возводимого здания. В этом случае демонтаж осуществляется через оконные и дверные проемы. Конструкция грузоподъемного крана позволяет быст-

ро осуществлять монтаж и демонтаж и транспортировку на другой объект, но **цена крана в 700 000р** не всегда удовлетворяет заказчиков.

Так одна из фирм, занимающаяся строительством коттеджей из оцилиндрованных бревен в г. Новосибирске, решила создать подобный кран самостоятельно. Для чего обратилась на кафедру «Подъемно-транспортных, путевых, строительных и дорожных машин» СГУПС с просьбой разработать металлическую конструкцию крана.

Башня разработанного крана выполнена из шести секций длиной по 1,5 м и шириной 0,7 м, что обеспечивает ее монтаж без применения грузоподъемных приспособлений. Балочная стрела имеет треугольное сечение и состоит из четырех секций. Ее длина принята 11,5 м. Ширина стрелы U , соответствует ширине башни. Высота сечения стрелы принята 0,6 м. С целью обеспечения жесткости стрелы и консоли, а также снижения их массы, на стреле установлен оголовок, состоящий из трех вертикальных и трех наклонных элементов, устанавливаемый на поворотный круг. Основанием крана служит крестообразная опорная рама с длиной балок 2 м. На раму устанавливаются прихваты для обеспечения его устойчивости, а также винтовые опоры для выставления его вертикального положения.

Создание расчетной модели произведено в модуле Structure 3D системы АРМ. При моделировании загружений учитывались весовые, ветровые и инерционные нагрузки. Расчеты производились для различных положений груза при разном весе противовеса.

В процессе проектирования проводился подбор и оптимизация принимаемых профилей всех конструктивных частей крана. При этом основным критерием для их оптимизации оказалась изгибная жесткость. Действующие напряжения в наиболее нагруженных элементах конструкции не превышают минимального допускаемого уровня (175 МПа для стали ВСтЗпс), а деформация стрелы ($f = 62$ мм) и противовесной консоли ($f = 10$ мм) не превышают допустимого относительного прогиба ($[f/L]=1/180$). Устойчивость башни крана также обеспечена (коэффициент запаса по устойчивости 18).

Проверка устойчивости крана от опрокидывания проводилась при крайнем положении грузовой каретки и при оптимальном противовесе. При проверке учитывались уклон поверхности $1,5^0$ и воздействие ветра в сторону уклона.

В результате проведенного проектирования, разработана несущая конструкция мини-крана, обладающая достаточной несущей способно-

стью и жесткостью при оптимальных размерах ее элементов. При этом также обеспечивается устойчивость крана от опрокидывания.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А.Н. Кожевников, Д.А. Красноруцкий, В.Е. Левин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Kozhevnikov.2010@corp.nstu.ru

Опоры воздушных линий электропередачи используются для закрепления проводов электросети при передаче энергии на большие расстояния. В данной статье рассматривается методика определения частот собственных колебаний железобетонных стоек опор контактной сети. Для этого вводится ряд допущений, и подробно описываются шаги построения конечно-элементной модели консольной балки, подверженной изгибу.

The Air Power Transmission lines pylons are widely used to transfer electrical energy at large distances for electricity wires supporting. In this paper, the approach to determine any railway electricity system concrete pylon natural frequencies values is considered. Several assumptions and detailed algorithm of the finite-element model of cantilevered beam creation are presented.

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) широко используются для передачи электрической энергии на большие расстояния. Опоры ВЛ делятся на типы, в том числе и по материалу: металлические, деревянные, железобетонные и т.д. Остановимся более подробно на железобетонных опорах, предназначенных для передачи электрического тока контактной сети железной дороги. Указанные стойки опор представляют собой полные конические бесстыковочные трубы (коничность 1.5%) из предварительно напряженного железобетона с армированием высокопрочной проволокой (в продольном направлении) и в виде спирали (поперечное направление). Для оценки спектра частот собственных колебаний не представляется возможным использовать «готовую» аналитическую формулу из существующего справочника [1], в связи с этим необходимо сформулировать методику подобного расчета.

При разработке методики расчета примем во внимание следующие допущения:

1. Железобетонная опора рассматривается как консольно-защемленная балка.

2. Рассматриваемый материал опоры моделируется как линейно-упругий: выполняется закон Гука.

3. Метод конечного элемента будет запрограммирован в среде Mathcad 15 [2]. В каждом конечном элементе будет всего 6 узловых степеней свободы: продольное и вертикальное перемещения и угол поворота.

4. Армирующие металлические стержни равномерно распределены по площади сечения, по среднему радиусу сечения. Поперечное армирование в виде спирали на первом этапе исключено из рассмотрения.

5. Совместность деформирования металлической арматуры и бетона не обеспечивается.

Параметры материалов приняты согласно имеющейся документации: для бетона согласно СНиП [4], для арматуры на рабочих чертежах указаны стандарты ГОСТ.

Стойка железобетонной опоры является конструкцией с распределенными массово-жесткостными параметрами, и для получения спектра частот собственных колебаний необходимо построить конечно-элементную модель стойки. Для этого реализуем предложенный в [5] алгоритм построения матриц масс и жесткости изгибаемой консольно-защемленной балки.

Однако необходимо учесть, что в каждом сечении есть две составляющие: бетонная и армирующая, что может быть достаточно просто реализовано на основе суммирования соответствующих площадей, осевых моментов инерции и т.д.

Полученные матрицы жесткости и масс для отдельных конечных элементов необходимо последовательно ассемблировать. В общую матрицу жесткости конструкции вносятся фиктивные жесткости, что позволяет имитировать консольное защемление модели.

Решение обобщенной проблемы собственных значений для итоговых матриц модели позволяет получить спектр значений частот собственных колебаний железобетонной стойки опоры контактной сети.

Следует обратить внимание на тот факт, что точность получаемого результат существенно зависит от параметров и качества построенной конечно-элементной сетки [6].

Представленный выше подход успешно реализован на опорах серии ЖБК, СС 136.6-3.1 и СС 108.7-4.1. В дальнейшем планируется внести в модель стойки поперечное армирование стальной спиралью и оценить

влияние несовместного деформирования разнородных элементов сечения.

Литература:

1. Биргер И. А., Пановко Я. Г. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трёх томах. Том 3. Москва: «Машиностроение» – 1949. – 547 с.
2. Кирьянов Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 432 с.: ил. ISBN 978-5-9775-0746-2.
3. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.501.1-160. Опоры консольные железобетонные контактной сети электрифицированных железных дорог. Стойки из обычного бетона. Рабочие чертежи. Выпуск 1. 1991 г. 47 с.
4. СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции».
5. Moaveni S. Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS (3rd edition). Prentice Hall, 2008. 868 p.
6. Белобородов А. В. Оценка качества построения конечно-элементной модели в ANSYS. г. Тюмень, ОАО ИПФ "Сибнефтеавтоматика", кафедра МОНИГП ТюмГНГУ.

ВЫБОР АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ТЕПЛОВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ

О.А. Куликова¹, А.М. Красюк², И.В. Лугин²

¹ **Новосибирский государственный технический университет,**

² **Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН**

**г. Новосибирск, olatennis@211.ru, am.krasukn@gmail.com,
ivlugin@misd.ru**

В статье рассмотрен способ использования турбореактивных двигателей для обогрева протяженных железнодорожных тоннелей в суровых климатических условиях в холодный период года. Рассмотрены различные режимы работы двигателя. Проведён обзор использования сжиженного природного газа в качестве топлива для тепловентиляционной установки. Рассмотрена методика выбора двигателя.

The article describes a method of using turbojet engines for heating long railway tunnels in harsh climatic conditions in the cold period of the year. Various modes of operation of the engine are considered. A review of the use of liquefied natural gas as a fuel for a heat-ventilation unit is carried out. The method of selection of the engine.

В железнодорожных тоннелях, эксплуатируемых в Сибири и на Дальнем Востоке, в холодный период года образуются наледы на внутренней обделке [1]. Это происходит при экстремально низких температурах атмосферного воздуха вследствие повышенной влажности в тоннеле. Например, в Северо-Муйском тоннеле припортовые воздушнотепловые завесы (ВТЗ) имеют мощность около 3-х МВт. Этой мощности недостаточно при температуре атмосферного воздуха ниже -38°C , т.к. поезд, за время движения по тоннелю, поглощает из него тепло с мощностью 10 МВт [1]. Имеющихся мощностей не хватает, чтобы обеспечить требуемые условия для безопасной эксплуатации тоннеля. Повышение электрической мощности ВТЗ является проблематичным из-за удалённости тоннеля от высоковольтных ЛЭП и тяговых подстанций. Поэтому для обогрева протяженных тоннелей необходим источник тепловой энергии, позволяющий в короткий промежуток времени прохождения поезда по тоннелю восполнить ее дефицит, в том числе и в средней его части, где образуется наибольшее количество наледей на обделке тоннеля. В качестве такого источника предлагается турбореактивный авиационный двигатель (ТРД) [2].

Основными режимами работы ТРД, используемых в самолётах, задаваемыми рычагом управления двигателем, являются:

- максимальный (взлётный);
- номинальный;
- крейсерский;
- режим малого газа.

Проанализировав режимы работы авиационных двигателей, можно прийти к выводу, что с точки зрения длительности эксплуатации следует рассматривать только крейсерский и номинальный режим, потому что только на этих режимах двигатель может работать непрерывно достаточно продолжительный период времени. При этом его износ незначителен по сравнению с эксплуатацией на остальных режимах.

В зависимости от типа отведения отработанных газов различают ТРДД без смешения потоков и с ним. В первом случае каждый контур имеет свое сопло, во втором газы на выходе попадают в общую камеру смешения и только потом выходят наружу, образуя реактивную тягу. Двухконтурные турбореактивные двигатели имеют большое преимуще-

ство в сравнении с ТРД в виде значительного сокращения расхода топлива без потерь мощности. В прямоточных же двигателях всё топливо вместе с вредностями, выделяющимися при его горении, будет поступать в тоннель, что может пагубно скажется на экологическом аспекте. А в двухконтурных двигателях, как было сказано выше, есть вариант выброса отработавших газов в атмосферу.

В предыдущих исследованиях обосновано предложение использовать в качестве топлива сжиженный природный газ (метан) либо сжиженный углеводородный газ (СУГ) [3]. Важным достоинство метана заключается в том, что, являясь основным компонентом природного газа, он обладает большой сырьевой базой. По экологическим критериям природный газ – наиболее подходящее топливо. В продуктах сгорания отсутствуют зола, копоть и такие канцерогены, такие как бензопирен. Главное достоинство метана, при использовании его в качестве топлива в тепловентиляционной установке, состоит в том, что продуктом сгорания является безвредный диоксид углерода и водяной пар. Единственным существенным загрязнителем атмосферы остаются окислы азота. Природный газ – наиболее экологически чистый вид энергетического топлива и по выделению оксидов азота в процессе горения. При достаточном количестве кислорода, подаваемого в камеру сгорания и соответствующей температуре горения, количество оксидов азота в процессе горения будет минимальным и не превысит допустимых норм. Все перечисленное можно отнести и к СУГ.

Температуры окружающего воздуха в суровых климатических условиях Севера колеблются зимой от -20 до -52 °С. Эти величины близки к нормальным условиям работы ТРД на большой высоте. В случае применения ТРД в качестве тепловентиляционной установки, от температуры наружного воздуха будет зависеть температура подогретого воздуха, которую следует подавать в тоннель для того, чтобы скомпенсировать недостаток тепла. Для поддержания требуемой положительной температуры воздуха в тоннеле следует либо регулировать температуру газов на выходе из ТРД, либо управлять время его работы (циклическое включение по заданному графику, учитывающее температуру наружного воздуха и график движения поездов), либо организовывать подмешивание наружного воздуха.

Каждый авиационный двигатель имеет свои параметры, характеристики и значения, каждое из которых важно при его эксплуатации. Чтобы выбрать двигатель, соответствующий требованиям, необходимо произвести термогазодинамический расчёт – определить параметры

рабочего тела в характерных сечениях проточной части двигателя, расход воздуха, удельную тягу и удельный расхода топлива, а также – определить геометрические размеры проточной части контуров двигателя. Необходимыми данными для термодинамического расчета ГТД всех типов являются расчетные условия (высота полета H и скорость полета V) и параметры рабочего процесса конкретного типа ГТД. Расчет состоит из множества этапов, каждый из которых представляет собой определение тех или иных характеристик данного двигателя. Для использования ТРД в качестве тепловентиляционной установки следует на основе существующих разработать методику расчета его режимов работы для точного определения термодинамических параметров и химического состава газов на выходе из двигателя.

В качестве примера выбора ТРД для работы в качестве тепловентиляционной установки рассмотрим двухконтурный турбореактивный двигатель Д-36. По результатам расчета тепловой мощности воздушной струи на выходе из ТРД, работающем на крейсерском режиме, на рис. 1 приведена зависимость тепловой мощности воздушной струи на выходе из ТРД от температуры атмосферного воздуха [2].

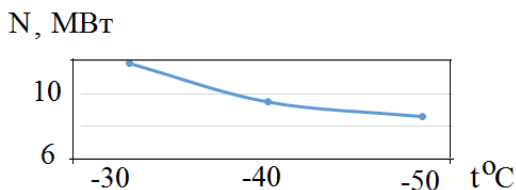


Рис. 1. Зависимость тепловой мощности воздушной струи на выходе из ТРД от температуры атмосферного воздуха

Анализ полученных результатов показывает, что использование ТРД позволит обеспечить вентиляционную систему Северомуйского тоннеля необходимым количеством теплого воздуха для компенсаций потерь тепла на нагрев холодного поезда, идущего по тоннелю. Это предотвратит обледенение внутренней обделки тоннеля и обеспечит поддержания безопасных условий прохождения составов.

Литература

1. Лугин И.В., Витченко А.А. Поддержание требуемого температурного режима в Северо-Муйском тоннеле в холодный период года средствами тоннельной вентиляции // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. - 2014, - № 1, Т.1. – С.210-214.
2. Красюк А.М., Куликова О.А. К использованию турбореактивного двигателя для обеспечения теплового режима тоннелей БАМа// Наука Промышленность Оборона: Труды XVII Всероссийской научно – технической конференции: в 4 т./ коллектив авторов; под редакцией С.Д. Саленко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – С.298 – 301.
3. Лугин И.В., Куликова О.А. Влияние вида топлива на эффективность использования турбореактивного двигателя в качестве тепловентиляционной установки в тоннеле// Наука Промышленность Оборона: Труды XVII Всероссийской научно – технической конференции: в 4 т./ коллектив авторов; под редакцией С.Д. Саленко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016.

БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЖИМАЕМОГО СТРУЙНОГО ТЕЧЕНИЯ

И.В. Меньщикова, И.Н. Кавун
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, imenshnikova@yandex.ru

Представлены методика и результаты исследования сжимаемого струйного течения бесконтактным методом. Метод основан на численном решении уравнения сохранения количества движения, в которых значение скорости в исследуемой области взяты из результатов эксперимента. Рассмотрено трансзвуковое сжимаемое течение, сформированное сужающимся соплом с коническим телом, расположенным за срезом сопла.

The method and results for investigating of compressible jet flow by a contactless method are presented. The method is based on the numerical solution of the conservation equation with the value of velocity in the studied area is taken from the experimental results. A transonic compressible flow formed by a converging nozzle with a conical body located behind the nozzle section is considered.

Введение.

Актуальность изучения струйных сжимаемых течений обусловлена их широким распространением в авиационной и ракетно-космической

технике. Сверхзвуковые нерасчётные струйные течения характеризуются сложной ударно-волновой структурой, сопровождающейся высокоградиентным распределением газодинамических и термодинамических параметров потока. Изучение таких течений представляет собой сложную задачу. В настоящее время такая задача может решаться как экспериментальными, так и численными методами.

Различные методы имеют свои достоинства и недостатки. Экспериментальные методы можно разделить на контактные (трубка Пито, зонд статического давления, термоанемометр и т.д.) и бесконтактные (теневые методы, интерференционные, методы PIV, LDA и др.). Внесение зондов в исследуемую струю может привести к перестройке течения и получению ошибочных результатов. Кроме того, при изучении горячих струй (с температурой торможения порядка нескольких тысяч градусов) зондовые методы могут быть вообще неприменимы.

В этом отношении бесконтактные методы имеют значительное преимущество. Однако, эти методы дают или качественные данные о течении (теневые картины), или их результаты носят ограниченную ценность (данные PIV-метода дают распределение скорости потока, хотя наибольшую практическую ценность имеют данные о распределении давления и температуры). Численные методы позволяют получить полные данные о течении, но требуют экспериментальной проверки их достоверности. В связи с этим представляется целесообразным разработка и совершенствование новых экспериментальных методов.

Одним из таких методов, предложенных недавно [1, 2], является расчётно-экспериментальный метод определения поля давления по полю скорости, полученному методом PIV. Согласно данному методу, принятые в качестве исходных данных результаты PIV-измерений подставляются в систему уравнений сохранения количества движения (уравнения Эйлера, Навье-Стокса или Рейнольдса). Решая численно эту систему уравнений для исследуемого течения, можно определить поле давления, а далее и распределение остальных газодинамических параметров (плотность, температура, число Маха и др.).

Достоинствами метода являются: даёт распределение параметров во всём поле течения, имеет высокое пространственное разрешение, позволяет получить полный набор газодинамических параметров (давление, плотность, температура, число Маха), возможность исследования течений, где проведение зондовых измерений затруднено или невозможно и др.

Существенным недостатком является необходимость численного дифференцирования полученных в эксперименте данных, что может привести к большой погрешности окончательных результатов.

В настоящем докладе представлены результаты применения данного метода к исследованию струйного сжимаемого трансзвукового течения.

Методика исследования.

В качестве исходных данных взято экспериментальное двумерное распределение скорости в плоскости, проходящей через ось симметрии струи.

Вводится предположение о том, что температура торможения потока одинакова во всем поле течения, как внутри струи, так и в окружающем её воздухе ($T_0 = \text{const}$). Такое допущение справедливо для холодных струйных течений, истекающих в затопленное пространство. Например, при числе Маха менее 3 отклонение температуры торможения от средней величины (например, в слое смешения струи) не превышает нескольких процентов.

Из уравнения сохранения энергии (уравнения Бернулли для сжимаемого изэнтропического течения невязкого газа) можно вычислить поле статической температуры T . Из уравнения состояния идеального газа Менделеева – Клапейрона можно выразить плотность газа ρ через температуру T . Тогда система уравнений сохранения количества движения невязкого газа (уравнений Эйлера) может быть заменена одним уравнением, связывающим между собой давление p , температуру T и компоненты вектора скорости u_x и u_y . Интегрируя это уравнение, получим формулу для определения поля давления:

$$\ln\left(\frac{p}{p_e}\right) = -\frac{1}{R} \int_{y_0}^y \frac{\left(u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} \right)}{\left(T_0 - \frac{1}{c_p} \frac{V^2}{2} \right)} dy,$$

где p_e – давление в окружающем струю пространстве, c_p – теплоёмкость газа при постоянном давлении, V – модуль скорости, u_x и u_y – компоненты вектора скорости (получены из эксперимента), x – осевая координата, y – радиальная координата.

Результаты исследования.

В качестве примера представлены результаты исследования течения, сформированного сужающимся соплом с коническим телом, расположенным за срезом сопла (рис. 1). Число Маха на срезе сопла $M_a = 0.85$.

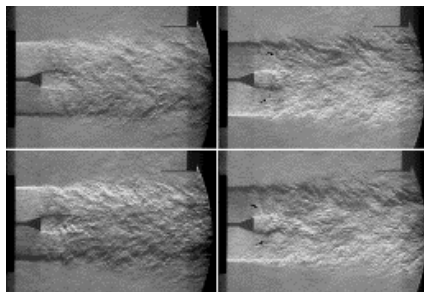


Рисунок 1 – Мгновенные шлирен-фотографии исследуемого течения, сделанные в произвольные моменты времени

На рис. 2 представлены результаты сравнения данного метода (обозначен как “PIV”) с результатами измерения трубкой Пито (“Pitot”) и результатами численного расчета. В первом случае решались уравнения Рейнольдса (“RANS”), во втором – задача решалась методом моделирования крупномасштабных вихрей (“LES”). Показано осевое распределение основных газодинамических параметров потока в следе за конусом (статическое давление p , давление торможения p_0 , статическая температура T , число Маха M). Здесь R_c – радиус конуса.

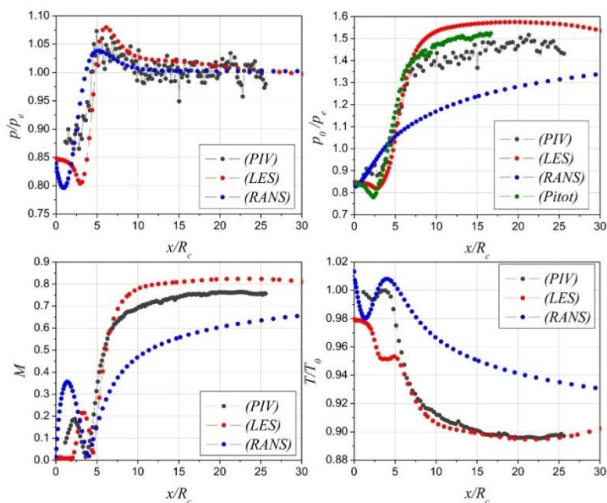


Рисунок 2 – осевое распределение газодинамических параметров в следе за конусом

Можно отметить удовлетворительное соответствие результатов, полученных с помощью описанного метода с результатами измерения трубой Пито и расчетом LES.

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. *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

ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ ХОЛОДНОМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ НАПЫЛЕНИИ

Н.В. Миронов, В.С. Шикалов, Г.В. Трубачеев, С.В. Клинков
Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН
г. Новосибирск

Многие исследователи заметили, что при нанесении покрытий методом холодного газодинамического напыления неровности поверхности не могут быть заполнены и будут становиться все больше и больше после нанесения новых слоёв, что значительно уменьшит качество напыления. В данной работе приведены экспериментальные данные, которые демонстрируют влияние глубины неровности и толщины покрытия на образование каверн.

Many researchers have noticed that when applying coatings by cold gas-dynamic spraying, surface irregularities cannot be filled and will become more and more after applying new layers, which will significantly reduce the quality of spraying. This paper presents experimental data that demonstrate the effect of the depth of the roughness and thickness of the coating on the formation of cavities.

Одной из актуальных проблем в области изучения холодного газодинамического напыления (ХГН, cold spray, kinetic spraying и др.) [1] является получение покрытий с минимальными неровностями (толщина покрытия, волнистость, шероховатость и т.п.). Однако в некоторых случаях при нанесении толстых (> 200 мкм) покрытий на их поверхности возникают кратерообразные каверны, которые увеличиваются в размерах с ростом толщины покрытия и в итоге приводят к невозможности дальнейшего напыления [2]. Изучение процесса зарождения и развития каверн является важной задачей во многих практических случаях, когда необходимо формировать компактный материал или объемное изделие (в аддитивных технологиях), а также при восстановлении поврежденных деталей и нанесении покрытий на поверхности, содержащие дефекты литья или механической обработки, которые могут являться причиной образования каверн. Другой актуальной задачей является, напротив, формирование покрытий с развитой поверхностью для интенсификации теплообмена, повышения эффективности катализаторов, биосовместимости протезов и т.п. Все эти задачи требуют изучения процесса роста покрытий в условиях изначальной неровности поверхности.

Целью настоящей работы являлось исследование процесса нанесения покрытий методом ХГН на поверхность, имеющую неровности в

виде конусообразных лунок различного размера. На полированных дюралюминиевых подложках диаметром 40 мм с помощью универсальной испытательной машины ProLine Z005 (Zwick/Roell, Германия) были сформированы конусообразные лунки, которые имитировали неровность поверхности. Глубина лунок варьировалась от 50 до 700 мкм, угол наклона их стенок был равен 60° . Напыление осуществлялось на установке ХГН (ИТПМ СО РАН) с помощью осесимметричного сопла Лаваля. Диаметры критического и выходного сечения сопла были равны 2,9 и 6 мм, соответственно, длина сверхзвуковой части составляла 130 мм. Рабочий воздух подавался в форкамеру с заданным давлением торможения 2 МПа и температурой торможения 570 К. Дистанция напыления составляла 30 мм, сопло двигалось относительно поверхности подложки со скоростью 300 мм/с. В качестве напыляемого порошка был выбран алюминий марки АСД-1 со средним размером частиц 30 мкм. Толщина напыляемого за одно сканирование покрытия составляла примерно 50 мкм. Диагностика поверхности подложки перед напылением и поверхности покрытия проводилась с помощью оптического интерференционного профилометра ContourGT-K1 (Bruker, США) и металлографического оптического микроскопа Axio Scope A1 (Carl Zeiss, Германия).

На рис. 1 представлен вид сверху алюминиевого покрытия нанесённого на поверхность, имеющую неровности в виде конусообразных лунок различного размера. На рис. 2 показаны профили покрытия, полученные после трёх слоёв напыления над лункой (слева) и профили лунок без напыления (справа) глубиной: *a* - 50 мкм, *б* - 100 мкм, *в* - 200 мкм, *г* - 350 мкм.

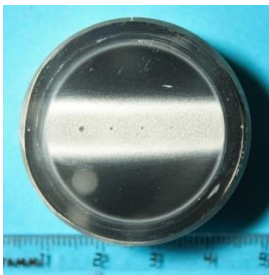


Рис.1. Фотография алюминиевого покрытия нанесённого на поверхность, имеющую неровности в виде конусообразных лунок различного размера.

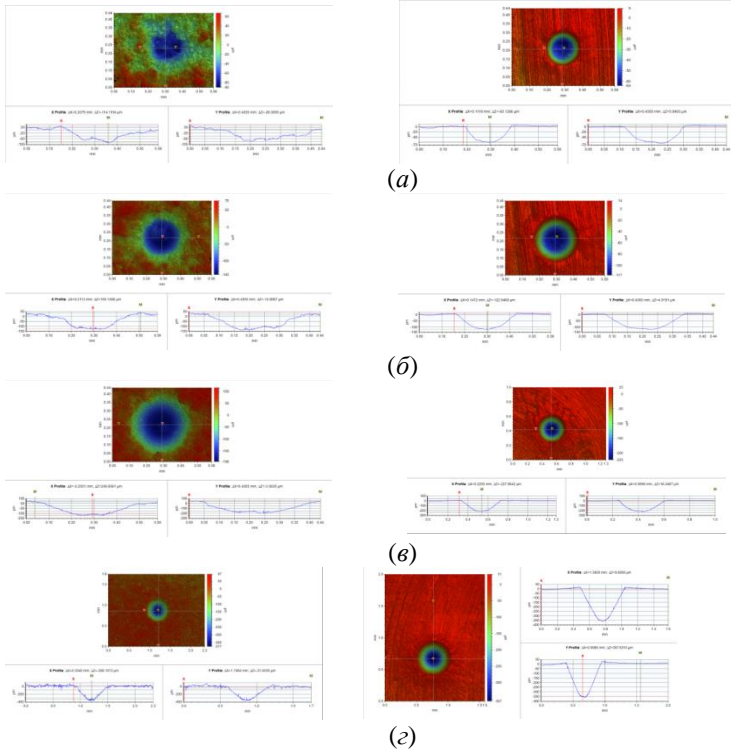


Рис.2. Профили полученные после трёх слоёв напыления над лункой (слева) и профили лунок без напыления (справа) глубиной: *a* - 50 мкм., *б* - 100 мкм., *в* - 200 мкм., *г* - 350 мкм.

Видно, что с ростом покрытия лунка не исчезает, а только увеличивается в размерах, при этом, лунка размером 50 мкм с ростом покрытия потеряла свою коническую форму, в то же время лунка глубиной 350 мкм форму сохранила.

Полученные в настоящей работе экспериментальные результаты демонстрируют влияние неровностей в виде конусообразных лунок разной глубины на профиль формируемого методом ХГН покрытия и могут быть использованы на практике.

Литература

1. Alkhimov A.P., Kosarev V.F., Papyrin A.N., A Method of. Cold Gas Dynamic Deposition, Dokl. Akad. Nauk. SSSR 315(5). 1990. P. 1062–1065.
2. G. Huang, H. Wang, X. Li, L. Xing, Study on the Growth of Holes in Cold Spraying via Numerical Simulation and Experimental Methods, 30 December 2016. Точный адрес статьи: : <https://www.researchgate.net/publication/311989963>

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ СВЕРХЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ ТЕЛА СО СКВОЗНЫМ ОТВЕРСТИЕМ

Д.С. Попова^{1,2}, А.П. Калинина^{2,3}, Д.В. Фёдорова^{1,2}

¹Новосибирский Государственный Технический Университет,

²Институт Теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН,

³Новосибирский Государственный Университет,
г. Новосибирск, popova.darya.97@mail.ru

Проведено численное исследование влияния сквозного отверстия на донное давление клиновидного тела при сверхзвуковом обтекании при числе Маха 3.5. Показано, что приблизительно донное давление повышается пропорционально площади, а в области вытекания струи через сквозное отверстие восстанавливается практически до величины давления в потоке.

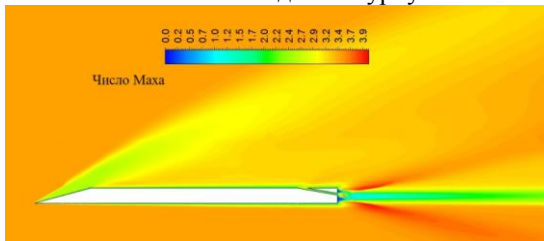
A numerical study of the effect of a through hole on the base pressure of a wedge-shaped body in a supersonic flow at a Mach 3.5 number has been carried out. It is shown that the increase in pressure approximately is directly proportional to the area of the through hole. The pressure near the jet is restored to the value in the inlet flow approximately.

При высоких скоростях обтекания существует проблема низкого донного давления. Один из способов ее решения состоит в повышении донного давления с помощью сжигания топлива в донной части [1]. Однако способы с активным управлением требуют дополнительных затрат энергии. Другим способом является создание сквозных отверстий в обтекаемом теле, благодаря чему поток воздуха перенаправляется из лобовой в донную часть [2]. В этой работе исследовалось сверхзвуковое обтекание потоком с числом Маха $M = 3.02$ пористого конуса и течение

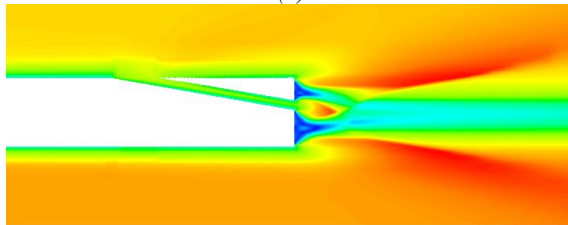
во внутренней полости при поперечном размере модели 10 мм. Аэродинамическое сопротивление модели снижалось на 5-7%. Однако величина повышения донного давления во многом зависит от процессов вязкой диссипации, которые зависят от размеров реальной модели и условий ее обтекания. Поэтому способы повышения донного давления сильно зависят от условий конкретной задачи. Модели, рассматриваемые ниже, имеют отношение к управлению малоразмерными летательными аппаратами. Данная конфигурация модели рассматривается впервые.

Объектом данного исследования является модель сечением 15 мм. При этом рассматривается боковой вдув вблизи донной части при числе Маха набегающего потока $M = 3.5$. Численное моделирование было выполнено как для случая со сквозным отверстием, так и без него. Поперечный размер выходного отверстия на задней кромке составлял 2 мм.

На рис. 1 показано распределение числа Маха для плоского тела с остроугольной передней частью, обтекаемой при давлении $p = 0.15$ атм потоком воздуха. Решались осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье – Стокса, замыкаемые SST $k-\omega$ моделью турбулентности.



(а)



(б)

Рисунок 1. Распределения числа Маха при наличии сквозного отверстия для двух масштабов изображения (а, б).

Из рис. 1 видно, что вытекающая струя разрывает зону низкого донного давления. Практически во всем поперечном размере вытекающей струи восстанавливается давление обтекаемого потока, в остальных точках задней кромки донное давление изменяется слабо. Данную зависимость иллюстрируют результаты на нижней части рис. 2, где изображено распределение давления по задней кромке в случае с отверстием и без него. Вверху изображено двумерное распределение давления в окрестности задней кромки. Отсюда следует, что повышение донного давления при наличии одной струи будет прямо пропорционально отношению площади этой струи к поперечному сечению обтекаемой модели.

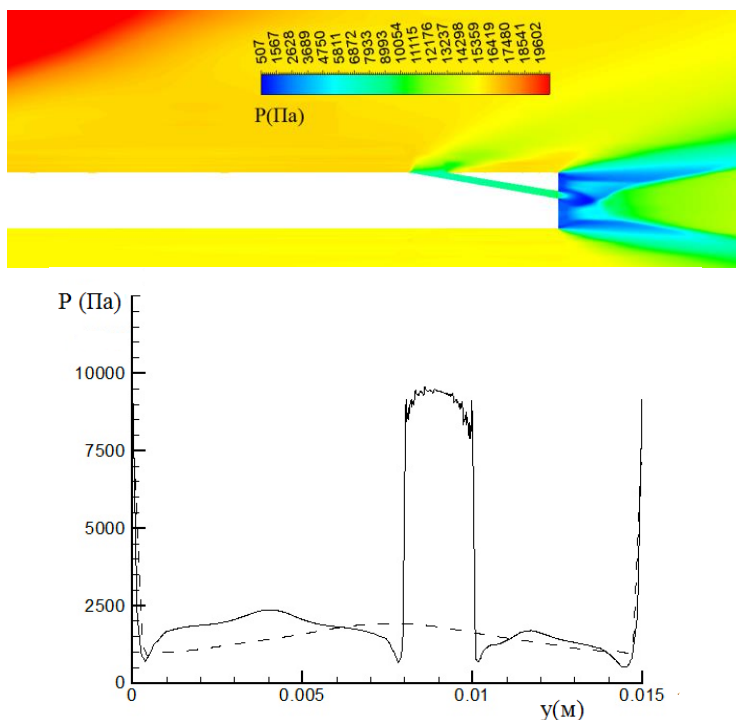


Рисунок 2. Распределения статического давления: вверху двумерное распределение давления вблизи задней кромки; внизу по задней кромке, сплошная линия – при наличии сквозного отверстия, пунктирная линия – без него.

Следует отметить, что одиночное сквозное отверстие не имеет практического применения, поскольку будет формировать хаотичную картину полета обтекаемого тела. Устойчивая траектория обтекаемого тела получается при взаимодействии симметрично расположенных нескольких струй. Однако данное исследование позволяет выявить некоторый общий характер влияния сквозных отверстий на донное давление.

Таким образом, для нескольких отверстий при отсутствии взаимодействия струй повышение донного давления будет прямо пропорционально полной площади отверстий. При взаимодействии струй картина течения будет иметь более сложный характер. Можно предположить, что устойчивой картины течения можно достичь при использовании нескольких симметрично расположенных отверстий.

Литература:

1. Патент РФ №2191342 по классу F 42 В 15/00 с приоритетом от 03.12.2001 г., опублик. 20.10.2002 г. в БИ 02-29.

2. В. М. Фомин, В. И. Запрягаев, А. В. Локотко, В. Ф. Волков Влияние газопроницаемых участков поверхности на аэродинамические характеристики тела вращения при сверхзвуковых скоростях // Доклады академии наук. 2009. Т. 427, № 5. С. 628-632.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ И НДС ОБРАЗЦОВ ПОПЕРЕЧНОГО СТЫКА ПАНЕЛЕЙ КРЫЛА СТР-40ДТ

Прилуков Д.С., Красноруцкий Д.А.

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nfs4042@gmail.com**

Панели крыла подвергаются аэродинамической подъемной силе, вследствие чего на крылья действуют изгибающие моменты. Необходимость исследования напряженно-деформированного состояния и устойчивости обусловлена возникающими аварийными ситуациями. Для расчетов используется конечно-элементный комплекс ANSYS. Полученные расчетные результаты удовлетворительно совпадают с результатами полученных с испытаний образцов. Проведен анализ полученных результатов и составлено заключение о прочности образцов.

The panels of the wing are subjected to aerodynamic lifting force, whereby the wings are bending forces. The need to study the stress-strain state and stability due to

emerging emergencies. For analysis it is proposed to use the ANSYS finite element software. The calculation results obtained coincide satisfactorily with the results of the samples obtained from the experiment. The analysis of the results and the conclusion about the strength of the samples is presented.

СТР-40ДТ – демонстратор технологий лёгких цельнокомпозитных турбореактивных пассажирских самолётов с большими скоростями полёта (600...700 км/ч). Рабочее название нового самолёта СТР-40ДТ расшифровывается как «самолёт-турбореактивный-сороковой-демонстратор-технологий». К середине 2017 года проект самолёта находился на стадии разработки композитного кессона крыла. В это время и возник вопрос о несущей способности образцов поперечного стыка панелей крыла. Расчет статической прочности воздушных судов [1] производится с учетом внешних нагрузок, действующих на самолет и его отдельные агрегаты, в различных расчетных случаях. Был выбран расчетный случай А – криволинейный полет самолета на угле атаки, соответствующем максимальному коэффициенту подъемной силы крыла $C_{y_{max}}$. Случай может иметь место при выходе из планирования или выполнения горки. Этот случай может определять прочность крыла, фюзеляжа, оперения, узлов крепления двигателей и тяжелых грузов.

Основные задачи:

- Теоретический расчет несущей способности стыка верхних композитных панелей.
- Экспериментальное определение несущей способности типового участка стыка верхних панелей.
- Экспериментальное исследование механизма разрушения образца стыка.

Исследование прочности образцов стыка при сжатии

Экспериментальное исследование несущей способности стыка при нагружении сжатием выполнено на образцах, общий вид которых показан на рисунке 1. Геометрия стыка представлена на рисунке 2.

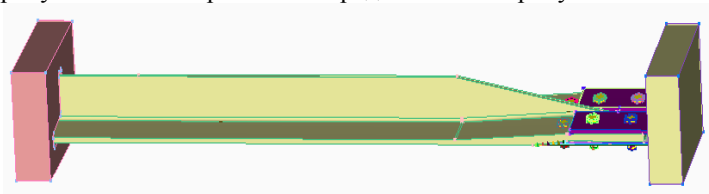


Рисунок 1 — Общий вид образца с нагрузочными плитами

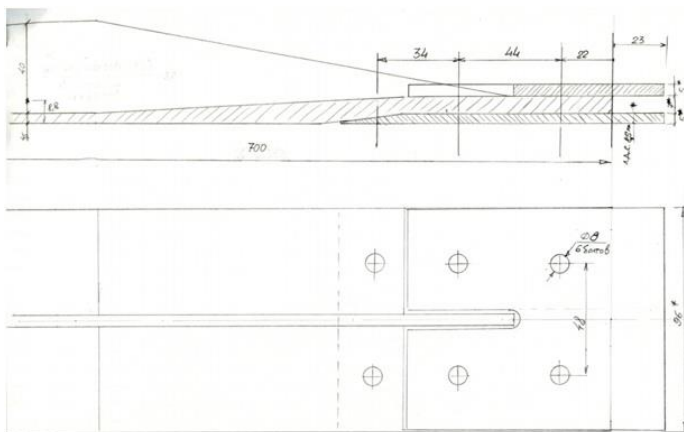


Рисунок 2 — Геометрия в зоне установки болтов

Конечно-элементная модель образца предназначена для проведения статического анализа в линейной постановке и разработана на базе трёхмерной конструкторской модели. Для данного образца был применён объёмный тип элемента. Элемент Brick 8node 45 (SOLID 45) представляет собой объёмный шестигранник с восемью узлами, расположенными на углах.

Представлены результаты испытаний образцов поперечного стыка панелей композитного крыла, а также результаты расчётного анализа напряжённо-деформированного состояния (рисунок 3) и устойчивости образца в конечно-элементном пакете ANSYS [2]. Сравнение расчётных и экспериментальных напряжений при нагрузке 5000 кгс представлены в таблице 1. Образцы воспроизводили типовой участок верхней панели в зоне стыка и испытывались на сжатие.

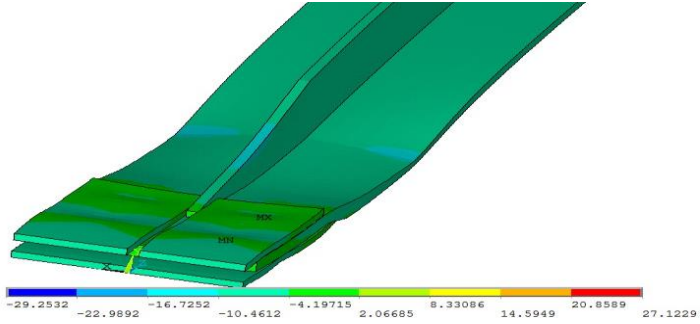


Рисунок 3 — Продольные напряжения (МПа)

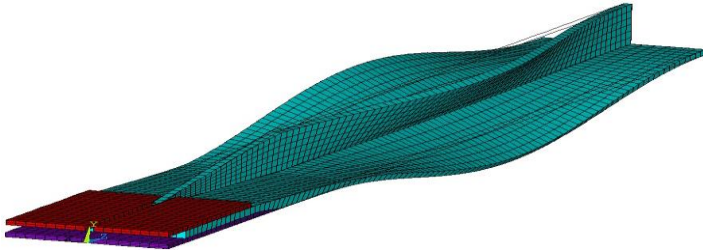


Рисунок 4 — Первая форма потери устойчивости

Таблица 1

№ Т/д	$\varepsilon_{\text{расчёт}} \times 10^4$	$\varepsilon_{\text{эксперимент}} \times 10^4$	$100 \times (\varepsilon_p - \varepsilon_s) / \varepsilon_s, \%$
1	-8,11	-9,24	12,18
2	-4,64	-2,69	72,28
3	-1,30	-1,61	18,84
4	-3,51	-2,86	22,92
5	-9,65	-10,98	12,11
6	-9,67	-6,50	48,71

7	-3,28	-2,49	31,98
8	-3,12	-3,00	3,84
9	-6,24	-8,54	26,85
10	-6,49	-7,71	15,78
11	-10,66	-9,90	7,60
12	-6,78	-6,63	2,26
13	-6,82	-6,76	0,91
14	-10,2	-9,96	2,55
17	-6,68	-7,39	9,64
18	-4,91	-3,84	27,88
19	-6,03	-8,45	28,60
20	-4,36	-5,87	25,62
21	-5,05	-3,73	35,25
22	-6,23	-9,16	31,96
25	-8,06	-8,85	8,95
26	-8,04	-9,20	12,63
27	-8,05	-10,09	20,19
28	-8,18	-9,00	9,06
29	-8,15	-8,27	1,51
30	-8,09	-9,70	16,56

Расчётные деформации удовлетворительно сходятся с экспериментом в линейной зоне деформирования образца.

Испытано три образца. Образцы разрушились при нагрузке 13198 кгс, 13945 кгс и 13617 кгс. Потеря несущей способности у всех образцов произошла в сечении на расстоянии ≈ 150 мм от плоскости стыковочной нервюры в результате разрушения сжатых слоёв материала (рисунок 5).

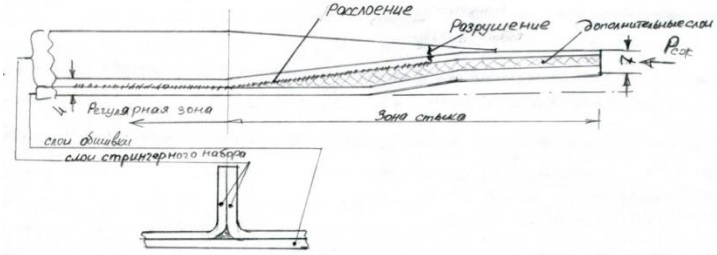


Рисунок 5 — Схема разрушения образца

Характер разрушения — расслоение обшивки на границе стыка и регулярной части, а также растрескивание стенки стрингера. В ходе испытаний были записаны результаты тензометрии, проведено сравнение результатов расчётных и экспериментальных данных.

В ходе испытания третьего образца с помощью экстензометров и записи их показаний высокоскоростной системой «Динамика» установлено, что разрушение образцов начинается с растрескивания стенки стрингера.

Для упрощения трудоёмкости вычислений первая КЭМ образца была получена простым слиянием узлов в местах болтовых соединений. На данном этапе работы проведены расчеты КЭМ с подробным моделированием болтовых соединений и контактным взаимодействием. На рисунке 6 изображена измененная геометрия поперечного стыка верхней панели крыла.

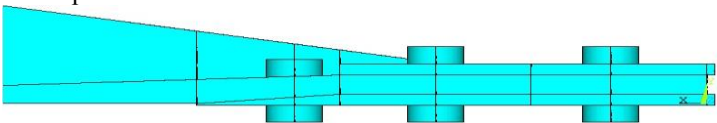


Рисунок 6 — Измененная геометрия зоны стыка

После подробного моделирования болтовых соединений, была создана конечно-элементная модель образца с контактным взаимодействием, которая была предназначена для проведения статического анализа в линейной постановке и разработана на базе трёхмерной конструкторской модели. Представлены результаты испытаний образцов поперечного стыка панелей композитного крыла, а также результаты расчётного анализа напряжённо-деформированного состояния (рисунок 7).

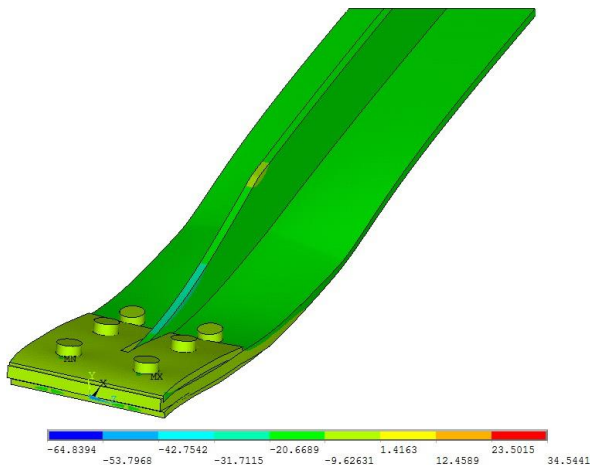


Рисунок 7 — Продольные напряжения (МПа)

Таблица 2. Расчетные и экспериментальные данные при нагрузке 5000 кгс

№ т/д	$\epsilon_{\text{расчёт}} \times 10^4$	$\epsilon_{\text{экспери-}}$	$100 \times (\epsilon_p -$
№=1	-9,2457	-13,421	45,16
№=2	-2,6943	-3,7977	40,95
№=3	-1,6114	-1,4059	12,76
№=4	-2,86	-2,8928	1,15
№=5	-10,986	-12,781	16,34
№=6	-6,5029	-6,4191	1,29
№=7	-2,49	-2,2986	7,69

$N_{\bar{0}}=8$	-3,0071	-2,9041	3,43
$N_{\bar{0}}=9$	-8,5414	-8,1928	4,08
$N_{\bar{0}}=10$	-7,7143	-7,7897	0,98
$N_{\bar{0}}=11$	-9,9086	-10,091	1,84
$N_{\bar{0}}=12$	-6,6386	-7,326	10,36
$N_{\bar{0}}=13$	-6,7671	-7,326	8,26
$N_{\bar{0}}=14$	-9,9671	-9,9684	0,01
$N_{\bar{0}}=17$	-7,3971	-6,0058	18,81
$N_{\bar{0}}=18$	-3,8429	-3,589	6,61
$N_{\bar{0}}=19$	-8,4514	-8,9627	6,05
$N_{\bar{0}}=20$	-5,8743	-5,7216	2,60
$N_{\bar{0}}=21$	-3,7357	-3,5017	6,26
$N_{\bar{0}}=22$	-9,1686	-9,2974	1,41
$N_{\bar{0}}=25$	-8,8529	-9,3199	5,28
$N_{\bar{0}}=26$	-9,2071	-9,2755	0,74
$N_{\bar{0}}=27$	-10,091	-9,3199	7,65
$N_{\bar{0}}=28$	-9,0029	-9,3532	3,89
$N_{\bar{0}}=29$	-8,2771	-9,3228	12,63
$N_{\bar{0}}=30$	-9,7029	-9,2755	4,40

Расчётные деформации хорошо сходятся с экспериментом в линейной зоне деформирования образца. Можно сделать вывод о том, что новая КЭ модель образца с подробным моделированием болтовых соединений и контактным взаимодействием, дает более точные расчетные данные.

Литература:

1. Чепурных, И.В. Прочность конструкций летательных аппаратов: учеб. Пособие / И.В. Чепурных. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО 2013. – 137 с.
2. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. Пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В ЗВУКОВОМ СОПЛЕ, ПРИМЕНЯЕМОМ В ХГН

Усынин С.Ю., Шикалов В.С., С.В. Клинков
Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН,
г. Новосибирск, usynin.serega@yandex.ru

С помощью модуля ANSYS Fluent получены расчетные зависимости скорости газа от продольной координаты в звуковом сопле и истекающей из сужающегося конического сопла струе. Они показывают, что с помощью сужающегося сопла возможно сформировать сверхзвуковую струю значительной протяженности, что позволит разогнать напыляемые частицы до высоких скоростей. Представленные результаты подтверждают применимость сужающихся конических сопел в условиях холодного газодинамического напыления и открывают широкие перспективы использования модуля ANSYS Fluent для теоретического моделирования звуковых сопел.

With the help of the ANSYS Fluent module, the calculated dependences of the gas velocity on the longitudinal coordinate in the sound nozzle and the jet flowing from the narrowing conical nozzle are obtained. They show that with the help of a tapering nozzle, it is possible to form a supersonic jet of considerable length, which will allow accelerating the sprayed particles to high speeds. The presented results confirm the applicability of tapering conical nozzles under conditions of cold gas-dynamic spraying and open up broad prospects for using the ANSYS Fluent module for theoretical modeling of sound nozzles.

В настоящее время исследуется применимость сужающихся конических сопел для холодного газодинамического напыления (ХГН) [1-2]. Для упрощения теоретических расчетов таких сопел понадобился инструмент CFD-моделирования, в котором можно было бы создавать неограничиваемую геометрию и проводить расчеты с разными граничными условиями [3]. Целью настоящей работы стало определение оптимальных параметров для расчета конических сужающихся сопел в программном модуле ANSYS Fluent.

Диаметры входного и критического (выходного) сечений сопла равнялись 15,4 и 6 мм соответственно. Длина сопла составляла 140 мм, длина сужающейся части 24 мм. 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 конического сопла.

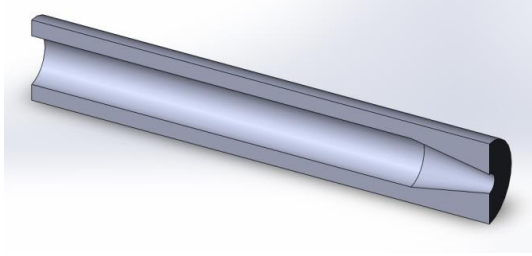


Рис. 1. Модель сужающегося сопла

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.

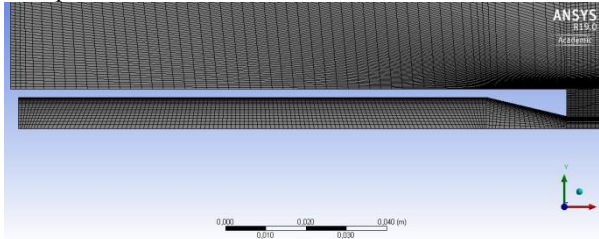


Рис. 2. Модель сетки во встроенном модуле Meshing

Для замыкания уравнения Навье-Стокса было выбрано 2 модели турбулентности: k - ϵ RNG, k - ϵ Realizable [4]. 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 температура газа – 300 К. Для потока и кинетической энергии выбраны уравнения второго порядка. CFD-моделирование было проведено с каждой из выбранных моделей турбулентности для дальнейшего анализа результатов, использование которых позволяет получить универсальную картину истечения газа из сопла, верифицируемую корректно с экспериментальными и теоретическими данными.

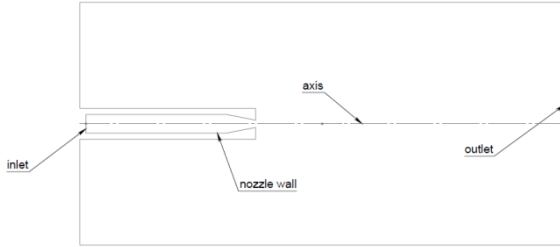


Рис. 3. Расположение граничных условий модели

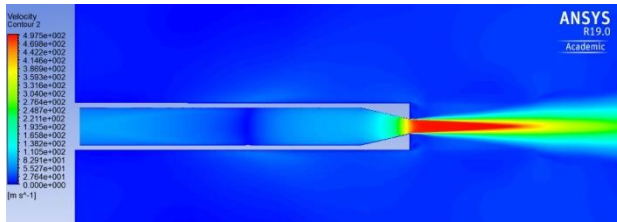


Рис. 4. Результаты расчета скорости.

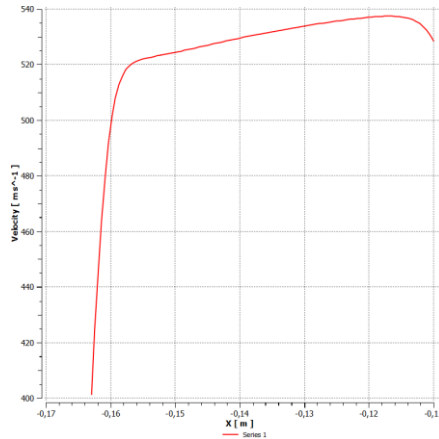


Рис. 5. Зависимость скорости от продольной координаты (координата среза сопла -0,16).

Получены расчетные зависимости скорости газа от продольной координаты в звуковом сопле и истекающей из сужающегося конического сопла струе, рис. 4-5. Они показывают, что с помощью сужающегося

звукового сопла возможно сформировать сверхзвуковую струю значительной протяженности (в данном варианте ~ 50 мм), что позволит разогнать напыляемые частицы до высоких скоростей. Представленные результаты подтверждают применимость сужающихся конических сопел в условиях холодного газодинамического напыления и открывают широкие перспективы использования ANSYS Fluent для теоретического моделирования звуковых сопел.

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. Алхимов А. П., Косарев В. Ф., Папырин А. Н. Газодинамическое напыление. Экспериментальное исследование процесса напыления // Прикладная механика и техническая физика. 1998. Т. 39, № 2. С. 182-188.

3. Моделирование истечения из суживающегося сопла / М.К. Михайлова, Ю.В. Фишер, А.Е. Щеляев // AIAA Propulsion Aerodynamics Workshop, международный семинар – г. Москва.

4. *Картанова А. Дж.* Компьютерное моделирование истечения струи из сопла Лаваля / Картанова А. Дж., Сулайманова С.М. // Вестник КРСУ

—
2017 – Т. 17 – №5. – С. 31-33.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОКОЛОЗВУКОВОЙ ОБЛАСТИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ В КАНАЛЕ

Д.В. Федорова^{1,2}, А.П. Калинина^{2,3}, В.Ю. Амельчукова^{1,2}

¹Новосибирский Государственный Технический Университет

²Институт Теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН

³Новосибирский Государственный Университет,
г. Новосибирск, fed13d12@yandex.ru

Проводится численное моделирование запуска прямооточного воздушно-реактивного двигателя при распределенной подаче топлива по длине камеры. Принципиальным является наличие струи сжатого воздуха, создающей эффект дросселя, и предварительное торможение потока до околозвуковых скоростей. Решались осредненные уравнения Навье – Стокса, замыкаемые SST-k- ω моделью турбулентности. Горение водорода моделировалось одной реакцией. Проведено сравнение с экспериментом, получено удовлетворительное совпадение.

A numerical simulation of the ramjet engine starting with distributed fuel supply along the length of the chamber is carried out. The main feature is a jet of compressed air, which creates the effect of throttle which performs preliminary deceleration of the flow to transonic speeds. The averaged Navier – Stokes equations with SST-k- ω turbulence model were solved. The combustion of hydrogen was modeled by a single reaction. A comparison with the experiment was made, and a satisfactory agreement between experiment and numerical results was obtained.

Решение задачи запуска камеры сгорания сверхзвукового прямооточного воздушно-реактивного двигателя (ПВРД) при высоких числах Маха привлекает все более высокое внимание. Основное преимущество этого типа двигателя состоит в том, что он не нуждается в баке с окислителем, который вносит значительную долю в общий вес транспортного средства. Спектр предлагаемых способов решения задачи широкий [1,2]. Можно выделить следующие направления исследований: эффективность воспламенения приготовленной топливной смеси с помощью плазменных актуаторов, либо оптического лазерного разряда, изучение воздействия плазменных актуаторов или эквивалентных тепловых источников на газодинамику с целью их возможного применения для управления сверхзвуковым потоком, использование детонационных процессов, улучшение качества смешения с помощью поперечных

струи. Новый метод запуска камеры сгорания, предложенный в [1] и развитый в [2], интересен тем, что одновременно затрагивает все три аспекта: проблему минимизации потерь полного давления, задачу эффективного смешения топливной смеси и проблему воспламенения смеси. Этот способ запуска двигателя без значительных потерь полного давления, обеспечивающий переход к сверхзвуковому течению в камере сгорания, реализован с помощью поперечной струи сжатого воздуха при распределенной подаче топлива по длине камеры. Применяется предварительное торможение потока до околозвуковых скоростей в секции постоянного сечения, а основная доля топлива подается в расширяющейся части. Принципиальным в данной схеме создания околозвуковой области является наличие источников энергии, расположенных выше по потоку от струи сжатого воздуха, создающей эффект дросселя, что приводит к торможению потока до околозвуковых скоростей.

Канал с 2D распределением температуры изображен на рис. 1.

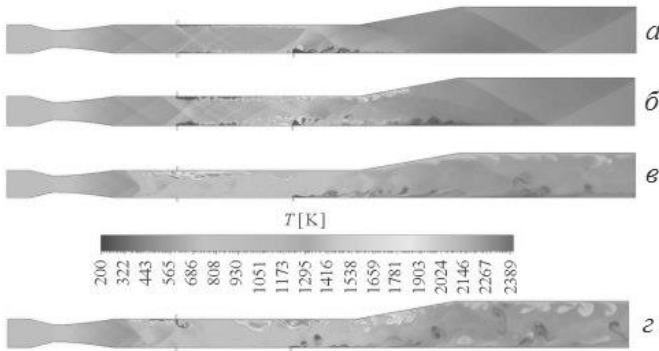


Рисунок 1. Распределение температуры при горении водорода в плоском канале при установлении (а,б,в) и квазипериодическом решении (г)

Основной поток представляет собой смесь азота и кислорода в пропорциях, близких к атмосферному воздуху. При численном моделировании используется SST $k-\omega$ модель турбулентности. Значение интенсивности турбулентности на входе для основного потока и струи воздуха при CFD составляют 0.1%. Струи водорода имеют достаточно высокую интенсивность турбулентности 5%. Эволюция распределения температуры при впрыскивании двух струй водорода и струи воздуха, а

также распределение при установившемся режиме с автоколебаниями показаны на рис. 1.

На рис. 1а,б,в показаны последовательные моменты времени в начале формирования ударно-волновой структуры. Распределение 1г соответствуют моменту времени при установившемся квазипериодическом решении. На рис. 2 представлены результаты сравнения эксперимента [2] с данными численного исследования.

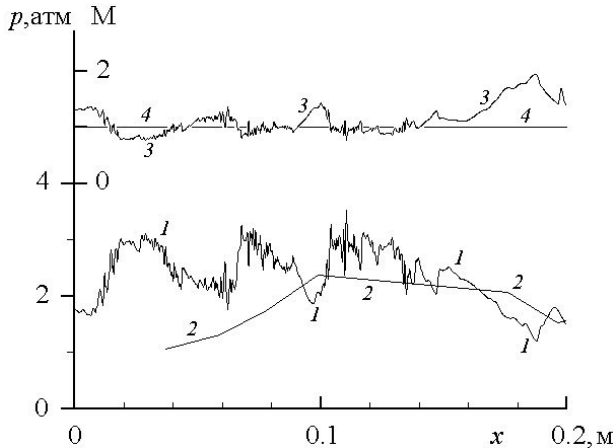


Рисунок 1. Зависимость статического давления в эксперименте (2) и расчете (1), а также числа Маха в расчете (3) от координаты вдоль канала.

В [2] описана экспериментальная реализация торможения сверхзвукового потока с числом Маха $M = 2$ до околосубзвуковых скоростей. Используется подача водорода на входе в секцию постоянного сечения канала по центру. При встрече с дросселирующей струей наблюдается рост давления в канале, оно измеряется в различных точках на стенке (дросселирующая струя подается через противоположную стенку). Это давление, отнесенное к давлению в форкамере, показано на графиках в [2] как функция координаты вдоль канала в некоторый момент времени. Горение водорода происходит в псевдоскачковом режиме, поток тормозится до числа Маха, равного единице; малые потери полного давления подтверждаются измерениями на выходе из канала. При численном моделировании поперечное сечение канала в секции постоянного сечения,

как и в эксперименте [2], равно 30 мм и число Маха потока также $M = 2$. В отличие от [2] подача водорода осуществлялась через боковую (нижнюю) стенку в самом начале секции постоянного сечения. Область между подачей водорода и дросселирующей струей несколько короче, и только в ней мы можем проводить сравнение. Как упоминалось выше, режим горения в случае пристеночной подачи топлива пульсирующий. Это демонстрирует рис. 2, на котором показана зависимость статического давления от координаты вдоль канала (кривая 1). Давление и число Маха получены вдоль линии, отстоящей на 10 мм от нижней стенки канала. Результаты из [2], соответствующие давлению в форкамере 7 атм, представлены в данной работе на рис. 2 (кривая 2); число Маха, полученное численным моделированием дает кривая 3, а кривая 4 соответствует уровню числа Маха $M = 1$. Из графиков видно, что в канале реализуется пульсирующий околосвуковой режим с числом Маха, близким к единице. Минимальное значение числа Маха 0.9, максимальное 1.2. Дросселирующая струя действует на дозвуковой поток непосредственно перед ней ($M = 0.9$) аналогично соплу Лаваля, в результате чего поток снова разгоняется до сверхзвуковых скоростей. Диапазоны давлений, соответствующие эксперименту и расчету, пересекаются, но средний уровень давления в эксперименте ниже, чем в расчете. Из данных численного моделирования видно, что чем выше давление в канале (кривая 1), тем ниже число Маха (кривая 3) и наоборот. Распределение давления поперек канала можно считать равномерным с точностью до пульсаций. Диапазон экспериментальных давлений пересекается с расчетным диапазоном, но в среднем экспериментальные значения несколько ниже.

Таким образом, можно сделать вывод, что режим течения в [2] также околосвуковой, но значения чисел Маха несколько выше. Это подтверждает оценку [2]. Уровень давления и падение его в конце секции постоянного сечения в расчете и эксперименте близкие.

Работа выполнена в рамках проекта СО РАН III.22.6.2 и гранта РФФИ 17-08-00183.

Литература:

1. Третяков П. К., Забайкин В. А., Прохоров А. Н. Высокоскоростной ПВРД с пульсирующим режимом запуска // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. – Казань: Казанский ун-т, 2015. – С. 3778-3780.

2. Abashev V. M., Korabelnikov A. V., Kuranov A. L., Tretyakov P. K. Increase in the Efficiency of a High-Speed Ramjet on Hydrocarbon Fuel at the Flying Vehicle Acceleration up to $M = 6+$ // AIP Conference Proceedings. – 2017. – V. 1893, No.1. – S. 1. – P. 020005.

Секция ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ
ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛА

**АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ЭКИПАЖ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

Д.Б. Балкен, А.В. Чичиндаев

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, darhan9512@mail.ru**

В связи с перспективой пилотируемых полетов на Марс актуальной становится задача биологической индикации предполагаемой трассы полета и условий на Марсе с позиции разработки необходимых систем обеспечения жизнедеятельности экипажа (СОЖ). Проведенный анализ показал, что одним из наиболее биологически значимых факторов окружающей среды в решении настоящей задачи является ионизирующее излучение.

В работе приведены результаты анализа влияния космического ионизирующего излучения на человека. Было установлено, что важнейшим элементом системы жизнеобеспечения для данного полета должна быть мощная многократная радиационная защита пилотируемого модуля космического аппарата.

В заключении выполнено сравнение космического излучения с высотным ионизирующим излучением, воздействующим на летный персонал. Выявлены общие закономерности влияния повышенного или пониженного ионизирующего излучения на организм человека, которые позволяют проводить исследование особенностей систем защиты от радиации при длительных космических полетах.

The problem of biological indication of the intended flight path and conditions on Mars is becoming urgent due to the perspective of manned missions to Mars, for developing the necessary crew life support systems. The analysis showed that one of the most biologically significant environmental factors in solving this problem is ionizing radiation.

In this work listed results of the analysis of cosmic ionizing radiation effects on humans. It was found that powerful multiple radiation protection manned space-craft module is the most important element of life support system for the flight.

In conclusion is made a comparison of the cosmic radiation with high-altitude ionizing radiation, affecting the flight personnel. The general regularities of the influence of high or low ionizing radiation on the human body were revealed, what allow to carry out research of features of radiation protection systems for long space flights.

В ближайшей перспективе предполагаются пилотируемые полеты на Марс. В связи с этим одной из актуальной становится задача биологической индикации предполагаемой трассы полета и условий на Марсе с позиции разработки необходимых систем обеспечения жизнедеятельности (СОЖ), обеспечивающих безопасность экипажа.

Целью настоящей работы является анализ характеристик и оценка биологической значимости интенсивности ионизирующего излучения применительно к трассе полета и на поверхности Марса, а также сравнение данного фактора на примере высотного излучения в атмосфере Земли.

В работе приведены результаты анализа влияния космического ионизирующего излучения на человека. Было установлено, что важнейшим элементом системы жизнеобеспечения для данного полёта должна быть мощная многократная радиационная защита пилотируемого модуля космического аппарата.

Влияние ионизирующего излучения на организм человека. Основная опасность радиации связана с ее способностью проникать в организм и повреждать живые ткани. При воздействии радиации происходит ионизация биохимических соединений в клетках, вследствие чего нарушаются их жизненные функции, и они гибнут. В свою очередь гибель клеток ведет к расстройству функции органов и систем, вплоть до гибели организма.

В случае хронического интенсивного облучения (длительные космические полеты) картина биологических проявлений следующая. При суммарной дозе 0.7...1 Зв (мощность дозы не более 0.2 Зв/год) не достигаются клинически выраженные проявления лучевого заболевания даже в наиболее поражаемых органах и системах. При суммарной дозе 1.0...1.5 Зв (мощность 0.2...0.5 Зв/год) у 20...30 % лиц могут возникнуть стертые проявления заболевания. Сроки формирования синдрома затягиваются до 3...5 лет от начала облучения. симптомы лучевого повреждения выражены слабо. При суммарной дозе 1.5...4.0 (мощность более 1 Зв/год) у 80...90 % лиц развивается клинический синдром хронической лучевой болезни с вовлечением в реакцию большинства органов и систем. Формирование синдрома происходит впервые 1...2 года.

Параметры ионизирующего излучения. При длительных космических полетах в межпланетном пространстве радиационная опасность обусловлена совместным действием радиационных поясов Земли (РПЗ), галактического космического излучения (ГКИ) и солнечного космического излучения (СКИ). *Солнечное космическое излучение.* Представля-

ет собой поток солнечной плазмы, образующийся во время солнечных вспышек и достигающий орбиту Земли через 6...10 минут. В составе СКИ обнаружены главным образом протоны, α -частицы и электроны. Примесь более тяжелых ядер не превышает 0.1%. *Галактическое космическое излучение.* Представляет собой поток межзвездной плазмы (как правило, намагниченной) через которую пролетает Солнечная система при движении вокруг центра Галактики. За пределами магнитного поля Земли (высоты более 75...100 тысяч километров) представляет собой изотропный поток протонов высокой энергии (примерно 85...87%), ядер гелия (около 12...14%). Оставшиеся 1...2% приходятся на ядра более тяжелых элементов, а также элементарные частицы: электроны, нейтроны, фотоны и т.п.. Оценка эквивалентной дозы облучения по всему спектру частиц ГКИ составляют 0.5...1.0 Зв в год в зависимости от фазы солнечной активности [1...4].

При взлете КЛА существует серьезная радиационная опасность. Это связано с тем, что гравитационное и магнитное поля Земли производят отклонение "сепарацию" и "гашение энергии" частиц ГКИ и СКИ. При взаимодействии магнитосферы с СКИ и ГКИ образуются специфические образования – радиационные пояса, в которых "хранятся" уловленные частицы космической радиации.

Методика расчета. На основании сведений о пространственном расположении радиационных поясов в околоземном, межпланетном пространстве и данных о траекториях полета космических летательных аппаратов определяется интенсивность каждого вида ионизирующего излучения. Для заданной продолжительности полета оценивается суммарная доза за полет (получаемая путем учета вкладов от всех источников) и сравнивается с допустимой по критериям радиационной безопасности экипажа. После находится требуемая общая кратность ослабления тканевой дозы и соответственно кратность ослабления отдельных компонентов излучения, что позволяет для заданных условий полета найти компоненту, в основном определяющую компоновку и толщину защиты.

Плотность потока, энергетическое и угловые распределение, а также состав частиц изменяется не только от одной вспышки к другой, но и во время самой вспышки. В частности, максимум излучений приходится на 10...15 минуты от начала активности вспышки, хотя полная ее продолжительность может достигать суток. Энергетический спектр СКИ характеризуется меньшей, чем у ГКИ энергией частиц (на 2...3 порядка меньше чем ГКИ). Интенсивность потока СКИ зависит от частоты сол-

нечных вспышек. В период максимума активности наблюдается 120...200 вспышек за месяц, в то время как при минимуме активности всего 5...20. Фоновая активность СКИ при этом изменяется на 30...50%. В представленной методике расчетов условно разделяется солнечное космическое излучение на фоновое излучение, создаваемое множеством малых вспышек на Солнце с небольшим разбросом мощностей, и излучение от крупных вспышек на Солнце, в виду разного принципа их действия.

Полученные результаты исследования характеристик поля и энергии ионизирующего излучения, расчета поглощенной дозы и анализ дозовых характеристик позволяют проводить оценку влияния космического ионизирующего излучения на организм человека, а так же могут быть полезны при разработке средств защиты.

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. С. П. Ярмоненко. Радиобиология человека и животных: Учебник для студ. вузов. – М.: Высшая школа, 1984.

4. Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. Радиационная гигиена: учеб. для вузов. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 384 с.

5. Системы защиты ЛА от ионизирующих излучений / Сост. А.В. Чичиндаев. - Новосибирск, НГТУ, 1997. - 47 с.

6. Моисеев А.А, Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. - 4-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 252 с.

7. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник. - 3-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 296 с.

БЛОКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.А. Кабанцев, В.И. Сабельников
Сибирский научно-исследовательский
институт авиации им. С.А.

Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, anatoly.kabantsev@yandex.ru

В работе описаны результаты проведенных поисковых исследований по маслонасосным станциям лабораторий прочности отечественных и зарубежных фирм. Выполнен анализ схемных решений гидравлических систем насосных станций. Рассмотрены различные компоновки и выяснены основные параметры используемого оборудования. Отмечены недостатки в конструктивных решениях существующих станций. Предложены пути совершенствования отдельных функциональных систем.

As a source of working fluid supply for aeronautical structures loading systems oil pumping stations are used. In accordance with the basic requirements of regulatory documents, the pumping station must provide a specified flow rate, pressure, temperature and cleanliness of the working fluid in all operating modes.

The paper describes the results of investigative study on structural laboratories oil pumping stations of domestic and foreign firms. The structure and general characteristics of the stations have been studied. The analyses of circuit designs of pumping stations hydraulic systems are performed. The various layouts are considered and the main parameters of the equipment used are clarified. Deficiencies in the design solutions of existing stations are noted. The updating ways of separate functional systems are offered.

Гидропривод систем нагружения авиационных конструкций представляет собой многофункциональную динамическую систему со сложным алгоритмом работы. Он включает в себя функционально связанные между собой систему нагружения и маслонасосные станции (МНС) [1].

В состав лабораторного комплекса отделения прочности СибНИА входят три централизованные МНС. Параметры станций приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры станции

Параметры	МНС 1		МН С 2	МН С 3
	Бло к 3	Бл ок 6		
Производительность, л/мин	615	64 0	250 0	350 0

Максимальное давление, МПа	25	32	32	32
-------------------------------	----	----	----	----

В 2018 году перед специалистами отделения прочности СибНИА встала задача создания новой МНС, предназначенной для энергообеспечения стендов ресурсных испытаний планера и различных элементов конструкции самолета с большим количеством каналов нагружения (более 200).

В качестве аналога при разработке будущей МНС было принято решение об использовании существующих схемных решений и разработок. На рис.1 приведена компоновка насосов одной из существующих станций лаборатории прочности, запущенной в эксплуатацию в 2009 году.



Рис.1 – Компоновка насосов МНС СибНИА

За время эксплуатации данной МНС был выявлен ряд недостатков. Для исключения данных недостатков в новой станции, был проведен анализ некоторых существующих и доступных в настоящее время данных по схемным решениям насосных станций отечественных и зарубежных фирм.

На рис.2 показана компоновка МНС немецкой фирмы *HYDAC*, разработанной для испытаний широкофюзеляжного самолета *Airbus A-380*.



Рис.2 – Компоновка МНС фирмы *HYDAC*

Полный объем расходного бака данной станции составляет около 100 000 л. Производительность МНС составляет 10 000 л/мин, номинальное давление 28 МПа. Абсолютная тонкость фильтрации масла около 3 мкм.

На рис.3 показана компоновка МНС фирмы *Mannesmann Rexroth* (Германия), созданной для испытаний самолетов семейства *Boeing*. В качестве источников питания используется 13 насосов *A4VSO250DP*. Производительность МНС составляет 4550 л/мин, номинальное давление 28 МПа.



Рис.3 – Компоновка МНС фирмы *Mannesmann Rexroth*

Из отечественных насосных станций были рассмотрены: МНС входящая в состав систем нагружения авиационных конструкций Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) и насосная станция металлургического завода [ЕВРАЗ ЗСМК](#).

По результатам проведенных исследований по МНС для нового испытательного стенда, предложены пути совершенствования отдельных функциональных систем МНС:

1. Подсистема подачи рабочей жидкости (РЖ) к насосам высокого давления, состоящая из группы подкачивающих насосов и блока фильтрации, заменяется индивидуальной системой самовсасывания насосов высокого давления;
2. В системах охлаждения и фильтрации РЖ использовать современное оборудование с новой компоновкой[2];
3. Использовать насосы высокого давления, имеющие при рабочем давлении 21 МПа ресурс не менее 15–20 тыс. часов;
4. Для насосов высокого давления предусмотреть возможность запуск и отключение в режиме холостого хода;

5. В системе высокого давления применить насосы высокого давления производительностью 100 и 200 л/мин, используемые для обеспечения малых расходов РЖ (патент на изобретение №2516571, 2014 г.);

6. Предложена защита от аварийных утечек РЖ в гидросистеме [3].

Проведенные доработки позволят: уменьшить стоимость МНС; сократить время испытаний авиационной техники; увеличить КПД станции; повысить надежность; снизить затраты на энергообеспечение и эксплуатацию.

Литература:

1. Испытательные комплексы и стенды для исследования агрегатов и систем летательных аппаратов: монография/ А.Н. Серьезнов, Ю.В., Сабельников В.И., Колеватов, Д.И. Суворкин.– Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015.– 206 с.

2. Сиденко Д.Е., Сабельников В.И. Анализ схемных решений системы охлаждения гидропривода лаборатории прочности. Труды XVIII всероссийской научно-технической конференции — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017, С.290—293.

3. Патент 168942 RU, МПК⁷ G01M 5/00. Устройство защиты гидравлической системы испытательного стенда. / Сабельников В. И., Сиденко Д. Е., Лапердин А. И.; заявитель ФГУП «СибНИА им. С. А. Чаплыгина» Заявка № 2016131317; приоритет 28.07.16; опуб 28.02.17, Бюл. №7 – 3.с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕДОСТАТКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ В НЕВЕСОМОСТИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Д.С. Краснощекова, И.В. Хромова
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, chromova@corp.nstu.ru

В работе собран материал и выполнен анализ механизмов негативного воздействия недостатка двигательной активности на органы и основные жизненно важные системы организма человека (опорно-двигательного аппарата, кровообращения, дыхания, пищеварения). Выявлены особенности работы кровеносной системы при недостаточной физической активности, а так же в

результате тяжелой формы гиподинамии. Выполнен комплекс модельных исследований воздействия гиподинамии различной степени тяжести и избыточного веса двух типов (мышечная масса и жировая ткань) на работу кровеносной системы человека. Выявлены особенности недостатка двигательной активности на Земле и в невесомости для мужского и женского организма с различным типом конституции. Исследованы способы компенсации негативного воздействия недостатка двигательной активности для людей с различной физической подготовкой. Выполнен анализ видов и интенсивности физической нагрузки (динамической и силовой) для компенсации негативного воздействия гиподинамии в условиях невесомости. Полученные результаты дают возможность определять границы проводимых экспериментов и создавать модельные тренажеры для программ компенсации и профилактики гиподинамии, а также могут быть полезны при разработке программ предполетной подготовки и реабилитации после возвращения с МКС.

The work describes the mechanisms of negative effects of a physical activity deficiency on the organs and the main vital human body systems (musculoskeletal system, blood circulation, respiration, and digestion). Features of vascular system work at insufficient physical activity are revealed, and also as a result of a severe form of a hypodynamia. The complex of model researches of a hypodynamia influence of varying severity and excess weight of two types (muscle bulk and adipouse tissue) for work of human vascular system is executed. Researchers are executed for Earth and imponderability conditions for a male and female body with various somatotype. In calculations various physical training was considered. We made the analysis of types and intensity of an exercise stress (dynamic and power) for compensation of a hypodynamia negative impact in the imponderability conditions. The received results give the chance to define borders of the made experiments and to create model exercise machines for compensation and prophylaxis of a hypodynamia. Results can be useful when developing programs of preflight preparation and rehabilitation after return from the International Space Station.

В области обеспечения безопасности космических полетов актуальной задачей является разработка средств защиты, которые направлены на компенсацию нарушений в организме человека в условиях длительной невесомости. Одним из наиболее значимых факторов, оказывающих негативное влияние на работу систем организма, является гиподинамия.

Гиподинамия – это недостаток двигательной активности, вследствие которого снижается сила сокращения мышц, в организме происходят различные нарушения. Влияние гиподинамии во всех случаях носит только негативный характер. Наиболее сильно от воздействия гиподинамии страдают опорно-двигательная и сердечно-сосудистая системы. Снижение тонуса мышц приводит к уменьшению мышечной массы и деминерализации костной ткани, что в свою очередь ведет к нарушению

осанки, смещению внутренних органов и другим негативным изменениям. Уменьшение нагрузки на ССС ведет к снижению массы и силы сердечной мышцы, нарушению обмена веществ в клетках сердца; ухудшению состояния кровеносных сосудов, а так же к уменьшению их числа. Все это создает повышенный риск развития различных сердечных патологий (таких, как инфаркт миокарда). Немаловажно отметить, что гиподинамия отрицательно сказывается и на работе головного мозга.

В настоящее время существенно расширились границы физического состояния космонавтов, допускаемых к полетам в космос. Наряду с широкими возрастными рамками, можно выделить три характерные группы по типу двигательной активности: специалисты-операторы, бортиженеры и тренированные космонавты. В условиях невесомости эта проблема стоит особенно остро, т.к. отсутствует сила гравитации. В связи с этим у двигательного аппарата нет необходимости поддерживать ортостатическую устойчивость, и мышечный корсет подвергается часто необратимым изменениям. Последствия недостатка двигательной активности в условиях невесомости без адекватной компенсации при возвращении на Землю можно сравнить с состоянием лежачих больных.

Наиболее эффективным способом нейтрализации негативного воздействия данных факторов являются тренажеры, формирующие заданную физическую нагрузку. Особое значение при этом имеют индивидуальные особенности организма для различных возрастов, пола, а также состояния организма: типа конституции, вида двигательной активности, веса. Очень важно при решении задачи компенсации гиподинамии и невесомости подобрать величину и продолжительность выполнения физической нагрузки на конкретные группы мышц, которые бы адекватно компенсировали гиподинамию, и при этом интенсивность тренировок была бы выполнимой не только для специалистов с хорошей спортивной подготовкой.

Цель настоящей работы – исследование влияния типа двигательной активности человека, вида и величины физической нагрузки на различные группы мышц при разработке средств борьбы с гиподинамией в условиях невесомости и на Земле. Особое внимание посвящено оценке степени эффективности средств компенсации отдельно для мужского и женского организма с различным типом конституции и физической подготовки.

В работе выполнен комплекс модельных исследований воздействия гиподинамии различной степени тяжести и избыточного веса двух типов (мышечная масса и жировая ткань) на работу кровеносной системы

человека. Выявлены особенности недостатка двигательной активности на Земле и в невесомости для мужского и женского организма с различным типом конституции. Выполнен анализ видов и интенсивности физической нагрузки (динамической и силовой) для компенсации негативного воздействия гиподинамии в условиях невесомости.

Литература

1. Курмазенко Э.А. Конструирование теплообменных аппаратов систем жизнеобеспечения : Учеб. пособие / Э. А. Курмазенко; Моск. авиац. ин-т им. Серго Орджоникидзе М. : Изд-во МАИ, 1991.

2. Пичулин В.С. Математическое моделирование и проектирование индивидуальных систем жизнеобеспечения экипажей космических аппаратов : Учеб. пособие. – М.: МАИ, 2001. – 88 с.

3. Чичиндаев А. В. Теплообмен в системе «человек – окружающая среда» в условиях низких температур : монография / А. В. Чичиндаев, И. В. Хромова. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. - 214 с - (Монографии НГТУ). - 3000 экз. - ISBN 978-5-7782-3492-5.

4. Ю. В. Дьяченко, В.А. Спарин, А.В. Чичиндаев. Системы жизнеобеспечения летательных аппаратов. Серия «Учебник НГТУ». Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 512 с.

5. I.V. Khromova, Heat Exchange in “Human body - Thermal protection – Environment System,” Journal of Physics: Conference Series, 2017. doi:10.1088/1742-6596/891/1/012084.

6. I.V. Khromova, A.V. Chichindaev Heat Exchange Processes Modeling in “Human body - Thermal protection - Environment” System / I.V. Khromova, A.V. Chichindaev // Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). Series:Advances in Engineering Research. - 2018. – P. 181-185, – ISBN 978-94-6252-560-3 – ISSN 2352-5401 - DOI: 10.2991/avent-18.2018.35.

7. Березовский В.А. Колотилов Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник. – Киев.: Наук. думка, 1990. – 224 с.

8. Основы космической биологии и медицины. Том I. Космическое пространство как среда обитания. М.: Наука, 1975. - 450 с.

9. Основы космической биологии и медицины. Том II. Книга первая. Экологические и физиологические основы космической биологии и медицины. М.: Наука, 1975. - 422 с.

10. Хромова И. В. Моделирование процессов теплообмена [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс / И. В. Хромова; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск : Из-во НГТУ, 2017. – № ОФЭР-

РАЗРАБОТКА ОХЛАЖДАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ЭЛЕКТРОКОНДИЦИОНЕРА

Нягулов М.Р., А.П. Исанина
Новосибирский Государственный Технический Университет
г. Новосибирск, yatsan@ngs.ru, sunnymonth@mail.ru

Разработана модель единичной ячейки электрокондиционера на основе эффекта Пельтье. Определена основная компоновка единичного изделия, исходные данные для расчета в отношении условий реализации и расчетные характеристики.

In this work the model of electric conditioner unit on basis of Peltier principle had been designed. Basic assembly, basic data and performance predictions for calculating are defined.

На данный момент, большинство летательных аппаратов (ЛА) используют для поддержания комфортных условий жизнедеятельности на борту системы кондиционирования воздуха (СКВ) на базе воздушного цикла. Преимуществами которых являются: относительно простое конструктивное устройство, высокая надежность, простота эксплуатации и независимость от положения ЛА в пространстве. [1] При проектировании таких СКВ жестко стоит вопрос располагаемого расхода воздуха, отбираемого от силовой установки, а также приведения его к параметрам, при которых возможно его использование. В то же время, ограниченность производственных возможностей зачастую не позволяет проектировать теплообменные аппараты, рассчитанные на применение лишь в одной определенной СКВ, а применение стандартизованных экземпляров затруднено большим количеством требуемых режимов функционирования, которые индивидуальны для каждого ЛА. Это ведёт к необходимости разработки системы и агрегатов для каждого объекта применения.

Факторы, перечисленные выше, обуславливают появление задачи разработки малого, независимого от силовой установки, устройства, рассчитанного на различные объемы холодопроизводительности, которое бы смогло обеспечить поддержку СКВ на критических режимах, когда мощности самой системы становится недостаточно для обеспече-

ния установленных параметров воздуха в отсеке. Потребность в таком устройстве проявляется как в составе актуальных разрабатываемых схем СКВ, так и при модернизации авиационной техники, когда сложность внесения потребных изменений в уже сконструированную систему слишком высока.

В рамках решения данной задачи предложено применить устройство, основой которого является использование эффекта Пельтье и, который на данный момент, в авиационных СКВ не используется. При том, что в других областях промышленности модули Пельтье получили широкое распространение как устройства для контактного охлаждения и термостабилизации миниатюрных электронных приборов и технологических зон, а также для локального кондиционирования. [2]

В настоящее время, эффективность модулей, основанных на эффекте Пельтье достигает 40-50%. Указанные значения эффективности положительно сказываются на применимости данного эффекта в СКВ, однако наиболее важным фактором является то, что работа элементов Пельтье осуществляется лишь за счёт электрического тока.

Разрабатываемое устройство по своему виду схоже с воздуховодным теплообменником. Отличительной чертой, обеспечивающей независимость устройства от силовой установки, является использование модулей Пельтье в качестве разделительных стенок между гофрами теплообменника. На данный момент устройство представлено единичной ячейкой в качестве охлаждающего элемента, составленного по схеме гофр – модуль – гофр – модуль – гофр (рис.1).

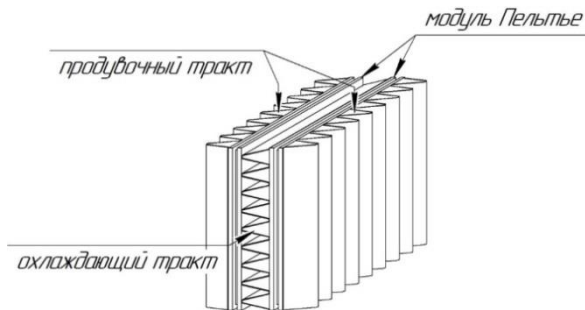


Рис.1 Схема исследуемого элемента

Модули расположены в расчетной ячейке таким образом, что их охлаждающиеся стороны соприкасаются с центральным гофром. Так образуется охлаждающий тракт электрокондиционера (ОТЭК). В то же время нагревающиеся стороны модуля обращены к внешним гофрам, образующим продувочный тракт электрокондиционера (ПТЭК), предназначенного снять тепловой поток, выделяемый на модулях. Разделение потоков реализовано при помощи перекрестной продувки. Решение задачи, описывающей работу данной ячейки является основополагающим для моделирования работы устройства в целом, а также для оценки возможных решений актуальных технических задач в данном направлении.

Образованная система обладает большей площадью теплообмена, чем при «контактном» охлаждении, что позволит обеспечить более эффективное отведение тепла от охлаждающегося воздуха.

Модули подключаются к сети постоянного тока. От параметров тока и напряжения, подаваемых на модуль, будет зависеть величина создаваемого эффекта, выражаемая располагаемым теплосъемом. Рабочая область параметров питания модуля заключена в рамках от 0 до ~12 А для силы тока и от 0 до ~24 В для напряжения. При этом, выбранный ток дает промежуток, в котором возможно варьирование напряжения для обеспечения определенной разности температур на модуле.

В созданной расчетной модели приняты следующие исходные данные: обдувание потоком воздуха одинарной гофрированной пластины, выполненной из алюминиевого сплава АМц, имеющей геометрические размеры равные размерам выбранного модуля и расположенные (зажаты) между холодными поверхностями двух термоэлектрических модулей Пельтье. На данных поверхностях реализовывалось граничное условие $t_{ст} = const$. Расход продувочного воздуха принимался равным $G = 50$ кг/ч. Температура воздуха на входе в ячейку задавалась $t_{вх} = 30^{\circ}C$. Температура холодной поверхности модуля варьировалась от $t_{ст} = 0^{\circ}C$ до $20^{\circ}C$.

Требовалось определить теплосъем Q , снимаемый потоком воздуха в ячейке, и температуру воздуха на выходе $t_{вых}$. В итоге для единичной ячейки были получены следующие результаты:

Таблица 1

$t_{ст}, ^{\circ}C$	I, A	U, B	$Q, Вт$	$t_{вых}, ^{\circ}C$
20	4	10,3	30	27,8
10	6,5	15,3	61	25,6
0	9,5	20,6	92	23,4

Полученные результаты имеют тенденцию к росту вследствие масштабирования размеров электрокондиционера, что позволяет разрабатывать электрокондиционеры такого типа под различные исходные параметры.

Литература:

1. Дьяченко Ю. В., Системы жизнеобеспечения летательных аппаратов (Серия Учебники НГТУ) : учеб. пособие / Ю. В. Дьяченко, В. А. Спарин, А. В. Чичиндаев. - : Издательство НГТУ, 2003. - 512 с.

2. Термоэлектрические модули для промышленного применения, элементы Пельтье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kryothermtec.com/ru/thermoelectric-coolers-for-industrial-applications.html> - Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 24.07.2018)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛЕНОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ АДИАБАТИЧЕСКОЙ СТЕНКИ

А.И. Очердько, М.А. Пахомов
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
г. Новосибирск, artemocheredkoartem@ngs.ru

Выполнено численное исследование влияния параметра вдува, температур основного и вторичного потоков и высоты плоской щели на структуру течения и тепловую эффективность завесного охлаждения.

The main thermal and gas dynamic parameters of the wall gas jet on the thermal efficiency value in a flat channel was numerically performed. The effect of the blowing ratio parameters, the main and secondary flows temperatures, and the height of the flat slot on the mean and turbulent structure of the flow and the thermal efficiency of the film cooling was studied.

Пленочное охлаждение - способ тепловой защиты, при котором охлаждающее газообразное вещество вдувается в высокотемпературный поток газа через щель или проницаемый участок поверхности и охлаждает не только область вдува охладителя, но и расположенный за ней участок поверхности, у которой создается тонкий слой (пленка) относительно холодного газа (жидкости) [1]. Тепловая защита стенки от воздействия потоков высокоэнтропийного потока с помощью пристенных

газовых завес является актуальной и важной задачей при разработке различных современных энергетических машин и установок. Схема течения при щелевом вдуве показана на рис.1. На практике чаще всего моделируется турбулентное смешение двух потоков разной температуры – основного (нагретого) и вторичного (холодного).

Цель данной работы – провести численное исследование структуры течения и тепловой эффективности пленочного охлаждения при подаче охладителя через плоскую щель при вариации основных термогазодинамических параметров основного и вторичного потоков (параметра вдува, температур основного и вторичного потоков и высоты плоской щели).

Математическая модель. Для численного моделирования использовался пакет программ OpenFOAM. Для описания динамики и теплопереноса в однофазном воздушном потоке используется система двумерных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (Reynolds averaged Navier-Stokes – RANS) уравнений. В расчетах использовалась стандартная k - ϵ модель турбулентности. Эта модель позволяет получить результаты с приемлемой инженерной точностью при разумных вычислительных затратах.

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 PIMPLE, который является симбиозом PISO и SIMPLE процедур. Всего сетка содержит 58275 контрольных объемов.

1	4
2	5
3	6

Рис.1 - Геометрия канала (рисунок выполнен не в масштабе)

Результаты численных расчетов и их анализ. Схематическое представление расчетной области и геометрии течения показано на Ри-

сунке 1. Вычислительная область, представленная на Рисунке 1, является плоским каналом длиной $X = 1$ м и высотой $h = 100$ мм. Численные расчеты выполнены для следующего диапазона изменения начальных параметров основного и вторичного потоков. Воздух в основном потоке считается сухим с температурой $T_1 = 323\text{--}573$ К. Температура вторичного потока была постоянной и равной $T_2 = 293$ К. Высота плоского канала $H = 100$ мм и щели $S = 10$ мм, скорость основного потока воздуха $U_1 = 10$ и 20 м/с, а вторичного потока воздуха – $U_2 = 5\text{--}80$ м/с, параметр вдува изменялся в широком диапазоне $m = 0,32\text{--}5,1$. Число Рейнольдса, построенное по эквивалентному гидравлическому диаметру канала и параметрам основного потока (1).

$$Re = 2U_1H/v_1 = (1,3 \text{ и } 2,6) \times 10^5 \quad (1)$$

На первом этапе были проведены сопоставления с зависимостью [1] по длине начального участка x_0 . Начальный участок – это область, где тепловая эффективность пристенной завесы равна 1 (2), где T_1 , T_w и T_2 – температуры основного течения, адиабатной стенки и вдуваемого потока соответственно. Длина начального (3) участка для параметра вдува $m = \rho_2 U_2 / \rho_1 U_1 \leq 1$, рассчитанная по данной математической модели была сопоставлена с полуэмпирической зависимостью, приведенной в [1].

$$\eta = (T_1 - T_w) / (T_1 - T_2) = 1 \quad (2)$$

$$\Delta x = \frac{x_0}{s} = 28m^{1,25} \quad (3)$$

Отметим, что для $m = 0,32$ длина начального участка $\Delta x = 15$ заметно больше (в 2 раза), чем расчет по формуле (1) $\Delta x = 6,7$. Опытные линии $m = 0,64$ и $m = 1$ с достаточной точностью (до 10%) коррелируются с зависимостью (3).

Результаты расчетов тепловой эффективности представлены на рис. 2 и рис. 3. Увеличение параметра вдува приводит к заменому росту величины тепловой эффективности завесного охлаждения, например, $\eta = 0,05$ при $m = 0,32$ и $\eta = 0,7$ для $m = 2,55$. Стоит отметить, что уменьшение тепловой эффективности резко усиливается при $x/s > 40$, что согласуется с выводами [1]. Существует область оптимальных величин параметра вдува, при котором тепловая эффективность имеет максимальное значение $m = 1,27\text{--}2,55$, далее наблюдается ее снижение.

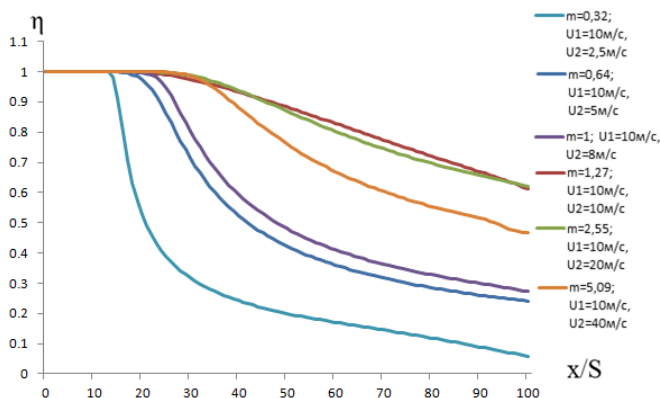


Рис.2 – Изменение тепловой эффективности пристенной газовой завесы по длине поверхности. $T_1 = 373K, T_2 = 293K, Re = 1,3 \cdot 10^5$

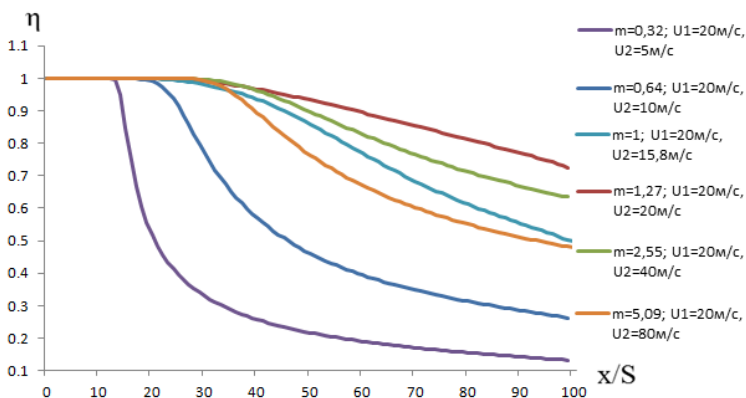


Рис.3 - Изменение тепловой эффективности пристенной газовой завесы по длине поверхности. $T_1 = 373K, T_2 = 293K, Re = 2,6 \cdot 10^5$

Заключение. Выполнено моделирование влияния основных термогазодинамических характеристик пристенной газовой струи на величину тепловой эффективности в плоском канале. Эффективность тепловой

защиты падает по длине поверхности. Притом, чем меньше параметр вдува (скорость вторичного течения), тем меньше тепловая эффективность. Существует область оптимальных величин параметра вдува, при котором тепловая эффективность имеет максимальное значение $m = 1,27-2,55$, далее наблюдается ее снижение при росте параметра вдува.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ 18-08-00386).

Литература:

1. Волчков Э.П. Пристенные газовые завесы. Новосибирск: Издательство «Наука», 1983. – С. 22-23.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ХОЛОДА

В.И. Прокушева, И.В. Хромова
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, xromova@corp.nstu.ru

В настоящей работе рассматриваются проблемы обеспечения тепловых процессов системы «человек – тепловая защита – окружающая среда». В работе представлен способ моделирования процессов теплообмена в системе термостабилизации человека (СТС). Описываются механизмы работы СТС, направленные на обеспечение теплового комфорта организма, и механизмы регулирования мощности внутренних тепловыделений. Проводятся модельные исследования влияния термического сопротивления защитной одежды, свойств окружающей среды и индивидуальных параметров организма на тепловое состояние человека. Выявлено, что при очень низких температурах окружающей среды использование материалов с большим термическим сопротивлением нецелесообразно. Так же малоэффективна в этих условиях интенсивная физическая нагрузка. При умеренно низких температурах повышение термического сопротивления защитных материалов до 40% и увеличение мощности внутренних тепловыделений более 100 Вт снижает общие теплотери организма и повышает температуру ядра. На основании анализа распределения температур и тепловых потоков в различных частях тела определяются места расположения и термическое сопротивление утепляющих элементов в конструкции одежды (термобелье и ветрозащитный костюм). Исследование влияния индивидуальных параметров организма при охлаждении позволяет подобрать со-

ответствующий теплозащитный костюм для конкретного человека, учитывая особенности его строения. Результаты исследования могут быть полезны специалистам при создании термобелья для космонавтов на орбите, специализированных костюмов пожарных, высотно-компенсирующих костюмов летчиков, а так же при совершенствовании элементов систем термостабилизации скафандров.

This article deals with the problems of thermal processes modeling, which occur in the elements of the system «human - thermal protection - environment» The simulation method of heat transfer processes in the human thermoregulatory system (HTS) is presented. Mechanisms of HTS aimed to support thermal comfort of the human organism and mechanisms of regulation the power of internal heat sources described. The work carried out the modeling researches of influence thermal resistance of the protective clothing, properties of the environment and individual parameters of the human organism on the human thermal state. To use the materials with a larger thermal resistance is ineffective at very low environment temperatures. The intensive exercise stress is also inexpedient in these conditions. At moderately low temperatures it is efficient to increase thermal resistance for 40% and to increase an exercise stress by 100 W. We define the locations and thermal resistance of the warming elements in a clothes design (a layered clothing and a wind-shelter suit) on the basis of the analysis of temperatures distribution and heat fluxes in various parts of a body. The accounting of individual parameters of an organism in calculations allows to choose a heat-shielding suit for each person taking into account his features. Ultimately, this study will contribute to the specialists in the development of thermal underwear for the astronauts, specialized firefighter suits, high-altitude compensating suits for pilots, permanent wear suits for astronauts, as well as for improving the elements of space-suit stabilization systems.

Исследование влияния охлаждения на организм человека и разработка средств защиты являются одними из актуальных задач систем жизнеобеспечения. Создание защитной одежды является сложной научной и практической задачей, так как одежда должна удовлетворять комплексу требований, часто не совместимых друг с другом. Так, например, в одежде должны сочетаться малая масса и высокие теплозащитные свойства, малая воздухопроницаемость и достаточная влагопроницаемость, необходимая для влагообмена человека с окружающей средой. Одежда должна защищать от внешней влаги и не препятствовать ее удалению с поверхности тела, также она должна защищать от охлаждения в состоянии покоя и перегрева во время физической работы. Ткань для костюмов постоянного ношения космонавтов должна быть легкой, эластичной, обладать достаточной прочностью для длительного пользования и крепления на ней датчиков для снятия биотелеметрической ин-

формации. Стирка и различные виды стерилизации не должны изменять структуру ткани.

Цель настоящей работы – это исследование эффективности средств индивидуальной защиты от холода в зависимости от их теплового сопротивления, индивидуальных особенностей организма человека и физической нагрузки в широком диапазоне параметров окружающей среды (вода/воздух, температура и скорость движения).

На процесс охлаждения оказывают влияние многие параметры – условия окружающей среды: водная или воздушная среда, ее температура и скорость движения; физиологические особенности организма: пол, возраст, процентное содержание жира, внутренние тепловыделения организма; свойства защитной одежды: тепловое сопротивление и воздухопроницаемость. При создании средств индивидуальной защиты необходимо обеспечить соответствующее тепловое сопротивление при минимальных затратах и массе. С этой целью важно провести исследование эффективности защитной одежды, изготовленной из материалов с разными величинами теплового сопротивления при различных условиях окружающей среды.

В работе исследуется эффективность индивидуальных средств защиты в условиях низких температур в зависимости от теплофизических свойств тканей, состояния организма и параметров окружающей среды. Выявлено, что при очень низких температурах окружающей среды использование материалов с большим тепловым сопротивлением нецелесообразно, так как эти материалы при таких условиях не намного эффективнее, чем материалы с низким тепловым сопротивлением. При умеренно низких температурах окружающей среды увеличение теплового сопротивления защитной одежды до 3 *clo* (1 *clo* = 0,155 м² °C/Вт) значительно увеличивает время нахождения на холоде.

Исследование влияния индивидуальных параметров организма при охлаждении позволяет подобрать соответствующий теплозащитный костюм для конкретного человека, учитывая особенности его строения. Костюм должен сидеть как вторая кожа, подтягивая и утягивая, но не мешая передвижению и не причиняя дискомфорта. Подтверждено, что при очень низких температурах окружающей среды интенсивная физическая нагрузка малоэффективна, а при умеренно низких температурах эффективно теплообразование более 100 Вт.

Исследование влияния на процесс охлаждения скорости движения окружающей среды показало, что при ее увеличении от 0 до 2 м/с предельное время охлаждения падает в два раза, далее незначительно

уменьшается. Применение защитной одежды смягчает негативное влияние движения среды.

На основании анализа распределения температур и тепловых потоков в различных частях тела определяются места расположения и термическое сопротивление утепляющих элементов в конструкции одежды (термобелье и ветрозащитный костюм). Результаты исследования могут быть полезны специалистам при создании термобелья для космонавтов на орбите, высотно-компенсирующих костюмов летчиков, а так же при совершенствовании элементов систем термостабилизации скафандров.

Литература

1. Курмазенко Э.А. Конструирование тепломассообменных аппаратов систем жизнеобеспечения : Учеб. пособие / Э. А. Курмазенко; Моск. авиац. ин-т им. Серго Орджоникидзе М. : Изд-во МАИ, 1991.
2. Пичулин В.С. Математическое моделирование и проектирование индивидуальных систем жизнеобеспечения экипажей космических аппаратов : Учеб. пособие. – М.: МАИ, 2001. – 88 с.
3. Чичиндаев А. В. Теплообмен в системе «человек – окружающая среда» в условиях низких температур : монография / А. В. Чичиндаев, И. В. Хромова. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. - 214 с - (Монографии НГТУ). - 3000 экз. - ISBN 978-5-7782-3492-5.
4. Ю. В. Дьяченко, В.А. Спарин, А.В. Чичиндаев. Системы жизнеобеспечения летательных аппаратов. Серия «Учебник НГТУ». Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 512 с.
5. I.V. Khromova, Heat Exchange in “Human body - Thermal protection – Environment System,” Journal of Physics: Conference Series, 2017. doi:10.1088/1742-6596/891/1/012084.
6. I.V. Khromova, A.V. Chichindaev Heat Exchange Processes Modeling in “Human body - Thermal protection - Environment” System / I.V. Khromova, A.V. Chichindaev // Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). Series:Advances in Engineering Research. - 2018. – P. 181-185, – ISBN 978-94-6252-560-3 – ISSN 2352-5401 - DOI: 10.2991/avent-18.2018.35.
7. Березовский В.А. Колотилов Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник. – Киев.: Наук. думка, 1990. – 224 с.
8. Основы космической биологии и медицины. Том I. Космическое пространство как среда обитания. М.: Наука, 1975. - 450 с.

9. Основы космической биологии и медицины. Том II. Книга первая. Экологические и физиологические основы космической биологии и медицины. М.: Наука, 1975. - 422 с.

10. Хромова И. В. Моделирование процессов теплообмена [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс / И. В. Хромова; Новосибир. гос. техн. ун-т. – Новосибирск : Из-во НГТУ, 2017. – № ОФЭР-НИО 22823. - Режим доступа: <http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/6285>. - Загл. с экрана

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ МАЛОРАЗМЕРНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

М.К. Сазанов, В.И. Сабельников
Новосибирский государственный технический университет
Сибирский научно-исследовательский
институт авиации им. С.А.
г. Новосибирск, m.k.sazanov@mail.ru

В работе приведены результаты проектирования блока управления и защиты для малоразмерных сервоприводов малой мощности и обоснована необходимость разработки данного агрегата. Проведено сравнение между существующей моделью блока управления и защиты и новым устройством.

The report describes the results of design of control and protection unit for small-size small-power servomotor and justify the necessity of development this aggregate. Also the report compares exist control and protection unit and new device.

Для нагружения летательных аппаратов при проведении прочностных испытаний используются силовые гидроцилиндры – сервоприводы. Для управления сервоприводами и их защиты в случае аварии применяются блоки управления и защиты – БУиЗы. Гидравлическая схема такого блока показана на рис 1. Данная схема обладает высокой надёжностью и имеет возможность «заморозки».

Однако такой БУиЗ плохо подходит для использования на малоразмерных сервоприводах малой мощности по ряду причин:

1) Из-за высокой массы БУиЗ, прикрепленный к сервоприводу, под действием своего веса создаёт дополнительный момент сил, действующий на сервопривод. Этот момент может привести к неправиль-

ному пространственному положению сервопривода и неверным результатам испытаний;

- 2) Большие габариты делают невозможным использование сервопривода в ограниченных пространствах;
- 3) Расход жидкости существующего БУиЗа во много раз больше, чем расход, требуемый сервоприводу малой мощности;
- 4) Суммарные утечки с агрегатов БУиЗа будут оказывать большое влияние на работу малоразмерного сервопривода

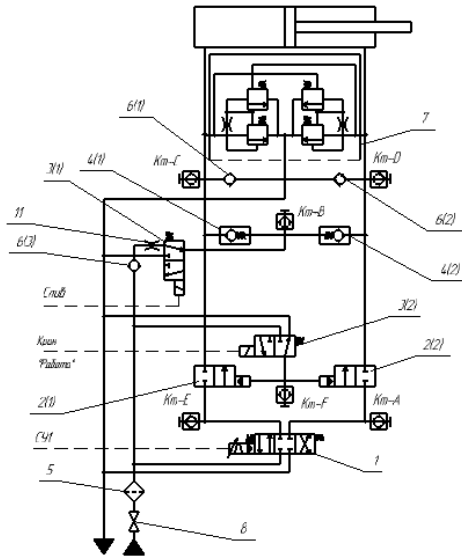


Рис.1 – Гидросхема существующего БУиЗа: 1 – распределитель; 2(1),2(2) – отсечные клапаны; 3(1) – клапан слива; 3(2) – клапан включения подачи; 4(1),4(2) – обратные клапаны слива; 5 – фильтр; 6(1),6(2) – обратные антикавитационные клапаны; 6(3) – обратный клапан запора давления; 7 – клапан ограничения нагрузки; 8 – кран подачи сетевого давления; Км-А, Км-В, Км-С, Км-Д, Кв-Е, Км-Ф – быстро разъёмные соединения для измерения давлений.

Сервоприводы малой мощности – это сервоприводы с усилием на штоке от 50 до 500 кг. Они используются при испытаниях рулевого управления и проводки управления, рулевых поверхностей и в целом для испытаний сверхлёгких ЛА.

Поэтому для сервоприводов малой мощности было принято решение разработать другой БУиЗ с меньшими массой, габаритами и расходом.

В качестве гидравлической схемы для нового блока была выбрана схема, показанная на рис. 2 так как она обладает максимальной простотой и компактностью. Внешний вид малого БУиЗа представлен на рис.3

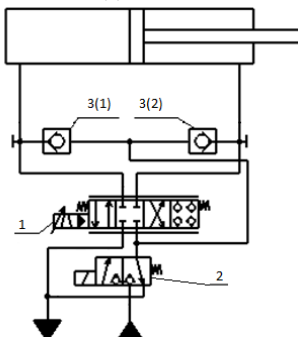


Рис. 2 – Гидросхема малого БУиЗа: 1 – распределитель; 2 – клапан подачи давления; 3(1), 3(2) – обратные клапаны слива

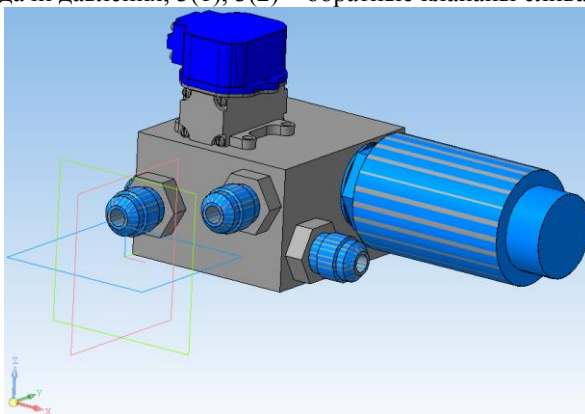


Рис. 3 – Внешний вид малого БУиЗа

Литература

1. Авиационное гидравлическое оборудование: учебное пособие / А.С. Захаров, В.И. Сабельников. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 391 с.
2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Башта Т.С., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. – Москва: Машиностроение, 1982. – 423 с.
3. Руководство по проверке сервоприводов / А.С. Малышев. – Новосибирск, 2015. – 39 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ЯДРОМ И ОБОЛОЧКОЙ В СИСТЕМЕ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ ЧЕЛОВЕКА

С.В. Сайбель, И.В. Хромова

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, xromova@corp.nstu.ru**

В работе представлена методика расчета тепловых процессов в системе «человек – тепловая защита – окружающая среда» в условиях низких температур с учетом внутренних источников и переноса тепла между расчетными элементами и слоями. Представлена методика расчета процессов комбинированного теплообмена, которая позволяет получить локальные теплофизические параметры системы «человек – тепловая защита – окружающая среда» с учетом пассивной и активной тепловой защиты, а так же теплофизических и геометрических свойств расчетных элементов в широком диапазоне параметров окружающей среды. Описана схема совместной работы кровеносной системы и системы термостабилизации человека, которая позволяет рассчитывать массовый расход теплоносителя (крови) на расчетные элементы. Исследовано влияние переноса тепла с током теплоносителя между расчетными элементами и слоями на тепловые процессы в системе «человек – тепловая защита – окружающая среда» в условиях Земли и МКС. Анализ получаемых результатов позволяет качественно и количественно оценить влияние перераспределения теплоносителя между «ядром» и «оболочкой» системы терморегуляции человека. Результаты исследования могут быть полезны специалистам при проектировании термобелья для инвалидов, специализированных костюмов пожарных, высотно-компенсирующих костюмов летчиков, костюмов постоянного ношения для космонавтов, а так же при совершенствовании элементов систем термостабилизации скафандров.

This article examines the issues of simulation and calculating thermal processes in the "Human body -Thermal protection -Environment" system at low temperatures, taking into account internal sources and heat transfer between the calculated elements and layers. The review of the article describes the method of calculating the processes of combined heat exchange, which allows you to get local, not exceeding the selected level, thermal parameters of the system "Human body-Thermal protection - Environment" while taking into account passive and active protection, as well as thermal physical and geometric features in the calculated elements in a large range of environmental parameters that surrounds us. It provides easy to calculate the mass flow rate of the coolant (blood) on the calculated elements. The heat transferred with the coolant current between the elements of the calculation and the layers to the thermal processes in the "Human Body - Environment" system has been developed and investigated in Earth and International Space Station conditions. Ultimately, this study will contribute to the specialists in the development of thermal underwear for the disabled, specialized firefighter suits, high-altitude compensating suits for pilots, permanent wear suits for astronauts, as well as for improving the elements of space-suit stabilization systems.

Методы математического моделирования живых систем существуют наравне с методами экспериментальной физиологии и дополняют их. Преимущество моделирования в том, что можно теоретически решать задачи, недоступные методам экспериментальной физиологии. Применение компьютерных моделей позволяет учитывать большое количество факторов и устанавливать рамки проводимых экспериментов. Необходимость модельных исследований вытекает также из ряда прикладных задач, связанных с прогнозом теплового состояния человека при действии экстремальных факторов, оценки температурного режима, поиска информативного температурного показателя и т.д. Данная задача имеет большое прикладное значение в области разработки и оптимизации элементов систем жизнеобеспечения, направленных на обеспечение теплового комфорта для человека в рамках системы «человек – тепловая защита – окружающая среда» и разработку средств защиты. При этом наиболее сложным моментом является описание процессов переноса тепла теплоносителем (гемодинамический механизм системы терморегуляции). Часто в моделях системы терморегуляции это либо не учитывается, либо отражается при помощи эмпирических коэффициентов. Для решения этой проблемы в данной работе представлена разработанная принципиальная теплогидравлическая схема совместной работы кровеносной системы и системы термостабилизации человека.

Для моделирования работы системы термостабилизации человека применяется относительное деление объекта на «оболочку» – покров-

ные ткани тела и «ядро» – внутренние органы и мышцы. Это многослойная многоэлементная модель, в которой каждая часть тела представлена расчетным элементом с соответствующим количеством и видом слоев.

Кровеносная система работает совместно с системой терморегуляции (СТР) и осуществляет перенос тепла от внутренних органов к поверхности тела (рис. 1). Для расчета процесса охлаждения используется система нестационарных одномерных дифференциальных уравнений теплопроводности для каждого расчетного элемента (многослойной цилиндрической стенки) с учетом тепловых процессов, которые происходят в каждом из его слоев. Граничные условия описывают температуры и тепловые потоки на стыке слоев и заданные параметры окружающей среды. В качестве начальных условий принимается нормальная температура ядра (36,7 °С). Перенос тепла теплоносителем по длине слоя напрямую зависит от свойств и количества поступившего в слой теплоносителя при заданных условиях.

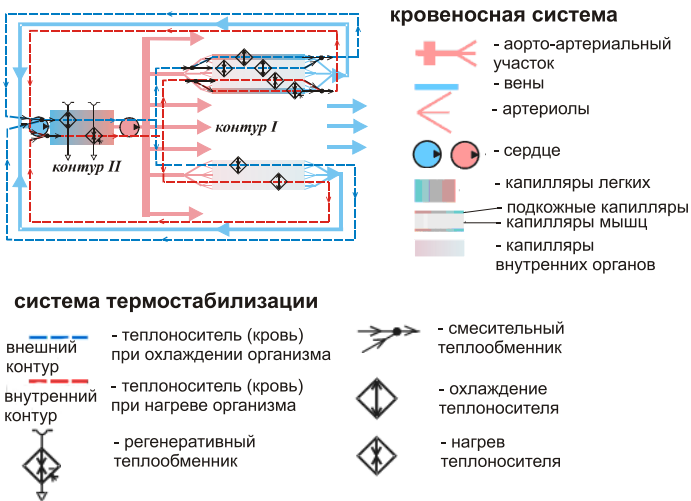


Рис. 1. Условная тепло- гидравлическая схема работы системы терморегуляции человека

В расчетных элементах в зависимости от параметров внешней среды производится нагрев либо охлаждение теплоносителя. Вторая группа

тепловых процессов происходит в результате смешения теплоносителей разной температуры на выходе из расчетных элементов. Таким образом, важной особенностью СТР является наличие нескольких типов расчетных элементов, связанных между собой сложной последовательно-параллельной гидравлической системой, обладающей переменными теплогидравлическими свойствами.

В настоящей работе выполнено модельное исследование влияния переноса тепла между расчетными элементами и слоями на тепловые процессы в системе «человек – тепловая защита – окружающая среда» в условиях Земли и МКС.

Анализ получаемых результатов позволяет качественно и количественно оценить влияние перераспределения теплоносителя между «ядром» и «оболочкой» системы терморегуляции человека, а так же оптимизировать элементы индивидуальных средств защиты от воздействия неблагоприятных температурных условий, путем внедрения дополнительных элементов в конструкцию одежды. Результаты исследования могут быть полезны специалистам при проектировании термобелья для инвалидов, специализированных костюмов пожарных, высотно-компенсирующих костюмов летчиков, костюмов постоянного ношения для космонавтов, а так же при совершенствовании элементов систем термостабилизации скафандров.

Литература

1. Курмазенко Э.А. Конструирование тепломассообменных аппаратов систем жизнеобеспечения : Учеб. пособие / Э. А. Курмазенко; Моск. авиац. ин-т им. Серго Орджоникидзе М. : Изд-во МАИ, 1991.
2. Пичулин В.С. Математическое моделирование и проектирование индивидуальных систем жизнеобеспечения экипажей космических аппаратов : Учеб. пособие. – М.: МАИ, 2001. – 88 с.
3. Чичиндаев А. В. Теплообмен в системе «человек – окружающая среда» в условиях низких температур : монография / А. В. Чичиндаев, И. В. Хромова. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. - 214 с - (Монографии НГТУ). - 3000 экз. - ISBN 978-5-7782-3492-5.
4. I.V. Khromova, Heat Exchange in “Human body - Thermal protection – Environment System,” Journal of Physics: Conference Series, 2017. doi:10.1088/1742-6596/891/1/012084.
5. Березовский В.А. Колотилев Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека. Справочник. – Киев.: Наук. думка, 1990. – 224 с.

6. Основы космической биологии и медицины. Том I. Космическое пространство как среда обитания. М.: Наука, 1975. - 450 с.

7. Основы космической биологии и медицины. Том II. Книга первая. Экологические и физиологические основы космической биологии и медицины. М.: Наука, 1975. - 422 с.

8. Хромова И. В. Моделирование процессов теплообмена [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс / И. В. Хромова; Новосибир. гос. техн. ун-т. – Новосибирск : Из-во НГТУ, 2017. – № ОФЭРНИО 22823. - Режим доступа:

<http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/6285>. - Загл. с экрана

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛООБМЕННИКА-КОНДЕНСАТОРА

Д.Е. Сиденко

Сибирский научно-исследовательский институт авиации

им. С.А. Чаплыгина,

г. Новосибирск, silen-den@mail.ru

В работе рассмотрены основные сложности, возникающие при проектировании и эксплуатации современных теплообменных аппаратов. Рассмотрены причины возникновения обмерзания теплообменника-конденсатора и способы предотвращения этого в системах кондиционирования воздуха отечественных и зарубежных самолетов.

A heat exchanger is a device that is used for transferring of thermal energy (enthalpy) between two or more fluids, between a solid surface and a fluid, or between solid particles and a fluid, at differing temperatures and in thermal contact, usually without external heat and work interactions.

The paper considers the main difficulties in the design and operation of modern heat exchangers are noted. The reasons for the heat exchanger-condenser frosting and the ways to prevent this in air conditioning systems of domestic and foreign aircraft are considered.

Теплообменник-конденсаторы являются одной из разновидностей ПТО и широко используются в системах кондиционирования воздуха (СКВ) отечественных и зарубежных летательных аппаратов. Так например, на самолетах Ту-204, Airbus A- 310, Boeing-767 установлены СКВ нового поколения. Особенностью данных СКВ является отделение

влаги в линии высокого давления и обязательная установка теплообменника-конденсатора, предназначенного для конденсации влаги из влажного воздуха высокого давления путём охлаждения воздухом низкого давления с рабочей отрицательной температурой, выбрасываемым из турбохолодильника. Подобные условия работы приводят к обмерзанию конденсатора[1,2].

Существуют различные схемные решения для борьбы с обмерзанием. Так например на самолете *Airbus A- 310* реализована принудительная подача воздуха с заведомо положительной температурой на холодный фронт конденсатора[2]. В результате чего разрушение и плавление льда начинается до того, как температура пластин конденсатора поднимется выше нуля градусов. Принципиальная схема данного решения приведена на рис. 1.

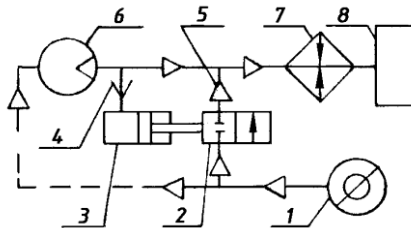


Рис. 1– Противообледенительная система конденсатора *Airbus A- 310*

1 – отбор ВВД от двигателя; 2 – запорный клапан; 3 – цилиндр пневматического управления; 4 – сигнальная линия давления; 5 – противообледенительная линия подмеса горячего воздуха; 6 – турбохолодильник; 7 – конденсатор; 8 – гермокабина

На рис. 2 показан еще один вариант предотвращения обмерзания конденсатора (конденсатор Андерсона патент США № 1246963) [2].

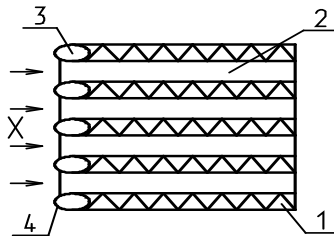


Рис. 2– Противообледенительная система конденсатора
Андерсона

1 – горячий пакет; 2 – холодный пакет; 3 – подогревающая трубка – «тепловой нож»; 4 –скругление трубки

В данном случае предлагается в процессе работы обогревать воздухом с заведомо положительной температурой непосредственно входные кромки пластин по холодному тракту.

На рис. 3 приведена схема противообледенительной системы конденсатора, установленного в СКВ самолета *Boeing-767* [2].

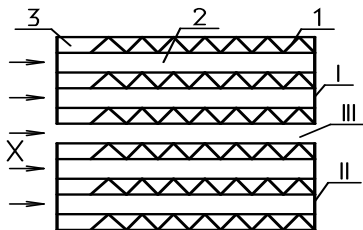


Рис. 3– Противообледенительная система конденсатора в СКВ Боинг-757

I, II – верхняя и нижняя теплообменные секции; III – встроенный обводной канал;
1 – горячий пакет; 2 – холодный пакет; 3 – каналы для подогрева входных кромок

В данной схеме для решения проблемы было предложено разделить теплообменную секцию на две части: верхнюю и нижнюю, а между ними создать встроенный в конденсатор обводной канал. Кроме снижения

температуры, это привело к созданию «самооттаивающейся» конструкции конденсатора.

Общим недостатком описанных противообледенительных систем служит то, что все они борются лишь с последствиями обмерзания, практически не затрагивая причин его возникновения. Главной из них является специфическое распределение полей температуры теплообменной поверхности. При этом проектирование по существующим интегральным методикам не позволяет учесть процессы тепломассообмена в теплоносителях, и в итоге фактические параметры теплоносителей резко отличаются от расчётных.

Одним из способов решения данной проблемы может быть дополнение интегральных методик проектирования ПТО специализированными дифференциальными проверочными методами расчёта. Основой такого расчёта должен стать поиск распределения температур в теплообменнике для конкретных условий и режимов работы. Знание полей температур при этом позволяет осуществить любую оптимизацию теплообменного аппарата под заданные эксплуатационные ограничения.

Литература:

1. Чичиндаев А. В. Исследование влияния переменного отношения термических сопротивлений на поля температур в теплообменнике-конденсаторе СКВ / А. В. Чичиндаев // Энергетика и теплотехника : сб. науч. трудов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – Вып. 19. – С. 181-187. - 150 экз. - ISBN 978-5-7782-2660-9.
2. Чичиндаев А. В. Тепломассообмен влажного воздуха в компактных пластинчато-ребристых теплообменниках : монография / А. В. Чичиндаев. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2012. - 297 с. - (Монографии 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. 173-178.
4. Чичиндаев А. В. Оптимизация параметров первичного теплообменника авиационной СКВ / А. В. Чичиндаев // Авиакосмическое приборостроение. – 2009. – № 4. – С. 41–46
5. Ю. В. Дьяченко, Чичиндаев А. В. Особенности работы авиационных систем кондиционирования на влажном воздухе Изд-во НГТУ, 2002. – 83 с

6. Ю. В. Дьяченко, В.А. Спарин, А.В. Чичиндаев. Системы жизнеобеспечения летательных аппаратов. Изд-во НГТУ, 2003. – 512 с

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРИОГЕННЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

**С.Е. Шенин, Е.Д. Струцев,
Г.П. Нечаев, А.В. Чичиндаев**
**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ttf_nstu@rambler.ru**

В настоящее время одной из актуальных задач в области электроэнергетики является 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. Данный прием позволяет уменьшить потери за счет резкого снижения электрического сопротивления. В настоящее время появились соответствующие материалы, которые позволят получать условия сверхпроводимости при температуре жидкого азота, что существенно проще и дешевле, чем при работе на жидком гелии. Данное направление востребовано в мировой науке. Исследования в данной области позволяют создать инновационный продукт нового поколения в области электротехники и теплотехники. В настоящей работе выполнен первичный обзор и сравнительный анализ известных систем охлаждения на основе криогенных теплоносителей. Отдельный поиск направлен на сбор справочной информации о теплофизических свойствах криогенных теплоносителей: жидкого азота, кислорода, гелия, а также конструкционных материалах, применяемых при данных условиях. Работа выполняется в рамках межфакультетского проекта «Исследование тепловых процессов в системе охлаждения трансформаторов электрического напряжения» и будет полезна для студентов факультета электроэнергетики и факультета летательных аппаратов.

Currently, one of the urgent tasks in the field of electric power industry is to save electrical energy losses in transformer installations, which account for up to 50% of losses. One of the ways to solve this problem is to switch to windings operating in the high-temperature superconductivity mode. This technique allows to reduce losses due to a sharp decrease in electrical resistance. At present, the corresponding materials have appeared that will make it possible to obtain superconductivity conditions at the temperature of liquid nitrogen, which is much simpler and cheaper than when operating on liquid helium. This direction is in demand in world science. Research in this

area makes it possible to create an innovative product of a new generation in the field of electrical engineering and heat engineering. In this work primary review and the comparative analysis of the known cooling systems on the basis of cryogenic heat carriers is made. Separate searching is directed to collecting reference information about thermal properties of cryogenic heat carriers: fluid nitrogen, oxygen, helium and also the constructional materials applied under existing conditions. The work is carried out within the framework of the project training on the inter-departmental project "Research of the thermal processes in the cooling system of electrical voltage transformers" and will be useful for students of the Faculty of Electric Power Engineering and the Faculty of Aircraft.

В настоящее время одной из актуальных задач в области электроэнергетики является 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. Данный прием позволяет уменьшить потери за счет резкого снижения электрического сопротивления. В настоящее время появились соответствующие материалы, которые позволят получать условия сверхпроводимости при температуре жидкого азота, что существенно проще и дешевле, чем при работе на жидком гелии. Данное направление востребовано в мировой науке. Исследования в данной области позволяют создать инновационный продукт нового поколения в области электротехники и теплотехники.

В настоящей работе выполнен первичный обзор и сравнительный анализ известных систем охлаждения на основе криогенных теплоносителей. Наиболее известны и имеют широкое распространение криогенные системы на жидком гелии и жидком азоте. Изначально они применялись совместно. Первые сверхпроводники были получены для гелиевых температур, а системы на жидком азоте были промежуточной ступенью для получения сверхнизких температур. Наибольшую известность и высокий технологический уровень был достигнут при создании коллайдеров, источников синхротронного излучения и других подобных объектов.

В работе выполнено описание устройства, принципа действия, технических параметров известных систем охлаждения. Особое внимание при этом уделялось вопросам технологической простоты и экономической эффективности. Так как в перспективе необходимо выполнить проработку системы охлаждения массового применения для широкой линейки типов трансформаторов. При этом необходимо также обращать

внимание на такие вопросы как удобство эксплуатации, высокий уровень автоматизации и безопасности.

Отдельный поиск был направлен на сбор справочной информации о теплофизических свойствах криогенных теплоносителей: жидкого азота, кислорода, гелия, а также конструкционных материалах, применяемых при данных условиях. Полученные данные позволят разработать в перспективе методику для количественной оценки эффективности различных систем охлаждения.

В заключении работы рассмотрена простейшая схема лабораторной экспериментальной установки трансформатора с применением системы охлаждения на жидком азоте. Установка разработана на кафедре Систем электроснабжения предприятий НГТУ под руководством профессора Манусова В.З. В последующем предполагается выполнить расчет эффективности использованной схемы системы охлаждения, а также предложить меры для ее дальнейшего усовершенствования.

Работа выполняется в рамках проектного обучения по межфакультетскому проекту «Исследование тепловых процессов в системе охлаждения трансформаторов электрического напряжения» и будет полезна для студентов ФЭН и ФЛА.

Литература

7. Чичиндаев А. В. Тепломассообмен влажного воздуха в компактных пластинчато-ребристых теплообменниках : монография / А. В. Чичиндаев. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2012. - 297 с. - (Монографии НГТУ).
8. 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»).
9. Вентура Г. Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях : учебник / Г. Вентура, Л. Ризегари. - Долгопрудный, 2011.
10. Курьлев Е. С. Холодильные установки : учебник для вузов по специальности "Техника и физика низких температур" и "Холодильная, криогенная техника и кондиционирование" / Е. С. Курьлев, В. В. Оносовский, Ю. Д. Румянцев. - СПб., 2004 (2002). - 575, [1] с. : ил.
11. Фастовский В. Г. Криогенная техника / Е. Г. Фастовский, Ю. В. Петровский, А. Е. Ровинский ; под ред. В. Г. Фастовского. - М., 1974. - 495 с. : ил.

12. Герш С. Я. Глубокое охлаждение. Ч. II : учебник для машино-
строительных и теплотехнических специальностей вузов / С. Я. Герш. -
М ;, 1960. - 495 с.

Секция КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ
И БОЕПРИПАСОВ

**РАЗРАБОТКА ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ
ОКСИДА ЦИРКОНИЯ С ГРАДИЕНТНЫМ ПОДСЛОЕМ.**

И.С. Батраев, М.А. Есиков, А.Ю. Ларичкин
Институт Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН
Новосибирский государственный технический университет2,
г. Новосибирск, ibatraev@gmail.com

Методом детонационного напыления получены двухслойные покрытия NiCrAlY/YSZ с градиентным подслоем между ними, состоящем из чередующихся слоев NiCrAlY и YSZ переменной толщины и без него. Проведен испытательный отжиг полученных образцов в течение 50 часов при температуре 1000°С в воздушной среде.

In the present work we were obtained the two-layer coatings NiCrAlY / YSZ with a gradient sublayer between them, consisting of alternating layers of NiCrAlY and YSZ of variable thickness and without it by detonation spraying method. The coatings were annealed for 50 hours at a temperature of 1000 ° C in air.

В настоящее время для получения теплозащитных покрытий (ТЗП) в основном используют методы плазменного напыления и вакуумное осаждение [1]. Одним из способов улучшения ТЗП является развитие этих методов. Альтернативой является применение новых методов напыления, например, детонационного напыления, который способен решить ряд технологических трудностей, таких как отсутствие перегрева обрабатываемой детали, в следствие импульсного характера напыления, а за счет применения двух дозаторов соединить две технологические операции: нанесение адгезивного подслоя из MeCrAlY и формирование основного теплозащитного покрытия из YSZ, в одну, тем самым снижая время на подготовительные операции и упрощая в целом технологию напыления ТЗП. Компьютерное управление детонационным комплексом позволяет достаточно узко варьировать параметры напыления, что является не мало важным фактором при напылении ответственных деталей [2]. Ранее показано, что теплозащитное керамическое покрытие, нанесенное методом детонационного напыления, имеет теплопроводность, близкую к теплопроводности покрытия, полученного плазменным напылением [3].

Детонационное напыление покрытий из порошков основано на использовании энергии взрыва топливно-кислородной смеси и известно, как перспективный способ получения низкопористых покрытий из различных материалов с хорошей адгезией [4,5]. Продукты детонации нагревают и ускоряют частицы порошка, которые достигают подложки в твердом, частично расплавленном или полностью расплавленном состоянии. Для более гибкого изменения параметров напыления в ИГиЛ СО РАН был разработан детонационный комплекс с компьютерным управлением CCDS2000 (Computer-Controlled Detonation Spraying) [5], имеющий прецизионную систему газопитания, основанную на электромагнитных клапанах со временами срабатывания 2-4 мс, что позволяет реализовать повторяемость режимов напыления не хуже 95%.

Для напыления использовали коммерческие порошки марок ПВ-НХ16Ю6ИТ (АО «Полема», г. Тула) и YSZ (ООО «Юмэкс», г. Уфа), микрофотографии которых представлены на рис. 1.

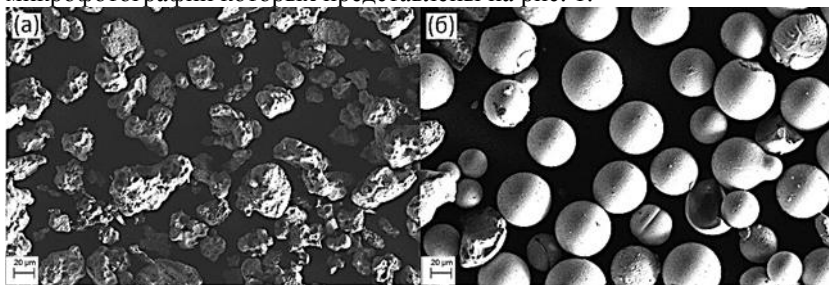


Рис. 1. – Микрофотографии порошков: а) ПВ-НХ16Ю6ИТ; б) YSZ.

Около оптимальный режим напыления для порошкового материала предварительно рассчитывают с помощью программного кода LII, разработанного в ИГиЛ СО РАН. По результатам расчетов для напыления частиц YSZ, был выбран ствол диаметром 20 мм, длиной 1100 мм, а взрывчатая смесь имела состав $C_2H_2+2,5O_2$. Данные параметры обеспечивали, прогрев частиц YSZ до температуры плавления, а скорость частиц находилась в диапазоне от 370 до 570 м/с.

Экспериментальным путем было выявлено, что для качественного покрытия (без видимой эрозии и других дефектов) из порошка YSZ необходимо не менее 80% заполнения ствола ВС. Для адгезивного подслоя из порошка ПВ-НХ16Ю6ИТ было достаточно 40% заполнения ВС состава $C_2H_2+1,05O_2$.

Процесс напыления выполняли с использованием комплекса CCDS2000 в сочетании со специализированным 3-х координатным манипулятором. Для формирования ТЗП с послойной (вариант А) и послойноградиентной (вариант Б) укладкой, схема формирования систем показана на рис. 3, использовали 2 порошковых дозатора установленных на стволе детонационного комплекса. С помощью технологической программы «Universal» с загруженными циклограммами оптимальных режимов для нанесения адгезивного подслоя и основного слоя были получены образцы покрытий толщиной порядка 300 мкм.

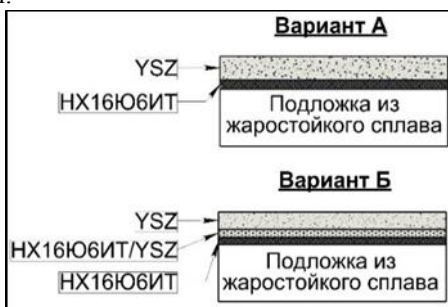


Рис. 3. – Схема формирования ТЗП покрытий

После напыления полученные образцы с покрытиями подвергали отжигу в печах в естественной воздушной среде. Время выдержки составляло 50 часов при температуре 10000 С.

При помощи аналитического оборудования для пробоподготовки, были подготовлены шлифы поперечных срезов образцов для микроструктурного анализа. Микрофотографии полированных образцов представлены на рис. 4.

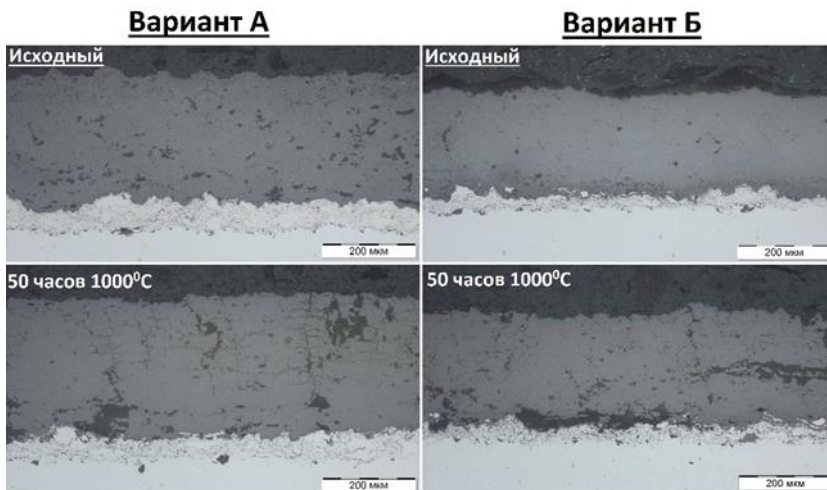


Рис. 4. – Микрофотографии поперечных шлифов образцов

Микроструктуру полученных шлифов покрытий изучали с использованием металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51. Пористость покрытия определяли по микрофотографиям, с использованием специализированного программного обеспечения Olympus analysis Stream Essentials 1.9.1. Микротвердость измеряли на твердомере EMCO-TEST DuraScan-50. Среднюю микротвердость определяли по 15 уколам, произведенным с нагрузкой 50 гр.

Пористость детонационных покрытий из YSZ, не подвергавшихся отжигу, составила порядка 2%, а измеренная микротвердость 989 HV0.05. Отметим, что аналогичные плазменные покрытия имеют пористость порядка 10%, а микротвердость на уровне 900 HV0.2. Микротвердость образцов подвергшихся отжигу несколько возрастает и составляет для варианта «А» 1154 HV0.05 и для варианта «Б» 1156 HV0.05.

Что касается микроструктуры, то ТЗП покрытия после напыления без видимых трещин и отслоений. После 50 часового отжига в образцах обоих вариантов видна развитая структура микротрещин, присутствуют значительные отслоения. В следствие чего, на данных образцах присутствуют локальные зоны, где материал основного слоя после полировки значительно выкрошился. Существенных различий в дефектах микроструктуры покрытий с градиентным подслоем и без него не наблюдается. Это может быть связано с малой толщиной

градиентного подслоя, составившей менее 40 мкм, а также длительностью отжига, недостаточной для выявления отличий в жаростойкости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00713.

Литература:

1. Vijay Kumar, Balasubramanian Kandasubramanian. Processing and design methodologies for advanced and novel thermal barrier coatings for engineering applications, Particuology, Volume 27, August 2016, Pages 1-28, ISSN 1674-2001.

2. D. V. Dudina, I. S. Batraev, V. Yu. Ulianitsky, M. A. Korchagin. Possibilities of the Computer-Controlled Detonation Spraying method: a chemistry viewpoint // Ceramics International. 40 (2014) 3253-3260.

3. 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.

4. А.А.Васильев, Ю.А. Николаев, В.Ю. Ульяницкий. Газовая детонация и ее применение в технике и технологиях // Физика горения и взрыва. 39 (2003) 22–54.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГОРЯЩИХ ЧАСТИЦ ТИТАНА

Н.С. Белоусова, А.В. Гуськов

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, nata.bel.94@mail.ru**

Разработана методика создания крупных горящих монолитных частиц титана диаметром 300–500 мкм. Исследовано движение частиц при горении их в свободном падении в воздухе. Посредством видеосъемки определены характерные времена начала фрагментации, окончания фрагментации, окончания горения, закономерности движения частиц, в частности, их скорость и координата в момент начала фрагментации.

The technique for producing the large titanium monolithic burning particles with a diameter of 300–500 microns is developed. The combustion of titanium particles in free fall in air was investigated. The characteristic times for the following events –

beginning of fragmentation, end of fragmentation, end of burning, as well as the particle's motion law (including the coordinate and the velocity at the moment when the fragmentation process starts) are defined using the video recording.

1. Введение

Титан является одним из распространенных конструкционных материалов. С одной точки зрения, Тi – конструкционный материал, применяемый в экстремальных условиях (в изделиях ракетно-космической и авиационной техники [1], т. п.). С другой, Тi – пиррофорное металлическое горючее. В этом качестве Тi применяется в составе пиротехнических композиций [2], и в композициях технологического горения[3]. Из-за двоякого применения Тi как конструкционного материала и металлического горючего, исследования воспламенения и горения Тi проводятся и на массивных образцах, и на микрочастицах.

2. Методика экспериментов

Используется образец, представляющий собой полосу безметаллической матрицы с внедрёнными включениями, нанесённую на кварцевую трубку диаметром 12 мм, она играет роль держателя образца. Размеры матрицы $W \times L \times H$ примерно $3 \times 30 \times 2$ мм. В матрице сделаны глухие отверстия диаметром 1.2 мм глубиной около 1 мм, в которых фиксируются титановые фрагменты. В волне горения матрицы каждый фрагмент превращается в горящую частицу-агломерат. Масса, состав и структура агломератов определены рецептурой и размером включений. Дальнейшее горение частиц происходит в воздухе [4, 5].

3. Движение частиц

На рисунке 1 и 2 представлены результаты траекторных измерений частицы в свободном падении. В дальнейшем совокупность данных будет использована для определения коэффициента аэродинамического сопротивления горящих частиц.

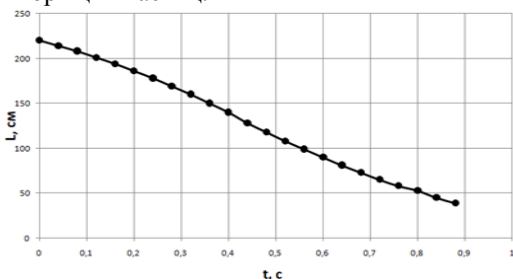


Рисунок 1 - Траектория падения частицы

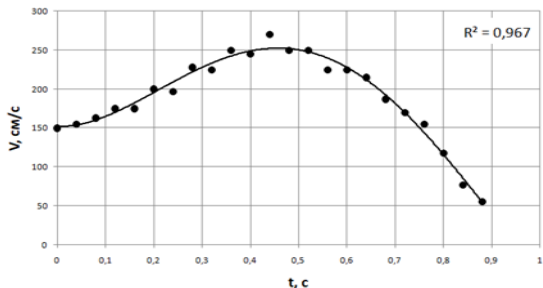


Рисунок 2 - График скорости частицы

«Жизненный цикл» типичный для крупных (300–500 мкм) частиц демонстрирует рисунок 3. Это рисунок собран из фрагментов кадров видеозаписи посредством технологии вырезать - вставить. На рисунке 3 представлен весь трек частицы от ее выхода из образца (событие 0) до «исчезновения» (событие b).

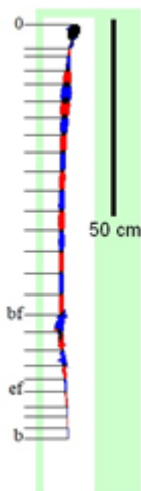


Рисунок 3 - Видеозапись трека крупной (400 мкм) Ti частицы, свободно падающей в воздухе.

Общая картина поведения частиц Ti при горении. Количественные данные о наступлении событий bf, ef, b.

События bf и ef есть начало и конец фрагментации, соответственно.

Фрагментации происходит по типу «еловая ветвь», и на рисунке 3 видно, что между метками событий bf и ef трек частицы «лохматый» из-

за отстрела мелких фрагментов. Вертикальный отрезок «50 см» определяет масштаб изображения. Можно видеть, что длина трека более 2 м. Горизонтальные линии слева от трека соответствуют границами участков трека, принадлежащим отдельным кадрам. Иными словами, они делят трек на участки, которые частица пролетала за 1/25 с.

Отметим некоторые наблюдаемые особенности:

- до начала фрагментации (выше точки bf) частица падает вертикально, фрагментация вызывает небольшие возмущения ее движения (отклонение траектории от прямолинейной);

- после окончания фрагментации (ниже точки ef) скорость частицы заметно снижается. Трек частицы постепенно сужается и тускнеет, и ниже точки b частицу уже не видно. Точка b – конец горения.

4. Заключение

Получены данные о траекторных измерениях монолитных материнских частиц титана диаметром 300–500 мкм в свободном падении. В дальнейшем совокупность этих данных будет использована для определения коэффициента аэродинамического сопротивления горящих частиц.

Литература:

1.Зубков Л. Б. Космический металл. Все о титане. – //М: Наука, 1987. –129 с.

2. Шидловский А. А. Основы пиротехники. – //М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.

3.Мержанов А. Г., Сычев А. Е. О самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. [Электронный ресурс] //http://www.ism.ac.ru/handbook/shsfr.htm

4.EvgenyShafirovich, Soon Kay Teoh, Arvind Varma. Combustion of levitated titanium particles in air // Combustion and Flame.– 2008. – V.152. P. 262–271.

5.Н. С. Белоусова, О. Г. Глотов, А. В. Гуськов. Исследование горения частиц титана / // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: материалы 13 междунар. науч.-практ. конф, посвящ. Дню космонавтики, Крас-ноярск, 10–14 апр. 2017 г.: в 3 т. – Красноярск: Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т им. акад. М. Ф. Решетнева, 2017. – Т. 1. – С. 276-278.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ С ПОВЫШЕННЫМ ДИАМЕТРОМ ПРОБИТИЯ

Е.М. Гриф, К.Е. Милевский

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, grif.2015@stud.nstu.ru

В работе анализируются достижения современных исследований в области повышения диаметра пробития при функционировании кумулятивных зарядов, рассматриваются пути дальнейшего развития вопроса и исследуются возможности функционирования кумулятивных зарядов коническо-кольцевой формы кумулятивной облицовки.

The paper analyzes the achievements of modern research in the area of increasing the penetration diameter during the operation of cumulative charges, discusses ways of further development of the issue and explores the possibilities of functioning of cumulative charges of a conical-circular form of a cumulative facing.

Кумулятивные заряды получили широкое применение не только в оборонной промышленности, но и во взрывных технологиях разделения и упрочнения, перфорации, разрушения материалов и конструкций [1].

С расширением спектра применения кумулятивных зарядов в гражданском назначении возникают новые задачи по достижению необходимых параметра: повышению диаметра пробития. Исследования по данному вопросу неизменно ведутся по традиционным направлениям: повышению энергетических свойств взрывчатых веществ (ВВ) [2], улучшению физико-механических свойств материала (комбинаций материалов) и достижению оптимальных геометрических характеристик кумулятивных конических и полусферических кумулятивных облицовок. Однако возможности подобного подхода ограничены. Во-первых, кумулятивная струя в теории струеобразования описывается как длинная тонкая металлическая проволока, перемещающаяся поступательно с очень большой скоростью, получаемая схлопыванием конической облицовки [3], то есть возможности достижения максимального диаметра пробития изначально ограничены физикой процесса. Во-вторых, сам металл кумулятивных облицовок независимо от его физических характеристик при деформировании концентрируется по оси заряда. Поэтому для обеспечения относительно большого диаметра пробития целесообразно развитие направления создания и совершенствования кумулятивных зарядов со сложной формой кумулятивных облицовок [4], при функционировании которых

кумулятивный элемент формируются не в центральной части корпуса заряда, а в его периферийных областях. Примером такого заряда является кумулятивный заряд, имеющий кумулятивную облицовку коническо-кольцевой формы.

Для оценки эффективности и целесообразности реализации подобной конструкции были выполнены расчеты функционирования двух типовых схем кумулятивных зарядов: традиционной (кумулятивного заряда с кумулятивной облицовкой конической формы) и, соответственно, кольцевой (кумулятивного заряда с коническо-кольцевой кумулятивной облицовкой). При выполнении расчетов использовался инструмент численного моделирования Ansys Autodyn. Для описания поведения ВВ использовалось уравнение состояния Джонса-Уилкинса-Ли (JWL), воздуха – уравнение состояния идеального газа, кумулятивной облицовки, корпуса заряда и преграды – модель Джонсона-Кука и уравнение состояния Грюнайзена. На рис. 1 представлен расчет функционирования традиционной схемы кумулятивного заряда:

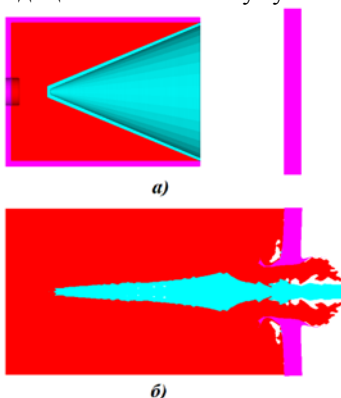


Рисунок 1 - Расчет функционирования традиционной схемы кумулятивного

заряда в моменты времени: а) 0 мкс, б) 32 мкс

Результаты расчета использовались в сравнении для дальнейшей оценки эффективности работы кольцевой схемы кумулятивного заряда.

При построении кольцевой расчетной схемы, несмотря на существование специальных устройств для получения кольцевых кумулятивных струй, например, содержащих W-образную кумулятивную облицовку [5] или особый формователь [6], интерес представляла конструкция, не оснащенная специальными приспособлениями. Расчет схемы куму-

лятивного заряда с коническо-кольцевой кумулятивной облицовкой представлен на рис. 2:

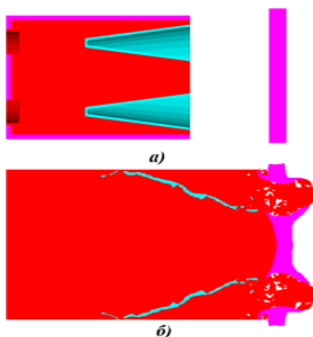


Рисунок 2 - Расчет функционирования кольцевой схемы кумулятивного заряда в моменты времени: а) 0 мкс, б) 32 мкс

Подобная конструкция облицовки закладывает жесткую связь между углом раствора и длиной образующей облицовки, которая оказывает влияние на процесс струеобразования. Так как конструкция, представленная на рис. 2,а, не снабжена специальным приспособлением, которое обеспечило бы симметричность распространения детонации в ВВ относительно кольцевой оси облицовки, в результате численного моделирования функционирования заряда произошло образование низкоскоростного кольцевого кумулятивного песта, а не кольцевой кумулятивной струи. Результаты расчета можно рассматривать в зависимости от свойств материала преградного пространства: если преграда жестко связана с материалом, в ней, как показано на рис. 3,а, формируется сквозной кольцевой канал, а если материал преградного пространства не препятствует внедрению выбитой из преграды «пробки», в преграде образуется круговое отверстие диаметра, равного внешнему диаметру кольцевого пробития, как показано на рис. 3,б:



Рисунок 3 - Пробитие стальной преграды кольцевым кумулятивным пестом:

а) без выбивания «пробки», б) с выбиванием «пробки»

Для случая, представленного на рис. 3,а, данный подход, по сравнению с традиционным зарядом, позволил увеличить величину поперечного сечения пробития на 33%, площадь поперечного сечения пробития - на 344%. В случае, сопровождающемся выбиванием «пробки» и показанном на рис. 3,б, диаметр пробития увеличился на 133%, площадь пробития при этом увеличилась на 445%.

Исследования составных кумулятивных облицовок, включающих элементы коническо-кольцевой, открывают широкие перспективы для получения пробития больших величин. Данная комбинация позволяет добиться увеличения величины поперечного И., Разоренов С.В., Уткин А.В., Фортон В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. – М.: Янус–К, 1996. 395–398 с.

Литература:

1. Канель Г.
2. Высокоэнергетические материалы : учеб. пособие / В.В. Андреев, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, Е.Ю. Слесарева. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – С. 135
3. Мишнев В. И., Гуськов А. В., Милевский К. Е., Тришин Ю. А. Кумулятивное струеобразование: лабораторный практикум для 4 курса ФЛА (специальности 171400, 330500, 120400) дневной формы обучения. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – С. 7
4. Е. М. Гриф, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка Перспективы развития кумулятивной скважинной перфорации //Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Наука. Оборона. Безопасность-2018» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 306 с.

5. О некотором механизме струеобразования в кумулятивных зарядах / В. И. Ситников, Ю. А. Ведерников, А. И. Селезнев // Химическая физика. - 2001. - Т. 20, № 10. - С. 35-37 : ил. - Библиогр.: с. 37 (3 назв.). - ISSN 0207-401X

6. Патент 2478904С1 Россия. МПК F42В1/02 (Авторы Маляров Д.В., Жданов И.В., Тарасов И.Б.)

НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.Е. Жукова, В.С. Айрапетян

**Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, zhukova19972010@mail.ru**

В работе рассмотрены вопросы воздействия сверхкоротких лазерных импульсов высокой мощности на системы управления летательных объектов. Рассчитаны предельные параметры лазерной системы и дальность действия энергии лазерного импульса на исследуемый объект. Разработана оптическая схема ИК параметрического лазерного комплекса с плавной и/или дискретной перестройкой частоты излучения лазера, необходимая для эффективного воздействия лазерного импульса на исследуемый объект.

The paper deals with the effects of ultrashort laser pulses of high power on the control systems of flying objects. The limiting parameters of the laser system and the range of energy of the laser pulse on the object under study are calculated. An optical scheme has been developed for an IR parametric laser complex with a smooth and/or discrete laser frequency tuning required for the effective action of a laser pulse on the object under study.

В работе рассмотрено одно из многочисленных применений мощных лазерных источников как средство воздействия на беспилотные летательные аппараты (БПЛА), в первую очередь малогабаритные мини - и микро БПЛА.

Основное требование, предъявляемое к лазерной системе заключается в том, что система должна поражать БПЛА малой дальности и снаряды при помощи лазерного луча, нагревая боевую часть боеприпасов до разрушения [1].

Воздействие лазерного излучения на корпус БПЛА определяется длительностью лазерного импульса $t_{имп}$ и температурнопроводностью материала θ , с помощью которой можно определить, за время прогрева слоя вещества толщиной δ , согласно формуле:

$$\tau_{\text{прогр.}} = \delta^2 / \theta$$

Следовательно, глубина прогрева можно вычислить как

$$\delta = \sqrt{(\tau \theta)}$$

при известных значениях θ .

Предварительный расчет порога разрушения лазерным излучением элементов конструкции БПЛА показывает, что интенсивность лазерного импульса должна быть порядка 108 Вт/см², необходимая для поражения различных летательных объектов на горизонтальных дистанциях от 1 до 2 км.

Классические лазеры с фиксированной частотой излучения, используемые для дистанционного воздействия на системы управления летательных объектов в открытой атмосфере не всегда эффективны, из-за неоднородного пропускания атмосферой электромагнитного излучения. Для решения этой задачи необходимо выполнение двух условий:

Ширина спектра излучения лазера должна быть уже диапазона пропускания атмосферы;

Длина волны лазерного излучения должна совпадать с максимумом поглощения материала корпуса БПЛА.

В работе предложен другой подход к решению данной проблемы, а именно: разработка и создание высокомонохроматичного ИК параметрического лазера с эффективным энергосъемом, позволяющего плавную и/или дискретную перестройку частоты излучения в широком диапазоне длин волн (рисунок 1) [2,3].

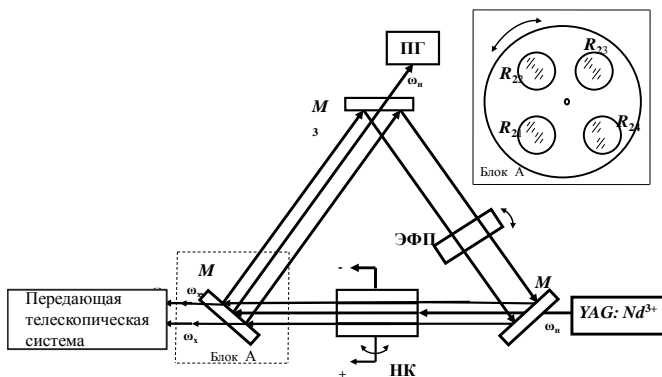


Рис. 1. Оптическая схема ИК параметрического лазера с перестройкой частоты излучения. YAG:Nd³⁺ – лазер накачки, М1, М2, М3 – зеркала резонатора, НК – нелинейный кристалл, ЭФП – эталон Фабри-Перо.

Плавным сканированием частоты лазерного излучения достигается высокое совпадение области прозрачности атмосферы, максимальное поглощение материала корпуса БПЛА и длины волны лазера. По этому каналу прозрачности атмосферы энергия лазерного импульса без потерь доставляется на цель, находящаяся на максимальном расстоянии.

С учетом данных температурнопроводности θ и другие теплофизические свойства некоторых материалов, в том числе конструкционных, применяемых в ракетной технике и основываясь на технических характеристиках ИК параметрического лазера можно оценить максимальную дальность действия лазерного импульса, способного нанести достаточный ущерб микроБПЛА. Для случая ИК параметрического лазера с плотностью мощности 250 МВт/см² на выходе такое расстояние составляет от 1 до 2 км, в зависимости от влияния атмосферы и характеристик материала корпуса БПЛА.

Литература:

1. Борейшо В.А., Ключков Д.В., Коняев М.А., Никулин Е.Н. Военные применения лазеров, БГТУ, С.-Петербург, 2015. – 103 с.

2. Ayrapetyan V.S., Hakobyan A. V., Apresyan G.M., Pogosyan E.M., Sargsyan K.A., Sargsyan T.K., IR Lidar Based on OPO // Proc. SPIE. Twelfth Joint International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics/Atmospheric Physics. – 2005. V.6160, 708-713.

3. Айрапетян В.С. Вне резонаторная параметрическая генерация с плавной и (или) дискретной перестройкой частоты излучения // Вестник НГУ. – Физика, 2009. – т.4, вып.3. – с.20 – 24.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСКОЛОЧНОГО ПОЛЯ ОСКОЛОЧНО-ФУГАСНОГО СНАРЯДА

Н.С. Иванников, К.Е. Милевский
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nikich0009@gmail.com

В статье рассмотрены методы повышения эффективности осколочного поля осколочно-фугасного снаряда естественного дробления. Предложена конструктивная особенность для увеличения результативно-сти действия осколочного поля.

The article discusses methods for improving the efficiency of the fragmentation field of a high-explosive fragmentation projectile of natural crushing. A design feature has been proposed for increasing the effectiveness of the fragmentation field.

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 за-прессовки 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 объёме. Детонация продолжает идти к донной части, но увеличения давления, действующего в корпус, не происходит, т.к. после достижения определённой деформации корпуса, его головная часть раскрывается, через которую происходит сброс давления, в связи с чем, ВВ в полном объёме не задействуются в детонации.

Известен способ [2] повышения эффективности осколочного поля, 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 объёма продуктов детонации. По мере продвижения детонационной волны к головной части, стенки корпуса становятся тоньше, что означает, что для их разрушения требуется меньшее давление продуктов газа, т.о. если через трещины образованные в донной части произойдёт 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.

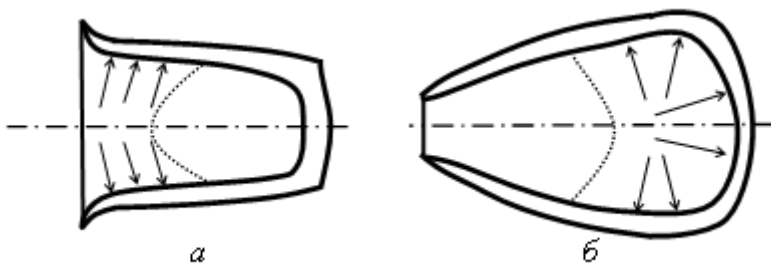


Рис. 1. Процесс расширения оболочки с направлениями давления продуктов детонации

Применив изложенный выше способ инициирования ВВ в ОФС, можно добиться увеличения эффективности осколочного поля. Но подавляющее большинство ОФС используется в нарезной артиллерии, т.е. в движении снаряда имеется не только поступательная составляющая, но и вращательная, а приведённый выше способ инициирования не учитывает данный фактор. В связи с этим, в данной работе предлагается использовать эту 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.

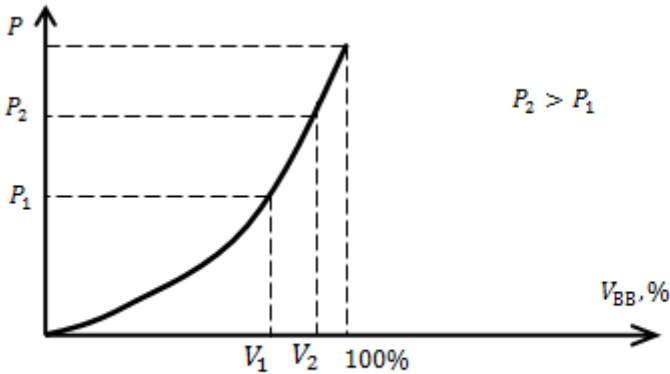


Рис. 2. Зависимость давления заряда продуктов детонации от объёма ВВ

Таким образом, размещая точку инициирования ВВ в дон-ной части корпус способен выдержать большее давление продуктов детонации, нежели при размещении точки инициирования в голов-ной части. Это означает то, что при детонации с головной части ВВ задействовано в детонации в большем объёме (, чем при детонации с головной части (. Исходя из графика кривой давления (рис. 2) можно добиться накопления большего давления в корпусе (, нежели при размещении точки инициирования в головной части за счёт увеличения объёма задействованного ВВ.

Рассмотрим разложение вектора начальной скорости осколка в классическом случае детонации и в усовершенствованном (рис. 3). Вектор начальной скорости осколка получается сложением векторов:

$$\bar{V}_{оск.}^{a1} = \bar{V}_{ин.пост.} + \bar{V}_{ин.вращ.} + \bar{V}_{P пр.дет.}$$

где,

$$\bar{V}_{оск.}^{a1}$$

– 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.

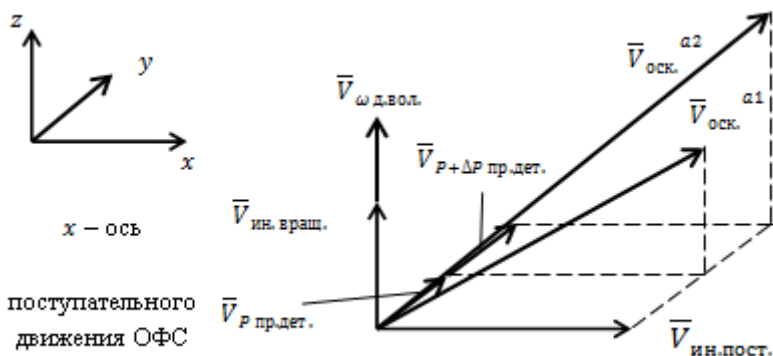


Рис. 3. Разложение вектора скорости осколка при традиционном и усовершенствовано способе детонации ВВ

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. Осколочно-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.

АВАРИИ – СЛЕДСТВИЕ НЕСОВЕРШЕНСТВА КОНСТРУКЦИИ

С.Н. Иванчик, В.В. Зиновьев

**Сибирский государственный университет водного транспорта
г. Новосибирск, ivan_iliya@ngs.ru**

Двигатель марки TD226B-3CD потерпел аварию в следствие отрыва головки шатуна на одном из судов ОАО «Обь-Иртышское речное пароходство» (ОАО «ОИРП»). Высокооборотные судовые дизели серии 226В производятся в Китае по лицензии компании «Deutz» (Германия) и могут использоваться на судах в качестве главного или вспомогательного двигателя в составе дизель-генераторных установок. Для исследования был представлен коленчатый вал.

Вторая шатунная шейка коленчатого вала двигателя и прилегающие к ней участки щеки, покрыты глубокой окалиной черного цвета (рис.1).

На поверхности второй шатунной шейки имеется глубокая вмятина, со смещением слоя металла (рис. 2). Ширина вмятины совпадает с шириной стержня шатуна. Кроме указанной вмятины на поверхности второй шейки имеются многочисленные задиры и забоины. Остальные шейки коленчатого вала: коренные и шатунные (рис. 3) имеют поверхности, притёртые до зеркального блеска, без каких-либо заметных дефектов.

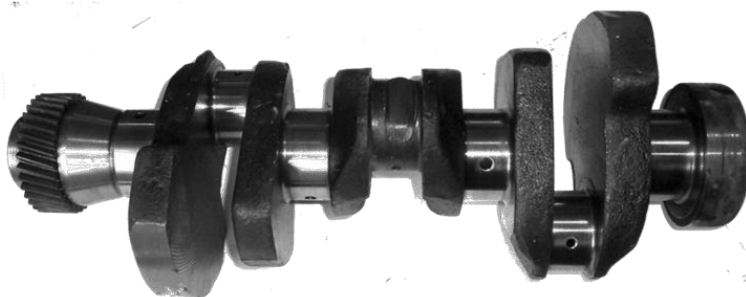


Рисунок 1 – Коленчатый вал двигателя TD226B-3CD, потерпевшего аварию при эксплуатации

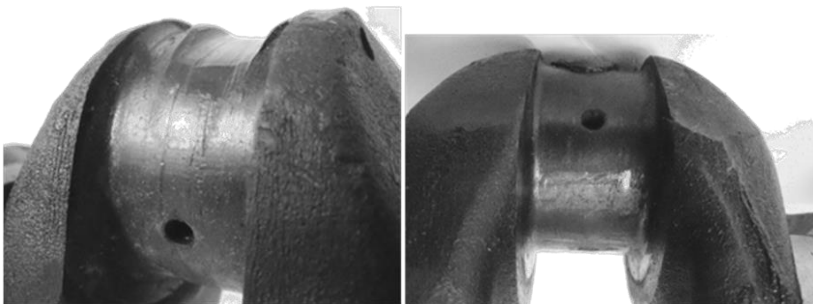


Рисунок 2 – Наружный вид второй шатунной шейки

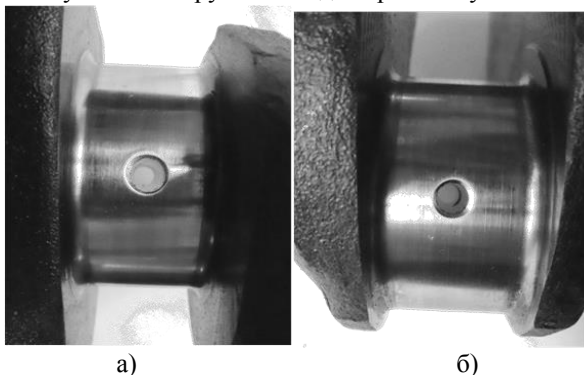


Рисунок 3 – Наружный вид рабочей поверхности шеек коленчатого вала:

а – 2-я коренная; б – 1-я шатунная

Микроструктура образца, вырезанного из второй шатунной шейки – феррито-перлитная крупнозернистая с выделениями феррита по границам крупных перлитных зёрен (рис. 4). Твёрдость второй шатунной шейки измеряли на вырезанном из неё образце в поперечном сечении на твердомере Роквелла ТК-2 шариковым индентором. Она составила HRB 97 – 98, что соответствует твёрдости по Бринеллю HB 2280 МПа. Для оценки термического влияния перегрева второй шатунной шейки на свойства стали сравнивали её твёрдость с показателями твёрдости первой и третьей шеек. Твёрдость первой и третьей шеек с учётом их конструкции определяли переносным твердомером МЕТ-УД. Твёрдость по Роквеллу шеек 1 и 3 составила HRC 50 – 54, что соответствует твёрдости по Бринеллю HB 4950 – 5320

МПа. Твёрдость по Роквеллу сопряженных с этими шейками щёк соответствует HRC 20 – 24, соответственно HB 2170 – 2400 МПа.

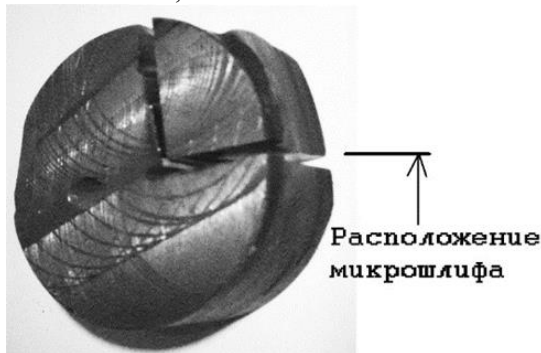


Рисунок 3– Вид образца для микроструктурных исследований, вырезанного из второй шатунной шейки коленчатого вала

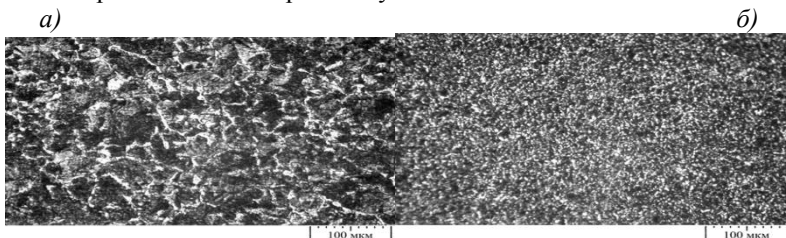


Рисунок 4 – Микроструктура второй шатунной шейки коленчатого вала: а – сердцевина – крупное зерно; б – полная перекристаллизация в результате нагрева выше 820 – 850 °С на глубине до 4 мм от поверхности трения

На основании полученной информации рекомендуется компании-судовладельцу и компании поставщику двигателей обратиться в Главное Управление Российского Речного Регистра с ходатайством ужесточить требования к эксплуатации и обслуживанию двигателей TD226B-3CD с целью предотвращения аварийных ситуаций.

Литература

1. Эксплуатационные методы повышения долговечности валов судовых машин и механизмов. Иванчик И.С., Иванчик С.Н., Бастерс А.В. в сборнике: Наука. Промышленность. Оборона. Труды XVI

Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию победы Великой Отечественной войне. 2015. С. 348-352.

2. Анализ условий обеспечения жизненного цикла деталей судовой техники. Токарев А.О., Иванчик С.Н., Иванчик И.С.

Речной транспорт (XXI век). 2011. № 3 (51). С. 74-75.

3. Анализ причин и профилактика аварий деталей судовой техники. Токарев А.О., Иванчик С.Н., Иванчик И.С.

А. О. Токарев, С. Н. Иванчик, И. С. Иванчик ; м-во трансп. Российской федерации, федеральное агентство морского и речного трансп., ФГОУ ВПО "Новосибирская Гос. Акад. Водного Трансп.". Новосибирск, 2010.

4. Характерные причины разрушения шестерен судовых и портовых механизмов. Пеньков Р.Ф., Иванчик И.С., Токарев А.О. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2007. № 1. С. 87-97.

5. Гуськов А. В. Изучение физического процесса формирования узла трения в высокоскоростной баллистической установке - The study of the physical process of formation of a friction unit in high-speed ballistic installation / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, М. А. Кормушкин // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики : материалы 7 междунар. молодеж. науч. конф., Томск, 27–29 нояб. 2017 г. – Томск : Изд-во ТГУ, 2018. – С. 120–123.

6. Гуськов А. В. Теоретическое определение распределения температуры в усовершенствованном материале узла трения при движении в высокоскоростном разгонном блоке / А. В. Гуськов, М. А. Кормушкин, К. Е. Милевский // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 19 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 18–20 апр. 2018 г. В 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 2. – С. 102–104.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДАЛЬНЕЙШЕЙ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ

С.Н. Иванчик, В.В. Зиновьев

**Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, ivan_ilija@ngs.ru**

В процессе эксплуатации дизельного двигателя OM 444 LA произошла авария роликоподшипника кулачкового вала топливного

насоса высокого давления (ТНВД) с разрушением корпуса насоса (рис. 1). Второй роликоподшипник остался неразрушенным без видимых внешних повреждений (рис. 2).



Рисунок 1 – Разрушение корпуса топливного насоса высокого давления



Рисунок 2 – Второй роликоподшипник вала ТНВД без видимых повреждений

Постановка задачи исследования: определить возможность дальнейшей эксплуатации роликоподшипника.

Для определения этой возможности была проведена диагностика усталостных повреждений металла роликоподшипника методом магнитной памяти металла (ММП-контроль) по схеме, представленной на рис. 3.

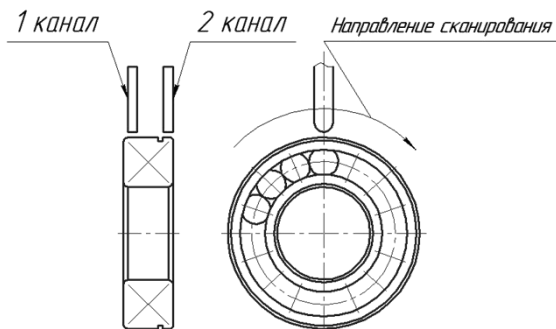


Рисунок 3 – Схема контроля наружной обоймы роликоподшипника двухканальным ИКН

Контролю подверглась наружная обойма роликоподшипника распределительного вала. Результаты контроля представлены в таблице 1 и на рис. 4.

Таблица 1 – Результаты магнитного контроля наружной обоймы роликоподшипника

Обозначение поверхности	K (x) max	m (x)	H min	H max
наружная обойма 1	25,00	2,94	-110,0	14,0
наружная обойма 2	19,00	3,12	-99,0	-2,0

Ярко выраженные зоны концентрации напряжений (выделены толстыми контурными линиями на рис. 3.75) обнаружены в наружном кольце подшипника по азимуту $240^\circ - 255^\circ$ и $285^\circ - 300^\circ$. Наибольшие значения критерия предельного состояния металла $m(x)=3,127 - 2,946$ превышают предельно допустимое значение для легированных сталей $m[x]=2,70$.

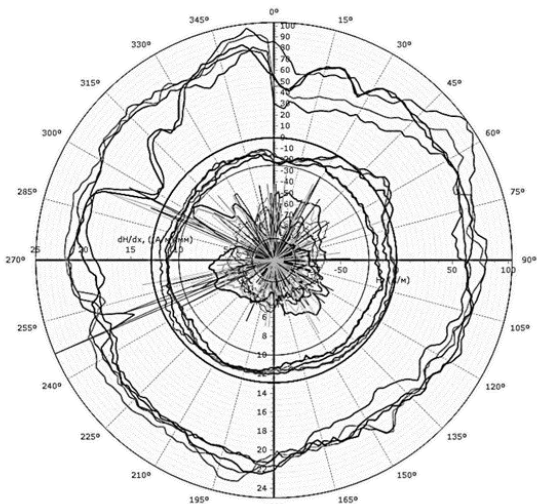


Рисунок 4 – Распределение магнитного поля H_r по поверхности наружного кольца роликоподшипника

Заключение:

Подшипник находится в преддефектном состоянии, и его дальнейшая эксплуатация не рекомендуется.

Литература

1. Эксплуатационные методы повышения долговечности валов судовых машин и механизмов. Иванчик И.С., Иванчик С.Н., Бастерс А.В. в сборнике: Наука. Промышленность. Оборона. Труды XVI Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию победы Великой Отечественной войне. 2015. С. 348-352.

2. Анализ условий обеспечения жизненного цикла деталей судовой техники. Токарев А.О., Иванчик С.Н., Иванчик И.С. Речной транспорт (XXI век). 2011. № 3 (51). С. 74-75.

3. Анализ причин и профилактика аварий деталей судовой техники. Токарев А.О., Иванчик С.Н., Иванчик И.С. А. О. Токарев, С. Н. Иванчик, И. С. Иванчик ; м-во трансп. Российской федерации, федеральное агентство морского и речного трансп., ФГОУ ВПО "Новосибирская Гос. Акад. Водного Трансп.". Новосибирск, 2010.

4.Характерные причины разрушения шестерен судовых и портовых механизмов. Пеньков Р.Ф., Иванчик И.С., Токарев А.О. Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2007. № 1. С. 87-97.

5.Гуськов А. В. Изучение физического процесса формирования узла трения в высокоскоростной баллистической установке - The study of the physical process of formation of a friction unit in high-speed ballistic installation / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, М. А. Кормушкин // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики : материалы 7 междунар. молодеж. науч. конф., Томск, 27–29 нояб. 2017 г. – Томск : Изд-во ТГУ, 2018. – С. 120–123.

6.Гуськов А. В. Теоретическое определение распределения температуры в усовершенствованном материале узла трения при движении в высокоскоростном разгонном блоке / А. В. Гуськов, М. А. Кормушкин, К. Е. Милевский // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 19 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 18–20 апр. 2018 г. В 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 2. – С. 102–104.

КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНАЯ МАШИНА ИИ41Э

К.И. Ильяк, А.А.Петрова,В.Н.Легкий

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
legkij@corp.nstu.ru**

Контрольно-проверочная машина ИИ41Э обеспечивает про-верку и обслуживание: артиллерийского вооружения, механизмов по-дачи и заряжания боеприпасов, систем управления наведением, при-цельных устройств и наблюдательных приборов.

Данный тип технического обслуживания обеспечивает ис-пользование высоких потенциальных возможностей современных комплексов артиллерийского вооружения по ведению эффективного огня, заложенных конструкцией изделия.

Inspection and testing machine ИИ41Э provides inspection and maintenance of: artillery weapons, mechanisms for putting and loading ammunition, guidance control systems, sighting devices and monitoring devices. This type of maintenance provides the use of the high potential of modern artillery armament complexes to maintain effective fire laid down by the design of the product.

В настоящее время техническое обслуживание, техническая и баллистическая подготовка являются составной частью боевой подготов-

ки, поддержание комплексов артиллерийского вооружения в состоянии боевой готовности осуществляется экипажем боевых машин и специалистами войсковых частей. При этом возникают значительные трудности, связанные с большой номенклатурой объектов, находящихся в эксплуатации, сложностью узлов и систем, большим количеством проверок элементов комплекса и их высокой трудоемкостью, отсутствием необходимого оборудования и методик определения отдельных поправок, а также недостаточной квалификацией экипажей боевых машин. (2)

Это приводит к тому, что высокие потенциальные возможности современных комплексов артиллерийского вооружения по ведению эффективного огня, заложенные конструкцией изделия, используются не в полной мере, и в процессе эксплуатации объектов их эффективность снижается.

Контрольно-проверочная машина (КПМ) 1И41 обеспечивает проверку и обслуживание: артиллерийского вооружения, механизмов подачи и заряжания боеприпасов, систем управления наведением, элементов комплекса управляемого вооружения, прицельных, визирных устройств и наблюдательных приборов, систем топопривязки и навигации, средств разведки и целеуказания и средств связи.

КПМ 1И41 предназначена для выполнения операций технического обслуживания, технической и баллистической подготовки:

- комплексов вооружения самоходных артиллерийских орудий (САО) 2С1, 2С3М, 2С3М1, 2С3М2, 2С5, 2С9, 2С19, 2С19М1, 2С19М2 и 2С34-1;
- систем вооружения буксируемых артиллерийских орудий 2А36, 2А65, 2Б16, Д-20 и Д-30;
- комплексов автоматизированного управления огнем (КАУО) типа «Машина-М».

При проведении технической подготовки КПМ обеспечивает:

- приведение к нормальному бою стрельбовым методом;
- выверку прицельных устройств, устройств наблюдения и разведки.

При проведении баллистической подготовки КПМ обеспечивает определение:

- удлинения зарядной камеры орудия;
- начальной скорости снаряда.

Технические характеристики КПМ 1И41Э приведены в таблице 1.

Таблица 1 –Технические характеристики

Базовое шасси	УРАЛ-4320
Расчет, человек	3
Источник электропитания	внешняя сеть или автономный источник
Режим работы	8 часовыми циклами с перерывом 1 час
Напряжение внешней сети	~380 В (50 ГЦ)
Мощность автономного источника питания, кВт	не менее 16
Диапазон рабочих тем-ператур, град	- 40...+50
Время разворачивания / свертывания, мин	не более 45 / 30
Габариты (длина x ши-рина x высота), м	9830 x 2580 x 3440
Масса, кг	не более 13000
Информационно-измерительная управ-ляющая система	на базе ПЭВМ типа ноутбук в защищенном исполнении со специальным программным обеспечением
Механизм для чистки канала ствола	механизированная чистка канала ствола орудий калибра 120, 122, 152 и 155 мм в стационарных и полевых условиях. Привод банников - пневматический
Срок службы, лет	не менее 15

Контрольно-проверочная машина базируется на трёхосном автомобильном шасси УРАЛ-4320 повышенной проходимости. Кузов-фургон, установленный на шасси автомобиля, обеспечивает размещение контрольно-проверочной аппаратуры, механизма для чистки ствола, вспомогательного оборудования. По требованию заказчика возможна замена базового шасси.

Состав КПМ:

- бортовая информационно-измерительная управляющая система (БИУС);

- механизм для чистки канала ствола с компрессорной установкой;
- специальные контрольно-измерительные приборы и аппаратура;
- комплект стандартного оборудования и приборов;
- комплекты приспособлений для проведения технического обслуживания САО, БАО и КАУО;
- системы электропитания, связи и жизнеобеспечения;
- одиночный комплект ЗИП, шанцевый инструмент, комплект съемников, огнетушители и пр.

Состав КПМ может уточняться по требованию заказчика.

БИУС является многофункциональным аппаратно-программным комплексом, под управлением и участием которого проводятся все виды работ контрольно-проверочной машиной ИИ41Э.

Специальные контрольно-измерительные приборы и аппаратура, приспособления для проведения ТО, а также стандартные приборы и оборудование, входящие в состав КПМ ИИ41Э, позволяют проводить все операции технического обслуживания орудий, механизмов заряжания, зенитно-пулеметных установок, систем защиты от ОМП, систем навигации и топоривязки, метеорологических комплектов, при-боров наблюдения, разведки и целеуказания.

Средства связи предназначены для организации радиосвязи между членами расчёта КПМ, а также для связи с удаленным объектом при проведении ТО обслуживаемого объекта.

Машина оборудована комплексными системами, обеспечивающими безопасность и комфортность работы экипажа в сложных условиях эксплуатации, включая агрегаты электропитания, средства обеспечения электробезопасности, отопительную установку, кондиционер, фильтровентиляционную установку, дозиметр, устройства для дегазации и дезактивации КПМ и её составных частей после прохождения зараженной зоны, а также другое оборудование.(1)

Одним из путей решения отмеченных проблем является создание и внедрение специальных контрольно-проверочных машин (КПМ), оборудованных высокоточной контрольно-проверочной аппаратурой.

Литература

1. АО «Центральный Научно-исследовательский институт «Буревестник» <http://www.burevestnik.com/products/i141e.html>
2. Г.И.,Слуцкий В.Е.,Лангуев В.А.,Зайцев А.В.,Пономарев А.В.,Морозов Г.И.,Родионов В.В.,Сенчугов «Контрольно-проверочная машина для технического обслуживания, технической и

баллистической подготовки комплексов артвооружения» – Федеральное государственное унитарное предприятие "Центральный научно-исследовательский институт "Буревестник"
<http://bankpatentov.ru/node/364974>

ВЛИЯНИЕ НАУКИ НА РАЗВИТИЕ АРТИЛЛЕРИИ

А.А. Квашнёв, Р.И. Егоров, К.Е. Милевский

**Новосибирский государственный технический университет,
г.Новосибирск, kvashnyov.2015@stud.nstu.ru**

В данной статье рассматривается влияние необходимости развития военной мощи на развитие других наук, напрямую не связанных с военным делом в России и мире в целом.

This article examines the impact of the need to develop military power on the development of other sciences not directly related to military affairs in Russia and the world as a whole.

Выстрел артиллерийской системы – совокупность огромного количества различных физических процессов, происходящих на всех стадиях выстрела. Сам процесс выстрела можно разделить на три части. Всё начинается с термодинамического процесса горения пороха, что создаёт сложный процесс нагружения на снаряд и саму пушку, назовём это первым этапом. После вылета снаряда из канала ствола в дело вступает аэродинамика и процессы обтекания воздуха – это второй этап. И по приземлению снаряда себя проявляет теория вероятности и математическая статистика – это третий этап. Таким образом, можно сделать вывод, что выстрел – не только совокупность физических процессов, но и совокупность достижений учёных в различных сферах науки, напрямую не связанных с артиллерией.



Рисунок 1 – Выстрел из артиллерийского орудия.

Дальность полёта снаряда напрямую зависит от давления пороховых газов, созданных сгоревшим порохом, то есть от количества пороха и от его «качества». Основоположниками теории горения можно назвать британского химика и физика Генри Кавендиша и французского естествоиспытателя и основателя современной химии Антуана Лоран Лавуазье. В 1766 году Генри Кавендиш первым собрал и исследовал выделяющийся при горении газ, а в 1783 году Антуан Лоран Лавуазье определил его как «горючий воздух», впоследствии названный водородом [1],[2]. Благодаря их опытам и исследованиям наука пополнилась знаниями об образовании газов в процессе горения. Их исследования позволили понять физику процесса образования пороховых газов и выстрела в целом. Горением же порохов в различное время занималось большое количество разных учёных из разных сфер. Например, в конце XIX века, опыты Митчеля (1847), Дюфура (1862-1863) и Сен-Робера (1864-1865) о сжигании пороховых трубок при различных давлениях, показали, что скорость горения пороха напрямую зависит от давления воздуха окружающей среды, что в итоге привело к появлению такого понятия, как давление форсирования [3]. Опыты этих учёных позволили существенно увеличить скорострельность пушек. Но не только учёные вносили вклад в развитие артиллерийского дела. В 1860 году английский капитан Нобль изобрёл механизм для измерения давления пороховых газов, которым пользуются и по сей день. Устройство Нобля или крешерное устройство ввинчивается в специальное гнездо внутри канала ствола и после выстрела измеряется величина деформации крешера – медного цилиндрического или конического столбика. По этой деформации и измеряется давление пороховых газов [4]. В наши дни проблемами горения пороха и

образования пороховых газов занимается внутренняя баллистика, но эта наука специализируется на стрельбе и артиллерии, поэтому достижения этой области познания в контексте данной статьи, нас не интересуют.

Второй выделенный мной этап – полёт снаряда. Во время полёта на снаряд действуют различные силы сопротивления воздуха, да и сам воздух обтекает тело снаряда. Одной из основных проблем для летящего снаряда – преодоление этой силы сопротивления воздуха. Основной вклад в решение этой проблемы внёс Исаак Ньютон, который в конце XVII века предложил теорию обтекания, что в дальнейшем позволило разработать идеально обтекаемую форму. Ньютон предложил, что давление, действующее на обтекаемый объект при сверхзвуковом движении, зависит только от угла наклона поверхности тела к вектору скорости набегающего потока [5]. Впоследствии это привело к созданию снарядов оживальной формы, как идеально обтекаемых снарядов при скоростях превышающих скорость звука.

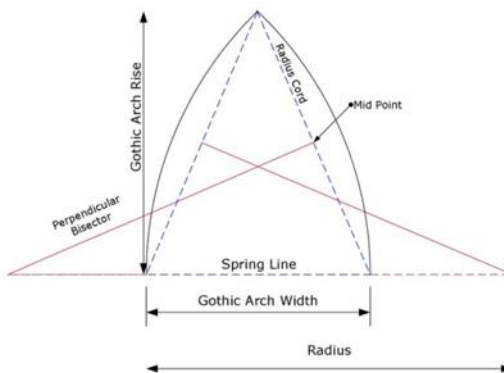


Рисунок 2 – Оживальная форма.

Также, для соблюдения правильности полёта снаряд необходимо было стабилизировать, чтобы избежать его переворота в воздухе или отклонения от заданной траектории. Для этого в XV веке в Германии стали использовать вращение. Но сам механизм стабилизации вращением был разработан и описан гораздо позднее. Лишь в 1852 году Жан Фуко в своём докладе во Французской академии наук об экспериментальном обнаружении вращении земли ввёл такое понятие как гироскоп и описал его действие. Гироскоп – тело, которое способно сохранять направление и ориентацию своего вращения при изменении

положения его оси [6]. Только после этого оружейные мастера стали осознанно использовать стабилизацию снаряда вращением, учитывая зависимость массы от необходимой частоты вращения, что позволило многократно увеличить точность стрельбы.

Выстрел и его результативность зависят от множества параметров, начиная от давления пороховых газов и длиной канала ствола и заканчивая погодными условиями. Всё это делает выстрел абсолютно случайным событием. А со случайными событиями отлично справляется теория вероятности и математическая статистика. В 1926 году французский математик Дейтейль выпускает математическую брошюру «Геометрические вероятности», в которой описывает принцип геометрического метода нахождения вероятности. Для геометрического метода полагают, что есть определённая область G , а в ней область A , и на G случайно бросается точка. Событие A – попадание точки в область A [7]. Регулируя количество пороха и угол стрельбы, мы можем определять дальность полёта снаряда, но достаточно большой погрешностью, а рассеивание снарядов по другим осям вообще трудно спрогнозировать. Поэтому математики совместно с артиллеристами провели тысячи опытов для определения средней точки падения и эллипса рассеивания. По сути своей, средняя точка падения является совокупностью математических ожиданий выстрела по двум координатам, а эллипс рассеивания – определяется по закону нормального распределения Гаусса. Таким образом были созданы таблицы стрельб, в которых для каждой определённой пушки, количества пороха, весового допуска снаряда и износа ствола определяется подходящий угол стрельбы, для определённой дальности и эллипс рассеивания, для более точной стрельбы.

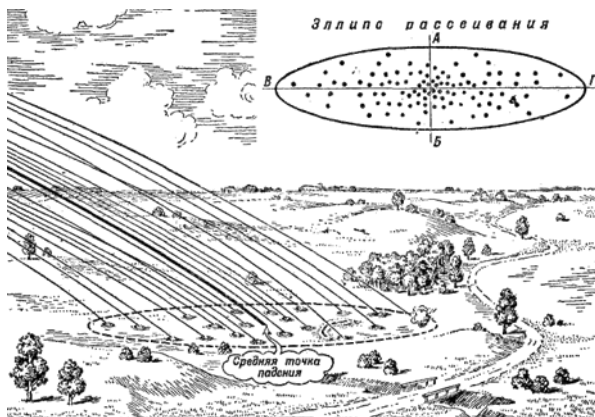


Рисунок 3 – Эллипс рассеивания.

Таким образом, мы можем отметить, что к развитию артиллерийских систем приложили руку не только сами военные, но и учёные из совсем других областей познания.

Литература:

1. Brush, Stephen G.; Holton, Gerald James. Physics, the human adventure: from Copernicus to Einstein and beyond. — New Brunswick, N.J : Rutgers University Press, 2001. — P. 137.
2. Guerlac, Henry. Antoine-Laurent Lavoisier — Chemist and Revolutionary. — New York : Charles Scribner's Sons, 1973. — P. 130.
3. Шиллинг Н.А. Курс дымных порохов – М.: Оборонгиз. – 1940. – 280 с.
4. Чурбанов Е.В. Внутренняя баллистика: Учебник – Ленинград. – 1975. – 242 с.
5. Тихомиров В.М. Аэродинамическая задача Ньютона // Квант. — 1982. — № 5. — С. 11—18.
6. А. Верин. Опыт Фуко. — Г.Т.Т.И. — 1934. —100 с., рис., черт.
7. М.Кендаль, П.Моран «Геометрические вероятности» - Москва, «Наука», 1972. – 192 с.

МОЖНО ЛИ ПУЗЫРЬКАМИ СОЗДАВАТЬ ЗАВЕСУ ОТ УДАРНЫХ ЗВУКОВЫХ ВОЛН?

Т.В. Кузнецова, А.М. Власова, К.Е. Милевский
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, tanya.ru_1999_10@mail.ru

Рассмотрено применение исследований в области динамики газожидкостных сред. Приведены исследования цикла жизни пузырька и выделены основные периоды его существования. Представлена схема конструкции, которая является оптимальным методом защиты от ударной волны. Приведен обзор исследований авторов, работающих в области микропузырьковых газожидкостных сред, которые доказали, что процесс взаимодействия ударной волны со слоем пузырьков приводит к расщеплению волны вследствие передачи части энергии пузырьковой среде. Были проанализированы как процесс распространения волн давления в пузырьковых средах, так и зависимости для эффективной динамической плотности гетерогенных сред различных типов. Подведены выводы о достигнутом уровне исследования.

Considered the use of research in the field of dynamics of gas-liquid environments. The studies of the life cycle are presented and the main periods of its existence are highlighted. The design scheme is presented, which is the best method of protection against a shock wave. A review of studies by authors working in the field of micro-purificated gas-liquid media, which proved that the process of interaction of a shock wave with a layer of bubbles, is given. Leads to wave stratification due to the transfer of part of the energy to the bubbly medium. Both the process of propagation of pressure waves in bubble media and the dependences for the effective dynamic density of heterogeneous media of various types were analyzed. Conclusions about the achieved level of research.

Исследования в области динамики газожидкостных сред способствовало большому развитию в первую очередь в оборонно-промышленном комплексе, гражданской промышленности и экологической защите окружающей среды.

В оборонно-промышленном комплексе на основе этих исследований разработаны как новые технологии, так и усовершенствованы изделия и объекты [1,2]. Это направление исследований динамики газожидкостных сред позволило увеличить, как скорость средств поражения, так и дальность стрельбы военной техники под водой [3], улучшить маскировку военных субмарин от сонаров [4]. Например, большими кавитационными пузырями обволакивают сверхзвуковые торпеды, что существенно уменьшает контакт

поверхности с водой и они могут передвигаться значительно быстрее, чем обыкновенные. Так сверхкавитационная торпеда «Шквал», в зависимости от плотности водной среды, развивает скорость до 370 км/ч [5]. Явление кавитации используется при создании нового АДС. Этот автомат использует для стрельбы под водой специальные патроны ПСП калибра 5,45 миллиметра. Пуля патрона имеет на кончике плоскую площадку, которая при движении под водой создает кавитационную полость вокруг корпуса пули. Благодаря такой особенности, эффективная дальность стрельбы АДС под водой на глубине пяти метров увеличилась до 25 метров [6,7].

В 2014 году Технологический институт Харбина представил концепцию подводной лодки, способной доплыть от Шанхая до Сан-Франциско (около десяти тысяч километров) примерно за один час и 40 минут. При движении подлодка будет находиться внутри кавитационной полости [8].

Еще одним важным направлением является экологическая защита окружающей среды. В этой области удалось создать пузырьковую завесу для снижения уровня шума под водой и защиты морских обитателей.

Ярким примером негативного воздействия на окружающую среду является строительство ветровых турбин. В ходе сооружения основания уровень шума под водой повышается до значения более 160 дБ (А). Вследствие этого животные покидают воды, в которых добывают себе пропитание и выкармливают потомство. В целях снижения уровня шума под водой на уровне морского дна создается так называемая "пузырьковая завеса". Эта завеса обеспечивает защиту морских обитателей, снижая уровень шума более чем на 90 % [4].

Воздух для создания пузырьков поставляется полностью безмасляными воздушными компрессорами AtlasCopcoRental.

Явление кавитации широко используется в технологических процессах при изготовлении различного вида деталей. Например, при ультразвуковой очистке поверхностей твердых тел [9].

Исследования в области динамики газожидкостных сред способствовали большому развитию методов защиты в различных отраслях. Это позволило модернизировать и усовершенствовать не только объекты оборонно-промышленного комплекса, но и технологии, применяемые в технологических процессах гражданского производства и экологической защиты окружающей среды.

Необходимо исследовать цикл жизни пузырька [10]. Выделяем три основных периода: создание, существование и разрушение. Наиболее важен период существования пузырька. Необходимо определить размеры пузырьков, скорость их всплытия и траекторию движения, параметры деформации и продолжительность жизни. (Рисунок 1. Цикл жизни пузырька и необходимые параметры.)



Рисунок 1. Цикл жизни пузырька и необходимые параметры

При активном освоении морского пространства широко используются взрывные технологии. В связи с этим актуален вопрос о методах защиты морской фауны и её обитателей от негативного воздействия ударной воздушной волны (УВВ). Одним из возможных методов защиты от ударной волны является метод создания конструкции, которая сможет препятствовать ее прохождению, а также будет защищать морскую фауну и ее обитателей.

Необходимо выделить параметры как пузырька, так конструкции. (Рисунок 2. Схема защиты сооружения с помощью пузырьковой завесы)

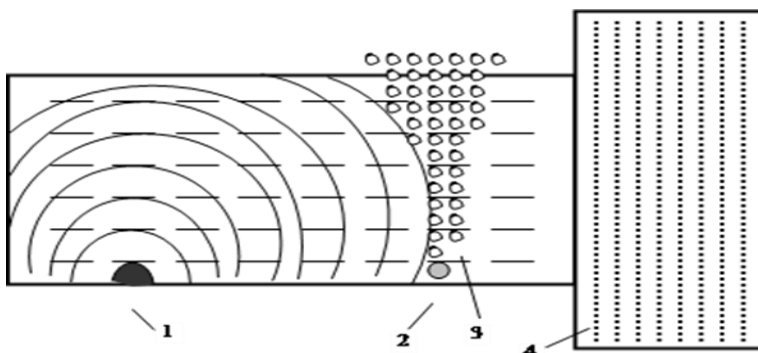


Рисунок 2. Схема защиты сооружения с помощью пузырьковой завесы:
 1- заряд;
 2- воздухораспределитель; 3- пузырьки воздуха; 4 - охраняемый объект.

Прохождение ударной волны через слой воздушно-пузырьковой среды исследовалось автором [11], который доказал, что процесс взаимодействия ударной волны со слоем пузырьков приводит к расслоению волны вследствие передачи части энергии пузырьковой среде. При интенсивности волны, близкой к критической, исходный пузырь лишь делится на две части, а при перепаде давления, вдвое превышающем критическое значение, образуется уже множество пузырьков. Затраты на дробление будут составлять до 15% от внутренней энергии пузырька [12]. Более значительные затраты энергии ударной волны идут на динамическое сжатие пузырьков воздуха.

Динамический процесс распространения волн давления в пузырьковых средах определяется физико-механическими и термодинамическими свойствами [13,14]. В ряде работ авторов [15-17] на основе концепции эффективных динамических свойств были получены зависимости для эффективной динамической плотности гетерогенных сред различных типов. При этом эффективная динамическая плотность и эффективная трансляционная вязкость зависят как от свойств материала компонентов, так и от частоты вибрационных воздействий [18,19].

На основе анализа поступательных колебаний жидкости с деформируемыми пузырьками авторами [20-22] теоретически обоснованы резонансные зависимости эффективных динамических свойств пузырьковых сред. А также выделена дисперсия звука,

связанная с резонансом объемных осцилляций пузырьков, доказано существование резонансной дисперсии, обусловленной резонансом сфероидальных колебаний пузырьков.

Результаты физических экспериментов удовлетворительно согласуются с теоретическими зависимостями, как по параметрам скорости звука, так и по коэффициентам затухания. При этом в газожидкостной смеси, где несущая жидкость обладает высокой вязкостью, резонансные особенности полностью исчезли. При колебаниях сферических пузырьков на поверхности жидкости возникает нагрузка на оболочку пузырька, вызывающая деформацию. Пузырьки приобретают вид эллипсоида. Волна, вызывающая деформацию, теряет энергию и затухает. Следовательно, этот принцип деформации оболочки сферических пузырьков можно использовать и для поглощения колебаний частиц этой волны и для создания завесы, которая защитит от источников шума.

В ходе исследования проведен анализ научных работ зарубежных и российских авторов глубиной около сорока лет. Выделен жизненный цикл пузырька, состоящий из трех периодов. Проанализирован наиболее важный период- период существования, в котором определены некоторые параметры, необходимые для создания «пузырьковой» завесы (Скорость всплытия ($V = 10$ м/с), Траектория движения – хаотичный порядок, Деформация пузырьков – вид эллипсоида, диаметр ($d < 2$ мм).

Литература

1. Логвинович Г.В. Гидродинамика течений со свободными границами. — Киев: Наукова думка, Институт гидромеханики, 1969.
2. Ефремов И. И. Линеаризована теория кавитационного обтекания. - Киев: Наукова думка, 1974.
3. Перник А.Д. Проблемы кавитации. Л.: Судостроение, 1966.
4. <https://www.atlascopco.com/ru-ru/Rental/news/Bubble-curtain-of-Atlas-Copco-Rental-protects-sea-life>
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кавитация>
6. Данилов Ю., Борисова А. Двухсредныйбуллпап (рус.) // Военный парад : журнал. — 2008. — Март-апрель (т. 86, № 02). — С. 52-54. — ISSN 1029-4678.
7. Данилов Ю., Борисова А. Двухсредныйбуллпап (рус.) // Военный парад : журнал. — 2008. — Март-апрель (т. 86, № 02). — С. 52-54. — ISSN 1029-4678.

8. <https://www.scmp.com/news/china/article/1580226/shanghai-san-francisco-100-minutes-chinese-supersonic-submarine>
9. Пирсол И. Кавитация. Пер. с англ. Ю. Ф. Журавлева. М., «Мир», 1975. 95 с.
10. Кузнецова Т.В., Власова А.М., Гуськов А.В., Милевский К.Е. Физика взрыва: теория, эксперимент, приложения. Можно ли пузырьками создавать завесу от ударных звуковых волн? С. 27-28.
11. Кедринский В.К., Распространение возмущений в жидкости, содержащей пузырьки газа. –ПМТФ,- 1968, №4. С.29-34
12. Галкин В.В., Гильманов Р.А., Дроговейко И.З. Взрывные работы под водой. –М.: Недра, 1987
13. Гранат Н.Л. Установившиеся колебания сосудов с двухфазной смесью // Изв. АН СССР. Механика и машиностроение. 1964. № 5. С. 3–25.
14. Федотовский В.С. Концепция эффективных динамических свойств гетерогенных систем при виброакустических воздействиях // Теплофизические аспекты безопасности ВВЭР. ТрудыМежд. конференции. Обнинск, 1998. Т.1. С. 215–220.
15. Федотовский В.С., Верещагина Т.Н., Дербенев А.В., Прохоров Ю.П. Экспериментальные исследования резонансной дисперсии низкочастотного звука в газожидкостных средах // Тр. Регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Калуга: Полиграф-Информ, 2005. С. 88–104.
16. Федотовский В.С., Прохоров Ю.П., Верещагина Т.Н. Динамическая плотность и скорость распространения волн давления в дисперсных средах // Теплоэнергетика. 2001. Т. 48, № 3. С. 70–74.
17. Федотовский В.С., Верещагина Т.Н., Дербенев А.В. Распространение низкочастотного звука в пузырьковых средах // Теплогидравлические аспекты безопасности ЯЭУ с реакторами на быстрых нейтронах. Тез. межотр. конф. Обнинск. 2005. С. 189–191.
18. Fedotovskiy V.S., Vereshchagina T.N., Terenik L.V. Dynamics of bubble media under vibration // Two-phase flow modelling and experimentation. Proc. of 3rd Int. Symp. Pisa, 2004. P. № ven35.

ТЕРМОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИТОВ YSZ/MOSI₂ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

А.Ю. Ларичкин¹, М.А. Есиков^{1,2}, А.В. Ухина³
Институт Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН¹
Новосибирский государственный технический университет²
Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН³
г. Новосибирск, esmax@ya.ru

В работе методом искрового плазменного спекания получены композиты на основе нано и микропорошков диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия (YSZ), с различным содержанием дисилицида молибдена (MoSi₂). После отжига при 1000 С образцы с добавками MoSi₂ растрескиваются. Образец, полученный из чистого нанопорошка YSZ продемонстрировал наилучшую термостойкость.

Composites based on nano and yttria-stabilized zirconia micropowders with different contents of molybdenum disilicide (MoSi₂) were obtained using spark plasma sintering. After annealing at 1000 C, the samples with MoSi₂ additives crack. The sample obtained from pure nanopowder YSZ demonstrates the best heat resistance.

Теплозащитные материалы применяются для защиты элементов машин от воздействия высоких рабочих температур. Наибольшее применение они нашли при защите лопаток газотурбинных двигателей, поршневых элементов дизельных двигателей, прокатных роликов для горячего деформирования металлов и др. В теплозащитных композиционных покрытиях, работающих в условиях тепловых переменных или циклических нагрузок, возникают микротрещины и расслоение, которые в итоге приводят к разрушению покрытия. Разработка таких композитов идет в нескольких перспективных направлениях, таких как использование полых сферических порошков, формирование функционально-градиентных слоев и получение наноструктурных покрытий.

Материалы на основе оксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, широко используется 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 MoSi₂ [1]. Благодаря наличию MoSi₂, покрытия обладают

способностью самозалечивания микротрещин, что увеличивает срок службы ТЗП.

В работе рассмотрено влияние характеристик порошка и условий спекания на плотность и микроструктуру материалов YSZ и YSZ/MoSi₂, и проверена термостойкость к разовому отжигу.

В экспериментах использовались коммерческие микро- и нанопорошки 8YSZ (ZrO₂-8Y₂O₃) (Hongwu Co., Ltd., Китай). Микропорошок MoSi₂ был синтезирован из смеси молибденовых и кремниевых порошков методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Исходная микроструктура порошков показана на рис. 1.

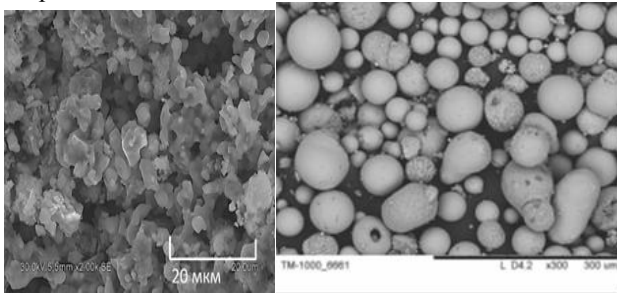


Рис. 1 - Микрофотография синтезированного порошка MoSi₂ (слева), исходного микропорошка YSZ (справа)

Порошки механически измельчали на воздухе с использованием планетарной шаровой мельницы АГО-2 в течение 3 минут. Консолидированные образцы в виде таблеток диаметром 20 мм (рис. 2) получали с использованием установки Spark Plasma Sintering LABOX-1575 (Sinterland Inc., Япония). Плотность спеченных образцов рассчитывали по их массе и размерам. Характеристики порошков, условия обработки и плотность спеченных образцов приведены в таблице 1. Отжиг образцов производили в муфельной печи NABERTHERM с выдержкой в течение 1 часа, при 1000 Со.

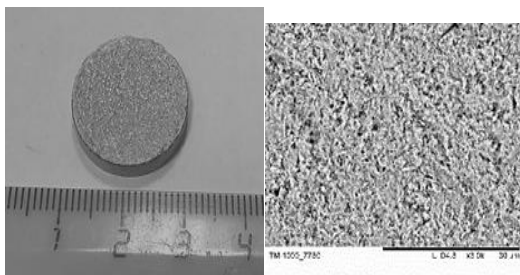


Рис. 2. Таблетка, полученная SPS-спеканием нанопорошка YSZ (слева), микрофотография ее поперечного излома (справа)

Таблица 1

Состав порошка	Обработка	Условия спекания	Плотность , г см-3
YSZ микропорошок (до 94 мкм)	Механическая активация в течение 3 минут в воздушной среде.	Нагрев до 1050 Со со скоростью 100 Со/мин, выдержка 10 min, при постоянном приложенном давлении одноосного сжатия 50 МПа в вакуумной среде.	~5.0
YSZ+10масс.%MoSi2			~4.1
(нано) YSZ (80 нм)			~4.2
(нано) YSZ+0.1% масс.%MoSi2			~4.3
(нано) YSZ+5% масс.%MoSi2			~3.85
(нано) YSZ+10% масс.%MoSi2			~3.9
YSZ нанопорошок	Нет	Спекание при 1100 Со с аналогичным и параметрами.	~4.8
YSZ нанопорошок	Нет		

После отжига образцы, содержащие 5% и 10% добавок MoSi₂ растрескиваются и становятся сыпучими. Образец из микропорошка YSZ так же покрылся трещинами. Целостность сохранили образцы полученные из чистого нанопорошка YSZ, и с добавкой 0.1% масс. MoSi₂.

Исходя из плотностей полученных компактов можно сделать вывод, что добавки MoSi₂ ухудшают спекаемость порошка YSZ при температуре спекания 1050 Co, несмотря на более низкую температуру плавления, составляющую у MoSi₂ - 2030 Co, когда у YSZ температура плавления 2700 Co.

При отжиге на воздухе в образцах с добавками MoSi₂ идет реакция окисления дисилицида молибдена, оксид которого в свою очередь реагирует с оксидом циркония с образованием циркона. В этих реакциях с образованием стекловидной заполняющей пространств трещиной фазы заключается предлагаемый в [1] механизм самозалечивания микротрещин. В представленных опытах этот эффект не сыграл положительной роли и образцы значительно разупрочнились и рассыпались (рис 3.).



Рис. 3. Фотографии образцов после отжига при 1000 Co на воздухе: образец полученный из чистого нанопорошка YSZ(слева), рассыпавшийся образец из нанопорошка YSZ с 10%масс.MoSi₂ (справа)

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-33-00713.

Литература:

1. 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.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕАГИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗАЖИГАНИЯ

К.Н. Макарова, В.Е. Зарко
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kn.makarova@yandex.ru

В работе представлены результаты расчета теплокинетических параметров модельного энергетического материала по времени задержки зажигания, рассчитанной с использованием программы CTEM. В расчетах варьировались значения энергии активации (E_a), теплоты плавления (Q_m), а также коэффициента прозрачности энергетического материала (α). Расчет теплокинетических параметров проводился с использованием критерия зажигания Мерджанова.

The paper presents the results of calculation of reaction kinetic parameters of a model energetic material based on the ignition delay time calculated using the CTEM program. The values of the activation energy (E_a), the heat of fusion (Q_m), and the transparency of the energetic material (α) were varied in the calculation. The calculation of kinetic parameters was carried out using the Merzhanov ignition criterion.

Широкое применение энергетических материалов (ЭМ) в военной промышленности, авиа- и ракетостроении требует тщательного изучения механизмов их зажигания и горения. Одним из практических способов изучения кинетики твердофазного реагирования ЭМ является экспериментальное определение задержек зажигания с последующей обработкой полученных данных на основе критерия зажигания Мерджанова, который позволяет рассчитать энергию активации ЭМ (E_a), а также

значение Q_k . В данной работе численное моделирование играло роль виртуального эксперимента, в котором варьировались значения теплового потока и определялись времена задержки зажигания.

Целью работы – определение согласующих коэффициентов в критерии зажигания, позволяющих обоснованно находить значения параметров твердофазной кинетики реагирования ЭМ.

Обозначения: t - время, x - координата, V_c - скорость горения, V - скорость движения газа, p - давление, y_i - относительная массовая концентрация химической компоненты, x_i - относительная мольная концентрация химической компоненты, M_i - молекулярный вес i -го компонента, R - универсальная газовая постоянная, L - удельная теплота

испарения твердой фазы, D - коэффициент диффузии, q - удельный внешний тепловой поток, f - частота пульсаций, α_{gi} , α_{sj} - коэффициенты поглощения газовой и конденсированной фаз в законе Бугера. Индексы: s - параметры твердой фазы, l - параметр жидкой фазы 1, 2, 3 -- компоненты газовой фазы (пар, полупродукт, конечный продукт), s - параметры на поверхности горения, m - параметры точки плавления.

Постановка задачи

В качестве объекта исследования примем ЭМ, характеристики которого представлены в таблице 1.

На поверхность ЭМ воздействуют внешним тепловым потоком интенсивностью q . Часть полученной энергии распространяется вглубь ЭМ, а часть затрачивается на разогрев поверхности ЭМ. Под действием теплового потока материал на поверхности плавится с образованием жидкой фазы, из которой за счет нагрева происходит испарение исходного вещества и выход газообразных продуктов разложения.

Таблица 1 – Характеристики ЭМ

Параметр	Значение
Плотность ρ , кг/м ³	1 720
Удельный тепловой эффект химической реакции Q , кДж/кг	1 700
Коэффициент теплопроводности λ , кВт/м·К	$2.3 \cdot 10^{-4}$
Удельная теплоемкость c , кДж/кг·К	1.256
Температура плавления T_m , К	480
Температура кипения T_b , К	575
Предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса k_0 , с ⁻¹	10^{19}

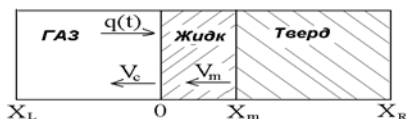


Рисунок 1 – Схема расчетной области

Для подвижной системы координат можно записать следующую систему уравнений [1]:

а) твердая фаза ($x_m(t) \leq x \leq R$):

$$C_c \rho_c \left(\frac{\partial T_c}{\partial t} - v_m \frac{\partial T_c}{\partial x} \right) = \lambda_c \frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2} + q(0, t) \sum_{j=1}^N \delta_{gj} \alpha_{cj} \exp(-\alpha_{cj} x) \quad (1)$$

на границе

$$T_c(x, 0) = T_0, \quad T_c(x_m, t) = T_m, \quad \left(\frac{\partial T_c}{\partial x} \right)_{x=R} = 0, \quad V_m = \frac{dx_m}{dt},$$

б) жидкая фаза

($0 \leq x \leq x_m$):

$$C_l \rho_c \left(\frac{\partial T_c}{\partial t} - (V_c + \frac{x}{x_m} (V_m - V_c)) \frac{\partial T_c}{\partial x} \right) = \lambda_l \frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2} + \Phi_{c1} + \Phi_{c2} + q(0, t) \sum_{j=1}^N \delta_{gj} \alpha_{cj} \exp(-\alpha_{cj} x) \quad (2)$$

$$\rho_c \left(\frac{\partial y_c}{\partial t} - (V_c + \frac{x}{x_m} (V_m - V_c)) \frac{\partial y_c}{\partial x} \right) = -\omega_{c1} - \omega_{c2} \quad (3)$$

$$q(0, t) = q_0 \sum_{j=1}^N \delta_{gj} \exp(-\alpha_{gj}) \int_{x_L}^0 \rho y_1 dx$$

- лучистый поток, падающий на горящую поверхность с учетом его поглощения в газовой фазе,

$$\Phi_{ci} = Q_{ci} \omega_{ci}, \quad \omega_{ci} = A_{ci} \rho_c y_c \exp(-E_{ci}/RT_c), \quad i = 1, 2$$

на границе

$$y_c(x_m, t) = 1, \quad T_c(x, 0) = T_0, \quad T_c(x_m, t) = T_m, \quad -\lambda \left(\frac{\partial T_c}{\partial x} \right)_{x=x_m+0} + L_m V_m \rho_c$$

с) газовая фаза ($x_L \leq x \leq 0$) состоит из двух компонентов, пара и горючего газа с одинаковой температурой и конечными продуктами горения. Кроме того, в газовой фазе возможно действие искрового заряда с мощностью W , который дает дополнительное тепловыделение.

С учетом всех факторов уравнение для газовой фазы примет вид:

$$C_p \rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} - (V - V_c - \sum_{i=1}^k \frac{C_{pi}}{C_p} D_i \frac{\partial y_i}{\partial x}) \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda \frac{\partial T}{\partial x}) + \Phi_1 + \Phi_2 + q_0 \rho y_1 \sum_{j=1}^N \delta_{gj} \alpha_{gj} \exp(-\alpha_{gj}) \int_{x_L}^x \rho y_1 dx + W, \quad (4)$$

$$\rho \left(\frac{\partial y_1}{\partial t} + (V - V_c) \frac{\partial y_1}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\rho D_1 \frac{\partial y_1}{\partial x}) - \omega_1 \quad (5)$$

$$\rho \left(\frac{\partial y_2}{\partial t} + (V - V_c) \frac{\partial y_2}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\rho D_2 \frac{\partial y_2}{\partial x}) - \omega_2 + \omega_1 \quad (6)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} - V_c \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

$$p = R\rho T/M \quad (8)$$

$$\frac{1}{M} = \left(\frac{y_1}{M_1} + \frac{y_2}{M_2} + \frac{y_3}{M_3} \right), \quad \Phi_1 = Q_1 \omega_1, \quad \Phi_2 = Q_2 \omega_2$$

$$\omega_1 = A_1 (\rho y_1)^{N_1} \exp(-E_1/RT), \quad \omega_2 = A_2 (\rho y_2)^{N_2} \exp(-E_2/RT),$$

$W = \text{const} = qz$ при $t_{z_1} \leq t \leq t_{z_2}$ и $x_L \leq x \leq 0$; $W = 0$ в других случаях

на границе

$$T(x,0) = T_0, \quad y_1(x,0) = y_2(x,0) = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial y_1}{\partial x} = \frac{\partial y_2}{\partial x} = 0 \quad \text{при } x = x_L$$

$$y_1 + y_2 + y_3 + 1, \quad D_1 \frac{\partial y_1}{\partial x} + D_2 \frac{\partial y_2}{\partial x} + D_3 \frac{\partial y_3}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

В момент зажигания энергетического материала выполняется условие зажигания [2]

$$q_s^2 = \lambda \rho Q k_0 \frac{RT_s^2}{E} \exp\left(\frac{-E}{RT_s}\right) \quad (10)$$

Результаты

Параметры, варьируемые при расчете, представлены в таблице 2. Расчеты времени зажигания проводились в программе СТЕМ. При расчете учитывалось, что поглощение лучистой энергии происходит по закону Бугера-Ламберта-Бера. Прозрачность вещества уменьшается, при увеличении коэффициента поглощения α . При значении коэффициента поглощения $\alpha = 0$ считается, что вся энергия поглощается на поверхности ЭМ.

Таблица 2 – Варьируемые параметры

Еа, кДж/моль	200	250	300
Qт, кДж/кг	0	100	200

α , 1/м	0	50000	100000	200000
----------------	---	-------	--------	--------

q, кВт/м ²	400	600	800	1000	1200
-----------------------	-----	-----	-----	------	------

По рассчитанному времени зажигания находили значение температуры инертного нагрева из соотношения

$$T_3 = T_0 + \frac{2q}{\sqrt{\pi\lambda c\rho}} \sqrt{t_3} \quad (11)$$

С помощью температуры инертного нагрева по уравнению 10 находим значение энергии активации и комплекс Qk_0 .

По результатам расчета сделаны следующие выводы:

1) Увеличение исходного значения энергии активации приводит к увеличению времени зажигания, т.к. больше энергии требуется для начала химической реакции, а также приводит к уменьшению рассчитываемого значения энергии активации и Qk_0 .

2) При увеличении прозрачности время зажигания при прочих равных параметрах увеличивается, а значения рассчитываемых параметров уменьшается.

3) При увеличении теплоты плавления происходит уменьшение рассчитываемых параметров энергии активации и Qk_0 , а время зажигания увеличивается, т.к. часть полученной энергии затрачивается на плавление.

Минимальная ошибка определения энергии активации составляет 10.5% ($E_a = 200000$, $Q_m = 0$, $\alpha = 0$), а максимальная 74.4% ($E_a = 250000$, $Q_m = 200$, $\alpha = 50000$). Отсюда следует вывод, что при помощи критерия зажигания Мержанова можно наиболее достоверно рассчитывать значения теплокINETических параметров только для непрозрачного ЭМ без учета плавления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-03-00217).

Литература

1. Теория горения и взрыва: учебное пособие / Л. К. Гусаченко, В. Е. Зарко, А. Д. Рычков, С. П. Ивания, В. Н. Гораш. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 120 с.

2. Аверсон А.Э., Розенбанд В.И. Приближенные методы расчета критических условий зажигания. // Физика горения и взрыва, 1968, №4. – 519-525 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗРЫВНОГО НАГРУЖЕНИЯ СТАЛИ 110Г13Л

М.И. Уванов , А.В. Гуськов

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, a.guskov@corp.nstu.ru

В статье поднимается проблема изучения изменения механических свойств стали 110Г13Л после нагружения взрывным воздействием. Этот вопрос является довольно актуальным в связи с тем, что данная сталь при динамическом воздействии ещё больше упрочняется. Поэтому существует большой интерес в том, чтобы определить, как и при каких нагрузках изменяются механические свойства стали. В данной статье приведена оценка деформированного состояния и распределения напряжений по результатам численного моделирования образца из стали 110Г13Л при различных величинах нагружения в программном комплексе Ansys.

In this article raises the problem of studying changes in the mechanical properties of steel 110G13L after loading with an explosive effect. This question is quite relevant due to the fact that this steel under the dynamic impact is further strengthened. Therefore there is a great interest in defining as well as at what loadings mechanical properties of steel change. In this article assessment of the deformed state and distribution of tension by results of numerical modeling of a sample from steel 110G13L at various sizes of loading is given in the program complex Ansys.

Способность стали Гадфильда (110Г13Л)[1],[2] упрочняться при воздействии на неё ударных нагрузок или больших давлений делает её в ряде случаев практически незаменимой для изготовления деталей и узлов машин и механизмов, работающих при интенсивных динамических нагрузках. В настоящее время существуют различные варианты упрочнения данной стали, одним из которых является упрочнение стали взрывом.

Суть данного метода упрочнения заключается в следующем: по всей планируемой поверхности упрочнения изделия из стали 110Г13Л наносится пластическое взрывчатое вещество(ВВ). При взрыве возникает высокое давление на фронте ударной волны, высокая скорость движения волны в металле, превышающая скорость звука в нём, откуда следует малая длительность всего процесса. В таких условиях возможно значительно изменять механические свойства металла, практически не изменяя его формы без существенного нагрева изделия[3].

Проводились исследования влияния взрывного нагружения на поверхность изделий из стали Гадфильда, представленные в [1]-[4]. В работах отмечается, что на результат упрочнения стали взрывом влияют количество и свойства взрывчатого вещества, величина заряда, способ нанесения взрывчатого вещества на упрочняемую поверхность, направление распространения ударной волны, число повторных обработок взрывом. Исследуются следующие показатели упрочнения: повышение предела текучести, предела прочности и твердости, а также геометрический показатель – глубина упрочненного слоя. Но при большом количестве ВВ увеличивается нагружение изделия, что может привести к снижению ударной вязкости материала, а это в свою очередь приводит к хрупкому разрушению изделия. В связи с этим ставится вопрос о возможности численного моделирования процесса изменения механических свойств материала изделия из стали 110Г13Л при взрывном нагружении.

В виде первого этапа работы был проведен расчет двумерной модели в программном комплексе Ansys, модуль Autodyn. Расчетная модель включала в себя образец из стали 110Г13Л с размерами 33x44 мм, взрывчатое вещество(ВВ) с основными характеристиками, приведенными в таблицах 1 и 2, с толщиной листа ВВ 3, 4 и 5 мм, а также окружающую среду, в виде замкнутого пространства заполненного воздухом, моделирующая взрывную камеру.

Таблица 1 – Характеристики стали 110Г13Л

Механические свойства					
σ_B , МПа	σ_T , МПа	ρ , г/см ³	E, ГПа	G, ГПа	ν
830	380	7.9	210	82	0.3

Таблица 2 – Характеристики ВВ ЛВВ 11-1

Плотность, г/см ³	1.42
Скорость детонации, м/с	7400

Из результатов видно, что наибольшее влияние взрывная волна оказывает на материал в диапазоне толщины от 1 до 11 мм. Изменение диапазона глубины упрочнения от толщины листа ВВ можно наблюдать из распределения давления по толщине образца (рис.1-3). Влияние толщины листа ВВ на глубину упрочняемого слоя представлено в виде графика зависимости на рисунке 4. При этом деформации образца

составляют не более 0.003 % для $h=3$ мм., 0.008 % для $h=4$ мм., 0.015 % для $h=5$ мм.

Максимальные напряжения, возникающие на поверхности и по толщине образца, от взрывной волны составили 300-380 МПа, что не превышает предела прочности стали 110Г13Л.

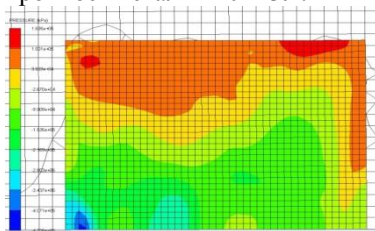


Рисунок 1 – Распределение давления взрыва ($h=3$ мм), МПа

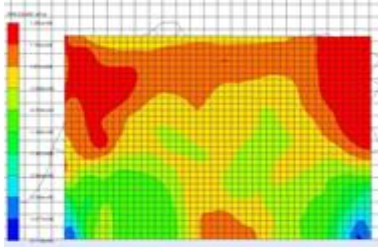


Рисунок 2 – Распределение давления взрыва ($h=4$ мм), МПа

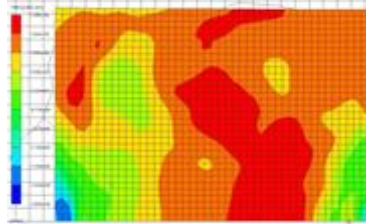


Рисунок 3 – Распределение давления взрыва ($h=5$ мм), МПа

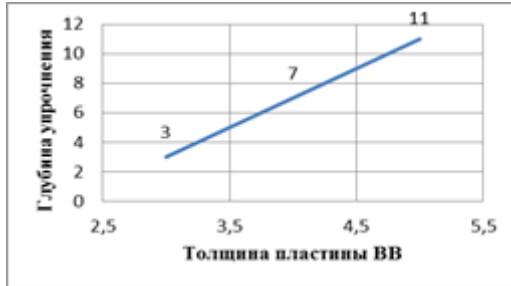


Рисунок 4 – Зависимость глубины упрочняемого слоя от толщины листа ВВ

Следующим этапом работы будет сравнение численного моделирование с результатами лабораторных исследований.

Литература

1) Гуськов А. В. Изменение микроструктуры стали Гадфильда, под действием высокоскоростной энергии продуктов взрывчатого вещества / А. В. Гуськов, Л. И. Тушинский, К. Е. Милевский, А. Ф. Петров // Вычислительная механика деформируемого твердого тела: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф., Москва, 31 января – 2 февраля, 2006. – Т.2. - М.: Изд-во МИИТ, 2006. - С.134–137

2) Гуськов А. В. Исследование механических свойств стали Гадфильда после ударно-волнового нагружения = Studying mechanical properties of Hadfield steel after shock-wave loading / А. В. Гуськов, А. С. Долматов, К. Е. Милевский, Ю. П. Яковлева // Решетневские чтения : материалы 20 юбил. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракетно-косм. систем акад. М. Ф. Решетнева (Красноярск, 9–12 нояб. 2016 г.): в 2 ч. – Красноярск, 2016. – Ч. 1. – С. 551–552

3) Гуськов А. В. К вопросу о физико-механических свойствах стали Гадфильда после ударно-волнового нагружения / А. В. Гуськов, В. А. Ломан, К. Е. Милевский // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 16 Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию Победы Великой Отечественной войне (Новосибирск, 22–24 апр. 2015 г.). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – С. 252-256

4) Гуськов А. В. Механические свойства стали Гадфильда после низкоскоростных методов обработки и обработки взрывом = Mechanical properties of Hadfield steel after low speed method for processing and

handling explosion pressure / А. В. Гуськов, А. С. Долматов, К. Е. Милевский, Ю. П. Яковлева // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики : 6 междунар. молодеж. науч. конф., Томск, 16–18 нояб. 2016 г. – Томск: Изд-во ТГУ, 2017. – С. 42–48. – (Труды Томского государственного университета. Т. 300. Серия физико-математическая)

УВЕЛИЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОБИТИЯ ГОМОГЕННОЙ БРОНИ БРОНЕБОЙНО ОПЕРЕННОГО ПОДКАЛИБЕРНОГО СНАРЯДА (БОПС)

В.П.Халеменчук, Милевский К.Е.

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск ,slava.khalemenchuk@mail.ru**

В статье рассмотрены методы повышения глубины пробития однородной брони броневой оперенного подкалиберного снаряда (БОПС). Предложена конструктивная особенность для увеличения глубины пробития однородной брони .

The article discusses methods for hanging the penetration depth of homogeneous armor of an armor-piercing feathered sabot projectile (AFSP). A design feature has been proposed for increasing the penetration depth of homogeneous armor.

Основными тактика техническими характеристиками БОПС, являются параметр: глубина пробития и за броневое воздействие снаряда . Цель данной работы определить способы увеличения глубины пробития однородной брони.

БОПС относится к кинетическому оружию. В таких типах боеприпасов пробитие происходит за счет кинетической энергии (рис.1).

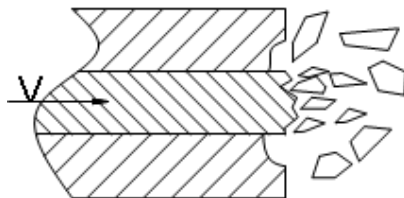


Рис.1-пробитие брони БОПС

Способы увеличения пробития гомогенной брони: повышение начальной скорости метания снаряда , увеличение скорости взаимодействия снаряда с преградой за счет снижения потери скорости полета снаряда на траектории или дополнительного разгона снаряда (его элементов) до встречи с преградой , увеличение поперечной нагрузки (отношение массы активной части снаряда к площади поперечного сечения) активной части снаряда , конструктивные приемы [1] .

Повышение начальной скоростей метания снаряда может достигаться совершенствованием зарядов и параметров внутренней баллистики. Совершенствование метательных заряда может происходить двумя способами : увеличение массы метательного снаряда и увеличением его энергетических характеристик . что ограничено калибром ствола и приводит к уменьшению износостойкости ствола , что крайне нежелательно.

Увеличение скорости взаимодействия снаряда с преградой достигается: совершенствования аэродинамических качеств его полетной части, что достигло предела. Так как приводит к понижению прочностных характеристик снаряда, что приводит к уменьшению глубины пробития брони [1].

Увеличение поперечной нагрузки активной части снаряда. На сегодня день этот способ является наиболее эффективен. Такой способ может быть осуществлен с помощью увеличения длины бронебойного сердечника (L) по отношению к диаметру ($2R$), оно составляет 20-25, а в перспективе до 40, или использование высокоплотных материалов для изготовления бронебойных сердечников и корпусов БОПС, используют сплавы вольфрама и обедненного урана с плотностью 19000-19300 кг/м³. Основная проблема реализации указанного решения является возможность метания снаряда большого удлинения без потери устойчивости траектории и прочностных характеристик [1].

Конструктивные приемы, которыми можно обеспечить увеличение броне пробиваемости, прочность и ударостойкость при взаимодействии с броней. Что является наиболее перспективным способом увеличения характеристик и глубины пробития снаряда. Например: патент США4044679, где корпус выполнен из в виде концентрических оболочек из прочных волокон карбида вольфрама , гафния или из прочной ленты намотанной на бронебойный сердечник [1].

В снаряде ЗБМ-42 «МАНГО» [1] для увеличения глубины пробития броневой стержни были выполнены из высокопрочного сплава вольфрама благодаря чему увеличилась глубина пробития брони.

В момент израсходования кинетической энергии броневой стержня, при пробитии брони, происходит застревание броневой стержня в броне, что приводит к закупориванию отверстия проделанного броневой стержнем в броне, или частичное пробитие, в результате которого осколки, образованные от броневой стержня и дробления брони, имеют маленькую массу, скорость и количество. Что не может обеспечить высокую вероятность поражения цели.

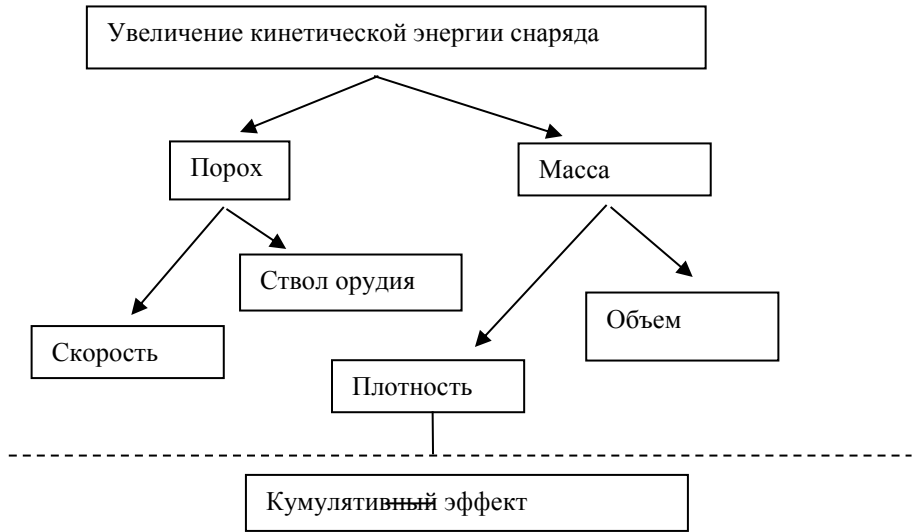


Рис.2

Данную проблему можно решить с помощью введения в головную часть броневой стержня эллипсоидную полость облицованную медью. Таким образом мы используя два способа увеличения глубины пробития брони БОПС: увеличение поперечной нагрузки и конструктивные изменения (рис.2). И получаем новый тип боеприпаса-«Двухступенчатый броневойно-кумулятивный снаряд».

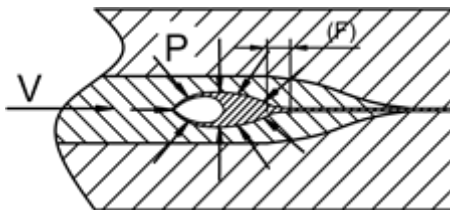


Рис.3- БОПС с эллипсоидной полостью облицованной медью.

Благодаря этому формируется кумулятивная струя на определенном фокусном расстоянии (F), при прохождении снаряда в броне, в зоне всестороннего сжатия. В этой зоне на эллипсоидную полость облицованную медью оказывается достаточное всестороннее давление, со стороны брони и бронебойного стержня, имеющего скорость 1700м/с-2100м/с, где происходит её схлопывание и образование кумулятивной струи, из медной облицовки и имеющую скорость свыше 5000м/с. Которая обеспечивает достаточное пробитие брони и достаточно высокую вероятность поражения цели (рис.3).

Литература:

1. Боеприпасы : учебник : в 2 т. / под общей ред. В.В. Селиванова.- Б75 Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2016
2. Заявка №2018125161 «Бронебойный оперенный подкалиберный снаряд», / Гуськов А. В, Милевский К. Е, Халеменчук В. П.
3. Патент 168767, МКИ F42В 14/06(2006/01) Российская Федерация. Бронебойный оперенный подкалиберный снаряд Осколочно-фугасный снаряд / Гуськов А.В. Милевский К.Е. , Долматов А.С. , Кузнецов Е.А.)- № 2016129950; заявл. 2016-07-20; опубл. 2017-02-17, Бюл. №5 .
4. Патент 157003, МКП F42В 12/10(2006/01) Российская Федерация. Кумулятивный боеприпас. / Гуськов А.В. Милевский К.Е. , Долматов А.С. , Корнаков Е.А.)- № 2015125879/03; заявл. 2015-06-29; опубл. 2016-11-20, Бюл. №32.

ВОПРОС О СТАБИЛИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ФОРСИРОВАНИЯ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

М.С. Хребтова, А.В. Гуськов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, maria.khrebtova@yandex.ru

Изменение конструкции ведущего пояска артиллерийского боеприпаса к нарезному оружию – один из актуальных способов стабилизации давления форсирования при выстреле и тем самым повышения характеристик боеприпаса. Переходя к гребенчатой конструкции ведущего пояска можно добиться уменьшения затрат энергии на врезание практически вдвое.

Changing the design of the driving belt of artillery ammunition to a rifle is one of the most relevant ways to stabilize the boost pressure during a shot and thereby improve the performance of the ammunition. Turning to the comb design of the driving belt is possible way to reduce the energy consumption for plunging almost by half.

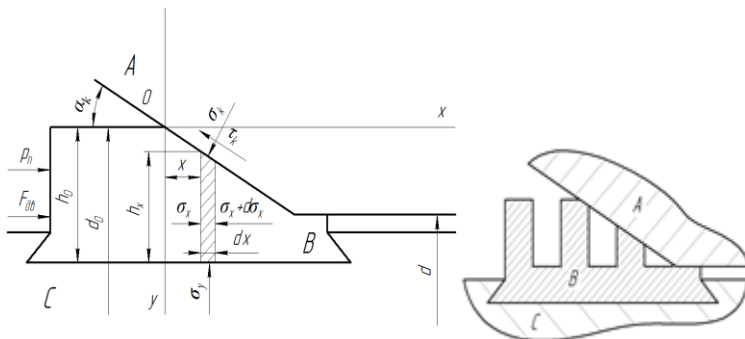
В настоящее время весьма актуален вопрос поиска способов повышения технических характеристик артиллерийского снаряда при уменьшении его себестоимости. Одним из таких способов является изменение конструкции ведущего пояска (ВП) [1].

Воздействие конструкции на характеристики заключается в том, что в зависимости от формы и размеров ВП изменяется количество энергии пороховых газов, затрачиваемое на врезание боеприпаса в нарезы канала ствола. Энергия расходуется на выполнение двух задач:

- формирование необходимого профиля ведущего пояска для обеспечения ведения по нарезам канала ствола и обтюрации пороховых газов;
- создание необходимого давления форсирования в момент завершения формирования профиля ВП, для наибольшего импульса, обеспечивающего разгон снаряда.

Соответственно, при изменении конструкции ВП изменяется и количество энергии, передаваемой боеприпасу, что сказывается на его скорости. Таким образом, управляя геометрией ВП можно обеспечить минимизацию рассеяния 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 пояс, С – корпус боеприпаса,
 а – типовой ведущий поясик либо гребень поясика нового типа,
 б – гребенчатый ведущий поясик

Рисунок 1 – Форма ведущего поясика

Используя методику расчета контактных напряжений, представленной в [3], определим зависимость контактных напряжений, возникающих при врезании ВП в нарезы канала ствола.

В очаге деформирования выделяется элемент шириной dx , на границах которого будут действовать напряжения σ_x и $\sigma_x + d\sigma_x$ вдоль оси Ox , на дне канавки, σ_y и $\sigma_y + d\sigma_y$ по контактной поверхности. Записывается условие равновесия элемента по оси Ox (1) и Oy (2), уравнение пластичности (3):

$$\sigma_x h_x - (\sigma_x + d\sigma_x)(h_x + dh_x) - \tau_k \cos \alpha_k dx - \sigma_k \sin \alpha_k dx = 0$$

$$\sigma_k \cos \alpha_k dx - \tau_k \sin \alpha_k dx - \sigma_y dx = 0$$

$$\sigma_y - \sigma_x = 2k\xi_1$$

где α_k - угол соединительного конуса;

h_x - текущее значение высоты поперечного сечения поясика.

ξ_1 - коэффициент, учитывающий влияние касательных напряжений.

Интегрируя полученные уравнения определяем σ_k и касательные контактные напряжения τ_k с учётом упрочнения материала поясика. На рисунке 2 показана зависимость контактных напряжений в ВП типовой формы от координаты сечения x для большого наклепа материала, $\lambda = 0,4$.

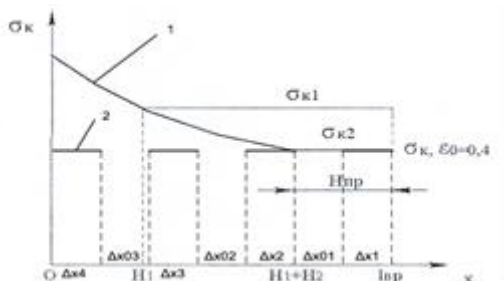


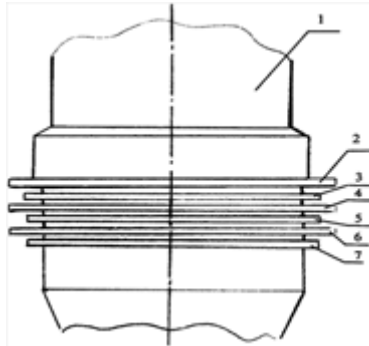
Рисунок 2 – Зависимости контактных напряжений от координаты сечения x для типового (1) и ведущего пояска нового типа (2)

Для пояска нового типа зависимость будет иметь аналогичный вид. Каждый отдельный кольцевой выступ будет представлять собой укороченный типовой ведущий поясок, как представлено на рисунке 1, б, в. Так, для четырех выступов зависимость контактных напряжений σ_k , $\epsilon_{\sigma}=0,4$ от координаты сечения x будет иметь вид, представленный на рисунке 2, где Δx_i – ширина гребня, H_i – ширина между гребнями.

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 $0,45X$ Дж.

С учетом изложенных выше идей была разработана полезная модель конструкции ВП гребенчатой формы [4]. Задачей предлагаемой полезной модели является повышение дальности стрельбы за счет улучшения обтюрирующего действия ведущего пояска и при условии сохранения износостойкости ствола.

Предлагаемая полезная модель (рисунок 4) состоит из корпуса 1 и последовательно выполненных на нем шести кольцевых выступов 2–7, которые чередуются между собой и имеют разные диаметры. Выступы 2, 4, 6 являются удлиненными на величину форсирования по сравнению с 3, 5, 7, длина которых соответствует длине типовых выступов. Ширина выступов соответствует ширине выступов аналогичного ведущего пояска типового снаряда.



1 - корпус снаряда; 2-7 - кольцевые выступы (гребни) чередующихся диаметров

Рисунок 4 – Полезная модель артиллерийского снаряда к нарезному оружию

В момент захода снаряда в нарезную часть канала ствола удлиненные выступы 2, 4, 6 ведущего пояса деформируются в соответствии с формой нарезов канала ствола, а укороченные выступы 3, 5, 7 подвергаются воздействию в значительно меньшей степени, что способствует улучшению обтюрации и уменьшению затрат энергии на продавливание боеприпаса и, как следствие, увеличению дальности стрельбы.

Предложенный вариант конструкции обеспечивает уменьшение затрат энергии на продавливание приблизительно в 2 раза.

Литература:

1. Гуськов А.В. Ведущий пояс, 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.

4. Патент на полезную модель Ru 149768, «Артиллерийский снаряд к нарезному оружию», опубликован 20.01.2015, авторы: Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М.С.

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ИК ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО КОМПЛЕКСА
ПАТЕНТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЗОР ВЕДУЩИХ
ПОЯСКОВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СНАРЯДОВ
СФОРМИРОВАННЫХ ИЗ МАТЕРИАЛА КОРПУСА**

Шумкова А.Е., Милевский К.Е.

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, shumkova.1996@mail.ru**

В статье проведен патентно-информационный обзор ведущих поясков артиллерийских снарядов сформированных из материала корпуса.

The article contains a patent information review of the leading belts of artillery shells formed from the hull material.

Цель работы: выделение способов изготовления ведущего пояска из материала корпуса.

Проанализируем патент «Артиллерийский снаряд к нарезному оружию» [1].

Главной задачей предлагаемой полезной модели является увеличение дальности полета снарядов при выстреле, увеличение площади взаимодействия пороховых газов со снарядом. Поставленная задача достигается тем, что в известном артиллерийском снаряде к нарезному оружию, который содержит стальной корпус и ведущий поясок, ведущий поясок и корпус представляют собой единое целое, и ведущий поясок имеет продольные и кольцевые прорезы, форма и расположение которых повторяет расположение нарезов в канале ствола.

Рисунок 1 представляет фрагмент канала ствола 1 при взаимодействии с корпусом с ведущим пояском 2 в разрезе. Выступы ведущего пояска в вершинах имеют диаметр $D_{д.н.}$, равный диаметру дна нарезов канала ствола, а нарезы между ними выполнены так, что имеют диаметр $D_{ц.у.}$ - диаметр центрирующего утолщения. $D_{п.н.}$ - диаметр поля нарезов канала ствола.

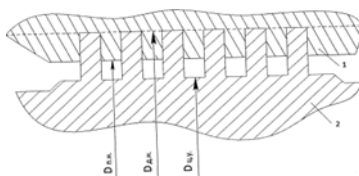


Рис. 1 фрагмент канала ствола

Патент «Артиллерийский снаряд» [2].

Артиллерийский снаряд содержит головной взрыватель, осколочный корпус с взрывчатый наполнением и с ведущим устройством в виде выступов из его материала. Выступы выполнены в виде кольцевых рифлей трапецеидального профиля, основания которых расположены в поперечной канавке корпуса, глубиной, определяемой из соотношения $d/d_1=1,04-1,05$, где d - диаметр калибра, d_1 - диаметр канавки, при этом рифли отстоят между собой и от краев канавки на расстоянии, равном $0,8-1,2$ ширины основания рифлей. В поперечной канавке 9 (рисунок 2) корпуса 4 снаряда из его материала сформированы как минимум два кольцевых ведущих выступа 10 (рифли трапецеидального профиля).

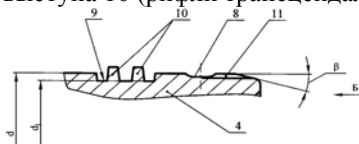


Рис. 2

Выполнение выступов ведущего устройства из материала корпуса снаряда в виде кольцевых рифлей обеспечивает беззачерное их примыкание к спиральным нареза́м ствола при выстреле за счет выдавливания рабочих пазов поперек рифлей непосредственно конфигурацией канала ствола, что исключает прорыв пороховых газов. Это обеспечивает полное преобразование энергии давления пороховых газов на снаряд в метательный импульс.

Размещение кольцевых рифлей в поперечной канавке корпуса позволяет в габаритах снаряда выполнить ведущие выступы посредством перераспределения металла корпуса при раскатке заданного профиля роликом, обеспечив достаточную прочность и необходимую пластичность рифлям.

За счет исключения прорыва пороховых газов через минимальные зазоры ходовой посадки между примыкающими ведущими выступами и стволом уменьшились возмущающие колебания снаряда при движении

по стволу, что, как следствие, привело к повышению кучности боя и дальности стрельбы.

Альтернативный метод выполнения и доработки ведущего пояска из корпуса снаряда представлен в патенте «Артиллерийский снаряд к нарезному оружию» [3]

Ведущий поясок выполнен из стали в виде кольцевых выступов, разделенных кольцевыми канавками, и составляет с корпусом единое целое, кольцевые выступы в продольном сечении выполнены прямоугольной или трапециевидальной формы с углом профиля не более 40° , при этом глубина кольцевых канавок в 1,05-2,5 больше рабочей высоты ведущего пояска, а отношение максимальных статических усилий, затрачиваемых на формирование рабочих выступов упомянутых стального и медного ведущих поясков, не превышает 1,2.

Изобретение поясняется графическими материалами, где на рисунке 3 показан фрагмент корпуса снаряда.

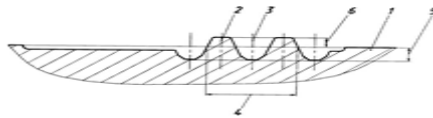


Рис. 3

Предлагаемый артиллерийский снаряд состоит из корпуса 1 и последовательно выполненных на нем кольцевых выступов 2 (гребней), разделенных кольцевыми канавками 3. При этом ширина 4 стального гребенчатого пояска соответствует ширине аналогичного медного ведущего пояска штатного снаряда. Глубина 5 кольцевых канавок не меньше рабочей высоты 6 ведущего пояска. Для дополнительного снижения износа ствола на поверхность стального ведущего пояска наносится антифрикционное покрытие. Гребенчатый ведущий поясок может изготавливаться из материала корпуса как резанием, так и пластическим деформированием, в частности, холодным накатыванием с помощью ролика.

Патент «Артиллерийский снаряд к нарезному оружию» [4].

Технический результат предлагаемой полезной модели является повышение дальности стрельбы за счет улучшения обтюрирующего действия ведущего пояска и при условии сохранения износостойкости ствола. Поставленная задача достигается тем, что в артиллерийском снаряде к нарезному оружию, содержащем стальной корпус и ведущий поясок, который выполнен в виде кольцевых выступов, выполненных в

продольном сечении прямоугольной формы, разделенных кольцевыми канавками. Ведущий поясок составляет с корпусом единое целое и выполнен из одного с ним материала, а кольцевые выступы выполнены чередующимися по длине типовыми и удлиненными на величину форсирования, по отношению к типовым.

На рисунке 3 показан фрагмент корпуса снаряда с ведущим пояском в контакте с каналом ствола 1. D_1 - диаметр поля нарезов канала ствола, а D_2 - диаметр дна нарезов.

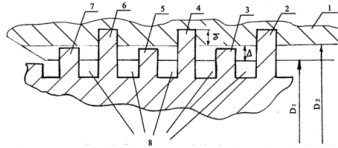


Рис.3

В момент захода снаряда в нарезную часть канала ствола 1 удлиненные выступы 2, 4, ведущего пояска деформируются в соответствии с формой нарезов канала ствола, а укороченные выступы 3, 5, 7 подвергаются воздействию в значительно меньшей степени, что способствует улучшению обтюрации и уменьшению затрат энергии на продавливание боеприпаса и, как следствие, увеличению дальности стрельбы. Вытесняемый полем нареза материал гребней свободно размещается в кольцевых канавках 8 между выступами и в канале ствола практически не остается.

Выводы:

Таким образом, предлагаемые полезные модели способствует уменьшению трудоемкости и увеличению кучности стрельбы.

Литература:

1. Пат. 165294 РФ, F42B 14/02, F42B 10/36. Артиллерийский снаряд к нарезному оружию/Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М.С.; заявитель и патентообладатель Новосиб. гос. тех. ун-т. - №2015153677/03; заявл. 14.12.15; опубл. 10.10.16, Бюл. № 28.

2. Пат. 2365865 РФ, F42B 14/02, F42B 12/20 Артиллерийский снаряд/Аманов В.В., Косихин А.И., Чижевский О.Т., Миков В.А., Дерюгин Л.М.; заявитель и патентообладатель Федеральный науч.-производ. центр «Прибор» - № 2008124148/02; заявл. 19.06.08; опубл. 27.08.09, Бил. № 24.

3. Пат. 2382325 РФ, F42B 14/02, F42B 30/08. Артиллерийский снаряд к нарезному оружию/Ведяев В.Я., Мишнёв В.И., Зеленко В.К., Брызжев А.В.; заявитель и патентообладатель ГУП «КБП» -

№ 2008102351/02; заявл. 21.01.018; опубл. 20.02.10, Бил. №5.

4. Пат. 149768 РФ, F42B 14/02. Артиллерийский снаряд к нарезному оружию/ Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М.С.; заявитель и патентообладатель Новосиб. гос. тех. ун-т. - № 2014128916/11; заявл. 14.07.14; опубл. 20.01.15, Бил. №2.

5. Анализ существующих конструкций ведущего пояска снарядов = Analysis of existent constructions of leading string-course of projectiles / А.В. Гуськов, С.П. Ивания, К.Е. Милевский, Е.Ю. Слесарева // Вестник академии военных наук. - 2012.-№2(39).-С. 152-158

6. Поиск патентов и изобретений, зарегистрированных в РФ //URL: <http://www1.fips.ru>

О СОЦИАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ТЕХНИКИ

И.В. Бугаев, В.А. Шапцев
Тюменский государственный университет,
г. Тюмень, iustum1@yandex.ru

Обосновывается актуальность исследования в направлении разработки методики и сценариев оценки влияния новой техники на граждан и социальные группы. За основу целесообразно взять подход, реализованный в отношении оценки воздействия создаваемых промышленных проектов на окружающую среду.

The article substantiates the relevance of the study. The study is associated with the development of methods and scenarios for assessing the impact of new technology. At the core of the study, it is advisable to put an approach that used already to assess the impact of the industrial projects created on the environment.

Введение

Техника - это сфера деятельности по созданию и использованию технических устройств и систем (обобщение определений из [1-3]). Любой вид человеческой деятельности имеет как положительные, так и негативные последствия для общества и окружающей среды [4]. С давних времен люди начали замечать нежелательные последствия развития техники [5]. Строительство крупных заводов без соблюдения мер предосторожности приводило к экологическим катастрофам. Загрязняются вода и воздух, вырубаются леса и т.д. Все это отрицательно сказывается и на здоровье людей. В области охраны окружающей среды появилась оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) [6].

1. Сведения об ОВОС

«ОВОС намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду способствует принятию экологически грамотного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учёта общественного мнения, разработки мер по уменьшению и предотвращению воздействий» [6]. При этом оцениваются: интенсивность воздействия (поступление загрязняющих веществ в единицу времени); удельная мощность

воздействия (поступление загрязняющих веществ на единицу площади); периодичность воздействия во времени (дискретное, непрерывное, разовое воздействие); длительность воздействия (год, месяц и т.д.); пространственные границы воздействия (глубина, размеры и форма зоны воздействия).

Что касается точных методов, используемых в ОВОС, то их в нормативных документах обнаружить не удалось. Видимо они прописаны в соответствующих стандартах предприятий.

2. Социальная оценка техники

Темпы развития техники (как научных исследований, так и практических) ускоряются в геометрической прогрессии [8]. Мы все являемся свидетелями негативных тенденций, связанных в частности с информатизацией общества [9]. Весьма негативно сказывается на образовании так называемый информационный серфинг [10], которым увлекается молодёжь. Поэтому актуальна проблема определения и прогнозирования степени биологического, психологического и социального влияния технических проектов на социум и на каждого гражданина. Параллельно должно разрабатываться правовое поле техники.

Впервые о СОТ упомянуто в [2] для установления значимости того или иного технического объекта для субъекта или социальной группы. Полагается, что это некоторая (пока не уточнённая) совокупность мероприятий, методов и процедур. Но она необходима для формирования решений по предотвращению негативных последствий использования новой техники [2]. В сценарии реализации СОТ необходимо также накопление результатов и активное использование их в последующем, как для анализа, так и для прогноза, формирования соответствующих закономерностей.

Главной задачей СОТ является регулирование технического прогресса в направлении не только удовлетворения новых потребностей, но и всестороннего развития здорового во всех отношениях человека.

3. Обсуждение

Анонсируемое выше исследование имеет сложный и трансдисциплинарный характер [1]. На текущем этапе технического прогресса, характеризующегося цифровой трансформацией, роботизацией и становлением индустрии 4-го поколения, актуальность СОТ если не снижается, то становится более востребованной, но в отношении более крупных групп населения. Поэтому представляется, что первым шагом в этом исследовании должен стать анализ современных тенденций техники.

Заключение

Необходимо признать актуальность (для развивающегося общества знаний) деятельности, связанной с социальной оценкой техники. При этом необходимо учитывать начавшуюся цифровую трансформацию организаций, интенсивную роботизацию производственной и бытовой сфер деятельности, наступление 4-го поколения индустрии.

Литература:

1. Горохов В.Г., Грунвальд А. Каждая инновация имеет социальный характер (Социальная оценка техники как прикладная философия техники) // Высшее образование в России. - 2011. - № 5. - С. 135–145. URL: <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/5347-> (Обращение 27.10.18).
2. Бехманн Г. Современное общество: общество риска, информационное общество, общество знаний. - М.: Логос, 2010. - 133 с.
3. Современные философские проблемы естественных, технических и социально-гуманитарных наук: учебник для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук / Под общ. ред. В. В. Миронова. - М.: Гардарики, 2006. - 639 с. - URL: <http://automationlab.ru/index.php/2011-05-12-06-16-44/322-23>(Обращение 27.10.18).
4. Деменев А.Г. Философские проблемы химических и технических наук: учебное пособие. Архангельск: ИД САФУ, 2014. - 233 с.
5. Grünwald A. Converging technologies: Visions, increased contingencies of the conditio humana, and search for orientation. Futures 39(2007), Sp. 380-392. - URL:http://vphil.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=272.
6. Оценка воздействия на окружающую среду. - URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Оценка_... (Обращение 27.10.18).
7. Приказ Госкомэкологии РФ от 16 мая 2000 г. № 372 "Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в РФ".
8. История и философия науки. Философия науки: учеб. пос. / В.П. Горюнов, В. А. Гура, А. А. Краузе, В. И. Ксенофонтов, О. Р. Пазухина, О. Д. Шипунова. Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2013 665 с.
9. Шапцев В.А. Информационная экология информационного общества // Информационная экология. - М.: Изд-во Хим.-технол. колледжа, 2003. - С. 88-99.
10. Kutrunov V., Shaptsev V. a.u. Mind Map and Information Surfing. Unity of Opposites in Education // Proceedings of the International Conference on the Theory and Practice of Personality Formation in Modern Society

(ICTPPFMS 2018). - September 2018. - № 198. - P. 112-117. - URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/ictppfms-18/articles?q=&author=&keyword=&title=&page=1>.

АНАЛИЗ ГАЗИФИКАЦИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.В. Кисилёва, Г.И. Дьяченко

**Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, gold150494@gmail.com**

Актуальной задачей для государства всегда была задача газификации населенных пунктов, особенно в сельской местности. От ее решения во многом зависит жизненный уровень населения государства.

Relevant task to the state is gasification of settlements, especially in rural areas. The living standards of the state's population directly depend on the solution of this task.

Россия занимает первое место по запасам (47800 трлн. м³) и второе место по добыче (681 млрд. м³) [1] природного газа в мире. Несмотря на это, в России остро стоит вопрос о газификации многих населенных пунктов. Основными причинами отсутствия газификации в населенных пунктах являются:

- Удаленность от источников природного газа;
- Отсутствие распределительной системы газоснабжения;
- Высокие затраты на подключение газа для населения;
- Низкая коммерческая эффективность развития систем газоснабжения для инвесторов;
- Ограниченность финансовых ресурсов на реализацию проектов газификации;
- Нехватка мощностей строительных организаций и др.

Рассмотрим одну из самых веских причин, влияющих на низкий уровень газификации населенных пунктов, из списка указанного выше – это высокие затраты на подключение газа для населения. Совсем недавно стоимость услуг устанавливалась органами местного самоуправления и доходила до 500 тысяч рублей, после изменения законов газификации для частных лиц составляет 20-50 тысяч руб. Сложность и дороговизна подключения привела государство найти альтернативные способы использования природного угля, один из них, преобразование газа

в электричество с помощью газопоршневых электростанций. Проведение и подключение к электрическим сетям составляет в среднем 50 тысяч рублей, но более простой и быстрый способ подключения.

Сразу возникает вопрос, для чего нам нужно преобразовывать природный газ в электричество, ведь частные дома отапливаются печами. Решение данной проблемы существует, и оно намного упрощает механизм отопления частных домов. В настоящее время люди могут смело перейти на энергосберегающие обогреватели из кварцевого песка, производимые заводом «ТеплЭко». Обогреватели можно использовать как отдельно, так и создавая отопительную систему, устанавливая необходимое число обогревателей в зависимости от площади. Один обогреватель обогревает до 18 м², при стандартной высоте потолков.

ОАО «Газпром» наконец 2017 года провело анализ уровня газификации по федеральным округам Российской Федерации, результаты которого представлены в таблице 1. Рассмотрев таблицу, можно заметить, что во многих федеральных округах уровень газификации является достаточно низким.

Таблица 1 – Уровень газификации

Федеральный округ	%
ЦФО	87,01
СЗФО	65,2
ЮФО	78,19
СКФО	92,05
ПФО	81,83
УФО	68,46
СФО	11,64
ДФО	65,11
Всего по РФ	73,11

Еще одним важной проблемой газовой отрасли РФ является изношенность газопроводов. Протяженность газопроводов [2] возрастом более 60 лет составляет 147 км, возрастом от 50 до 60 лет – около 4350 км, а от 40 до 50 лет – 21521 км. Газопроводы таким большим сроком эксплуатации представляют угрозы экологического и социального характера для районов их прохождения.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что, несмотря на высокий потенциал газовой отрасли в Российской Федерации, существует ряд серьезных проблем в этой отрасли. Отсутствие газификации приво-

дит к негативным последствиям: ухудшению качества жизни населения и экологической обстановки в регионе, а также миграции населения в районы с развитой инфраструктурой, что, в свою очередь, усиливает неравномерность заселения внутри страны и тормозит развитие целого ряда регионов, которые могли бы стать точками экономического роста.

Природный газ может стать тем средством, который будет способствовать достижению энергетической безопасности, росту промышленного производства, развитию инноваций, улучшению экологической ситуации. Причем именно экологические характеристики природного газа как топлива являются одними из главных аргументов в пользу того, чтобы он стал играть ключевую роль для мировой энергетики в текущем столетии. По сравнению с другими видами ископаемого топлива природный газ выделяет весьма значительное количество тепла на единицу веса, однако при этом в гораздо меньшей степени загрязняет воздух продуктами сгорания.

Литература:

1. Газификация регионов в России [Электронный ресурс]. URL: <http://mrg.gazprom.ru/about/gasification/> (дата обращения: 20.10.2018).
2. Ионин А.А. Газоснабжение.- М.: Стройиздат, 1989.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ШУМОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Н.Г. Кудашкина, К.П. Гусев, В.В. Ларичкин

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, natalia.kudashkina.95@mail.ru**

В работе проведен сравнительный анализ свойств многослойных шумопоглощающих материалов, которые используются в современных строительных конструкциях. Показано, что наиболее высокий индекс звукоизоляции имеют шумопоглощающие изделия, в которых совмещено несколько принципов подавления шумов.

In the work is carried out the comparative analysis of the properties of the multi-layer sound-deadening materials, which are used in the contemporary structures. It is

shown that the highest index of soundproofing have the sound-deadening articles, in which are combined several principles of the suppression of noise.

Шумы – постоянный источник стресса для человека. Для обеспечения здоровья уровень шума должен соответствовать санитарным нормам [1, 2]. Методы и средства уменьшения воздействия шума разнообразны. Они подразделяются на конструкционные, эксплуатационные, строительно-акустические, средства индивидуальной и коллективной защиты [3, 4]. Для того чтобы снизить дискомфорт от неприятных и раздражающих звуков (шумов) в помещениях, обычно используют звукоизоляцию или шумопоглощающие материалы, структура и свойства которых способствуют либо полному поглощению, либо частичному ослаблению колебаний звуковых волн различной интенсивности и частоты.

Применение современных шумопоглощающих материалов позволяет не только обеспечить эффективную защиту от шума, но и регулировать количество влаги и теплобаланс в помещении.

Наиболее распространенным способом шумопоглощения в строительных конструкциях является применение различных многослойных изделий, например, панели. Они используются для всевозможных защитных экранов и для звукоизоляции поверхностей помещения. Панель состоит из каркаса, внутри которого расположена специальная шумопоглощающая вставка. Эта вставка содержит шумопоглощающие элементы из металлокерамики, пеноалюминия и др.

Целью работы являлось проведение сравнительного анализа предлагаемых на рынке шумопоглощающих материалов и изделий, используемых в строительных конструкциях. На основе анализа их видов, свойств, строения, структуры, звуковых характеристик разработана рекомендация по их применению и предложены по возможному улучшению технических характеристик.

В работе анализировались 5 видов шумопоглощающих материалов, изготовленных в виде многослойных панелей. Принцип действия таких панелей заключается в изготовлении их по системе «массивность – поглощение – массивность». Для поглощения воздушных шумов первой стадией прохождения звука является плотный массивный материал в виде перегородки, от которой частично будут отражены звуковые волны, например, гипсоволокно. Вторая стадия – мягкий волокнистый или пористый материал (поролон, минеральная вата, древесно-полимерный композит). Энергия звуковых волн расходуется на прохождение этой структуры. Третья стадия – жесткая перегородка.

Звукоизолирующие материалы наиболее эффективны при выборе правильной толщины. Чем выше уровень шума, тем толще должны быть панели. В продаже можно встретить толщину в пределах от 4 до 13 см, при этом параметры равны 150х50 см. В качестве недостатка таких панелей выступает их вес – масса одного изделия достигает 20 кг.

Чтобы правильно выбрать материал для снижения уровня звуковых воздействий, нужно знать, какой тип шума поступает в помещение. Все-го их различают по трем видам: воздушный; ударный и структурный.

По характеру поглощения материалы могут быть:

1. Пористые (*твердый скелет*). В данном случае звуковые волны рассеиваются по порам, а звуковая энергия переходит в тепловую. Самыми известными представителями данных материалов считается пено-стекло или газобетон;

2. Пористые (*гибкий скелет*). Звук глушится не только проникая в поры, но и благодаря возникающим релаксационным потерям, ведь мягкий скелет материала деформируется и еще больше рассеивает волну. К ним относятся минеральная вата, стекловата, хлопковая вата и т.д.;

3. Плиты из древесного волокна. Они блокируют звук не за счет его поглощения или рассеивания, а активного сопротивления звуковой волне. Это тонкие фанерные панели, плиты или звуконепроходимые ткани.

Шумопоглощающие материалы различаются также по структуре: пористо-зернистые, пористо-губчатые, пористо-волокнистые. По типу звукопоглощающие материалы бывают: рулонными, плитами, сыпучими.

В ходе исследования шумопоглощающих материалов выявлено, что для достижения максимального эффекта звукопоглощения лучше комбинировать такие материалы в специальные звукопоглощающие конструкции.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики шумопоглощающих изделий (конструкций).

Таблица 1 – Характеристика современных многослойных шумопоглощающих конструкций

Название шумопоглощающей конструкции	Строение шумопоглощающей конструкции	Индекс звукоизоляции, Дб
Панель из минеральной ваты	Каркас из металлических профилей заполненный мине-	6-9 (в зависимо-

	ральной ватой с внешней облицовкой из гипсокартона	сти от толщины материала)
ЗИПС панели	Сэндвичи, состоящие из пазогребневых гипсоволокнистых листов (ГВЛ) и слоев звукопоглощающего материала из стеклянных или минеральных волокон	10-20 (в зависимости от толщины материала)
Панели «Isoplaat Windprotection»	Древесные волокна хвойных пород, обработанные парафином в процессе подготовки в формовке	23-26 (в зависимости от толщины материала)
Ruspanel ППГ	Мягкая древесноволокнистой плита с соединительной прослойкой из полимер-бетонного композита, слоя экструдированного пенополистирола и слоя из полимер-бетонного композита	30-60 (в зависимости от толщины материала)
Триплекс-панели «Саундлайн-дБ»	Два листа утяжеленного влагостойкого гипсоволоконного материала толщиной по 8 мм, соединённые между собой упругим герметиком	68

В ходе исследования шумопоглощающих материалов выявлено, что наибольшая эффективность шумопоглощения принадлежит конструкциям, в которых объединены несколько принципов поглощения ударных и воздушных шумов. Лучший вариант защиты от воздушного типа шума — материалы, обладающие волокнистой структурой, незначительным водопоглощением и высокими показателями поглощения звука. Также они должны быть огнестойкими и прочными. Чтобы заглушить структурный шум, необходимы прокладочные материалы, имеющие низкую упругость.

Современный шумопоглощающий материал надежно защищает стены здания как снаружи, так и изнутри. Он должен выдерживать значительные колебания температуры (от «минус» 40 до «плюс» 400 °С), а также иметь долгий эксплуатационный срок.

Если материал обладает низкой стойкостью к температурным перепадам, то есть риск возгорания (а если это произойдет внутри перекрытия, то это уже катастрофа). Если нет гарантии, что он прослужит долго, то это потребует скорого капитального ремонта, с частичным демонтажем перегородок. Рулонные материалы имеют сравнительно небольшую толщину и эффективны только в том случае, если нужно будет работать с длинной поверхностью. В ином случае выгоднее использовать материал в плитах. Изоляционные материалы на минеральной основе защищают стены не только от звука. С их помощью можно провести и утепление поверхности. Стекловолоконные плиты имеют высокую звукоизоляцию и теплопроводность, так что их лучше применять для защиты стен или перекрытий из бетона.

Одним из путей удешевления шумопоглощающих материалов и конструкций из них, может быть использование твердых техногенных отходов различных производств (золы, шлаки и др.).

Литература:

1. СН 2.2.4 / 2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – Москва 1997. – 38 с.

2. МГСН 2.04-97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции жилых и общественных зданиях шума [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва [б.и.], 1997. – 38 с.

3. СП 23-103-2003. Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий шума [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва [б.и.], 2004. – 72 с.

4. СНиП 23-03-2003. Защита от шума [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва [б.и.], 2004. – 57 с.

СИНТЕЗ 1-МЕТОКСИ-2-ПРОПАНОЛА ИЗ ОКИСИ ПРОПИЛЕНА И МЕТАНОЛА В ПРИСУТСТВИИ ТИТАНСИЛИКАТА АМ-4, МОДИФИЦИРОВАННОГО HNO₃:

Ю.В. Курченко¹, Г.О. Калашиникова², М.Н. Тимофеева

***¹ Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, JulyaKurchenko@mail.ru***

² Центр наноматериаловедения КНЦ РАН, г. Апатиты

В работе приведены результаты исследования влияния модифицирования 0.0625-0.25М азотной кислотой каркасного титансиликата (АМ-4), синтетического Na-аналога минералов семейства линтисита, на его физико-химические и каталитические свойства в реакции синтеза 1-метокси-2-пропанола из окиси пропилена и метанола. Показано, что концентрация HNO₃ кислоты позволяет регулировать скорость и селективность процесса.

Chemically activation of titanium silicate (AM-4, a synthetic Na-analogue of the minerals of the lintsite family) with 0.0625-0.25M HNO₃ was investigated. It was found that chemical composition, textural and acid-base properties of catalyst depended on the concentration of HNO₃. Nature of active sites was a key factor for the control of the reaction rate and the selectivity towards 1-methoxy-2-propanol in reaction between propylene oxide and methanol.

В последнее время одной из тенденций химической промышленности является замена моноалкиловых эфиров этиленгликолей моноалкиловыми эфирами пропиленгликоля, что связано как с их низкой токсичностью, так и с возможностью широкого их применения в качестве селективных растворителей в процессах синтеза интермедиатов, различных композиций бытового назначения (моющие системы, растворители лаков и красок, гидравлические жидкости). Методы синтеза моноалкиловых эфиров пропиленгликоля, в том числе и 1-метокси-2-пропанола (монометилвый эфир пропиленгликоля (II)), основаны на реакции взаимодействия алифатических спиртов и окиси пропилена в присутствии кислотных и щелочных катализаторов (рис. 1).

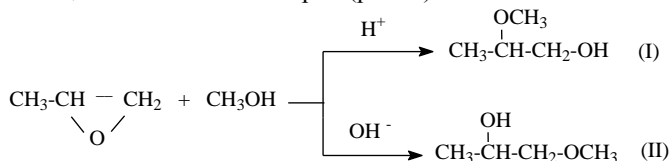


Рисунок 1 - Схема реакции окиси пропилена с метанолом

Применение щелочных катализаторов (гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов, гидроксиды триметил- и триэтилбензиламония) позволяют получать (II) с селективностью 89-91%. Недостатками этих катализаторов являются проблемы отделения катализатора от продуктов реакции и образование тяжелых монометилловых эфиров ди- и трипропиленгликолей.

В данной работе изучена возможность применения в качестве катализатора данной реакции каркасного титансиликата (AM-4), синтетического Na-аналога минералов семейства линтисита. Данный материал представляет собой структуру, состоящую из двумерных титаносиликатных наноблоков $Ti_2Si_4O_{10}(OH)_4$, объединенных в единый каркас сшивающими катионами Na, с образованием широких каналов, занятых внекаркасными катионами Na и молекулами воды. Наличие ионов натрия в структуре позволяет предполагать, что данный материал может обладать сильными основными центрами, что важно для данного процесса. Поскольку селективность реакции зависит от природы активных центров (рис. 1), нами было исследовано влияние модифицирования AM-4 азотной кислотной.

Модифицирование AM-4 проводили 0.0625-0.25M азотной кислотой в течение 30 мин при комнатной температуре. Затем продукт отделялся, промывался водой и сушился на воздухе. Согласно данным химического анализа обработка AM-4 азотной кислотой приводит к вымыванию Na из Si,Ti-слоев (табл. 1). Хорошо видно, что количество удаленного Na возрастает с увеличением концентрации кислоты. Удаление Na из системы приводит к «сшиванию» Si,Ti-слоев.

Таблица 1 - Основные характеристики систем на основе AM-4

	Na/Si (моль/моль)	S_{BE} T (m^2 / Γ)	V_{Σ} (cm^3 / Γ)	РА (кДж/моль)
AM-4	1.28	20. 1	0.07 0	1019
4 0.0625M AM-	0.31	26. 7	0.08 2	-
0.125M AM-4	0.16	28. 7	0.08 8	-
0.25M AM-4	0.02	30. 2	0.09 5	797

Текстурные свойства также определяются концентрацией кислоты (табл. 1). Увеличение концентрации кислоты приводит к росту удельной поверхности и пористости системы.

Основные свойства систем на основе АМ-4 были изучены методом ИК-спектроскопии с использованием CDCl_3 в качестве молекулы зонда. Согласно полученным данным сила основных центров в АМ-4 в единицах протонного сродства к паре электронам (РА) равна 1019 кДж/моль. Модифицирование АМ-4 0.25М азотной кислотой приводит к снижению силы центров до 797 кДж/моль, что связано с уменьшением количества Na в системе.

Согласно данным анализа изменения поверхностной кислотности ($\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$ - точка нулевого заряда) в результате обработки АМ-4 азотной кислотой методом Зеренса - де Брюина, $\text{pH}_{\text{ТНЗ}}$ возрастает с 11.15 (АМ-4) до 4 (0.25М АМ-4) после обработки АМ-4 раствором 0.25М HNO_3 (рис. 2).

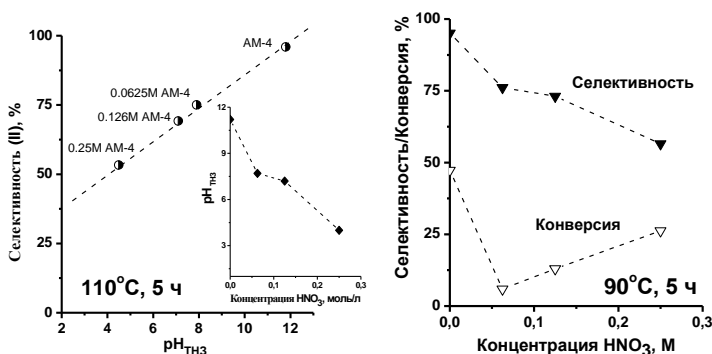


Рисунок 2 - Эффект концентрации HNO_3 кислоты и поверхностной кислотности (pH_{PZC}) на конверсию ПО и селективность реакции (II)

Каталитические свойства АМ-4, модифицированного азотной кислотой, изучали в реакции синтеза 1-метокси-2-пропанола (II) (рис. 1) в стеклянном автоклаве при 90 и 110°C. В реактор загружали 7.4 ммоль ПО, MeOH (MeOH/ПО = 8 моль/моль) и катализатор (2.1 масс.%), систему нагревали до необходимой температуры и выдерживали при перемешивании в течение 5-7.5 ч. Продукты реакции анализировали на

хроматографе Agilent 7820 с пламенно-ионизационным детектором (капиллярная колонка HP-5 25 м).

Согласно полученным данным реакция протекает гетерогенно, поскольку после отделения катализатора реакция не протекает. Как видно из рисунка 2 обработка AM-4 0.0625M HNO₃ приводит к снижению скорости реакции, однако в дальнейшем наблюдается линейный рост скорости реакции с повышением концентрации кислоты. В тоже время изменение концентрации кислоты приводит к монотонному снижению селективности. Такое поведение можно объяснить изменением природы кислотно-основных центров – снижением силы основных центров (табл. 1) и увеличением поверхностной кислотности (рис. 2).

Максимальная конверсия ПО и селективность по (II) 88.4 и 92.3%, соответственно, наблюдаются через 7.5 ч. в присутствии AM-4. Исследование стабильности в циклических испытаниях данной системы показало, что AM-4 может быть использован как минимум 3 раза без потери изменения своих каталитических свойств (табл. 2).

Таблица 2 - Сравнение каталитических свойств различных оксидных систем

		Т (°С)	Конвер- сия ПО, (%)	Селективность, (%)	
				(I)	(II)
AM-4	(1	110	88.4	7.7	92.3
цикл)					
	(2	110	86.3	9.3	90.7
цикл)					
	(3	110	86.7	9.1	90.9
цикл)					
Брусит [1]		120	36.0	8.5	87.3
Mg,Al-LDH		140	28.0	11.6	88.2
[1]					
Mg,Al-LDH		120	81.2	-	82.3
[2]					
ZnMgAl-LDH		120	95.9	-	90.0
[3]					
MgO [3]		120	71.1	-	89.2

Сравнение каталитических свойств AM-4 с оксидными системами, описанными в литературе, указывает на то, что его применение позволяет не только снизить температуру проведения процесса на 10°С, но и

несколько повысить селективность процесса. Это различие связано с высокой основностью АМ-4 (1019 кДж/моль) по сравнению с бруситом (928 кДж/моль [**Ошибка! Закладка не определена.**]) и Mg,Al-слоистыми двойными гидроксидами (Mg,Al-LDH, 925 кДж/моль [**Ошибка! Закладка не определена.**]).

Литература:

1. M. N. Timofeeva, A. E. Kapustinc, V. N. Panchenko, E. O. Butenkoc, V. V. Krupskaya, e, A. Gilf, M. A. Vicente Synthetic and natural materials with the brucite-like layers as high active catalyst for synthesis of 1-methoxy-2-propanol from methanol and propylene oxide // J. Mol. Catal. A: Chem. – 2016. – V. 423. – P. 22-30.
2. W. Cheng, W. Wang, Y. Zhao, L. Liu, J. Yang, M. He Influence of acid-base properties of ZnMgAl-mixed oxides for the synthesis of 1-methoxy-2-propanol // Appl. Clay Sci. – 2008. – N 42. – P. 111-115.
3. W. Zhang, H. Wang, W. Wei, Y. Sun Solid base and their performance in synthesis of propylene glycol methyl ether // J. Mol Catal A: Chem. – 2005. – V 231. – P. 83-88.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИАТОМИТА

А.В. Лапин, ²Л.К. Бердникова ¹, Ф.К. Горбунов ^{1,2}

¹ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук (ИХТТМ СО РАН),

²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, liliya_baikina@mail.ru

Описана методика получения строительных материалов на основе природного экологически чистого сырья (диатомита). Показано, что варьируя всего один параметр технологического цикла – давление прессования, возможно получение строительных материалов на основе диатомита с широким интервалом прочности при сжатии (от 2 до 18 МПа).

The method of obtaining building materials based on natural environmentally friendly raw materials (diatomite) is described. It is shown that by varying only one parameter of the technological cycle—the pressing pressure, it is possible to obtain building materials based on diatomite with a wide compression strength interval (from 2 to 18 MPa).

Основной объем производства диатомитовой продукции в России приходится на диатомитовый кирпич, теплоизоляционные изделия и материалы. В отличие от обычного строительного кирпича диатомитовый кирпич практически вдвое легче, он обладает высокими тепло- и звукоизоляционными характеристиками. Однако, трудно изготовить такой материал низкой плотности и в то же время достаточно прочный, чтобы он мог выдержать не только перевозку, но и перегрузку, не ломаясь.

В настоящей работе диатомитовые материалы получали методом полусухого прессования. Были определены оптимальные параметры данного технологического процесса, позволяющие получать строительные материалы на основе диатомита с повышенной прочностью при сжатии.

Формовочную массу готовили из диатомита Инзенского месторождения с влажностью, не превышающей 3-8%. В работе использовали диатомит с насыпной плотностью $0,35 \text{ г/см}^3$ (легкий диатомит) и диатомит с насыпной плотностью $0,53 \text{ г/см}^3$ (тяжелый диатомит). Диатомит смешивали с водой и раствором гидроксида натрия в смесителе до однородности. Добавка гидроксида натрия составляла 0,5 масс. %. Формовочную влажность варьировали от 15 до 30%. Полученную готовую формовочную массу засыпали в стальную предварительно смазанную форму и прессовали при разном давлении на гидравлическом прессе ПЛГ-20. Образцы сушили на воздухе в течение 24 часов, а затем в сушильном шкафу при температуре 50-100 °С. Затем проводили обжиг образцов при 900 °С в течение 12 часов.

Для полученных образцов определяли плотность, прочность при сжатии, водопоглощение и усадку после обжига. Указанные физико-механические показатели определяли по ГОСТ 17177-94 [1].

В таблице 1 представлены характеристики образцов, полученных из легкого диатомита, в зависимости от значения формовочной влажности. Гидроксид натрия в работе в виде водного раствора использовали в качестве модифицирующей добавки. Увеличение количества данной добавки более 0,5 масс.% приводит к образованию высолов на поверхности образцов.

Таблица 1 – Характеристики образцов, полученных из легкого диатомита методом полусухого прессования, при разных значениях формовочной влажности

Формовочная влажность, %	Давление прессования, МПа	Плотность, г/см ³	Прочность при сжатии, МПа
15	1,5	0,60	2,0
25		0,62	3,5
30		0,65	3,6
15	3,0	0,65	3,6
25		0,67	5,0
30		0,69	6,2
15	4,0	0,68	4,2
25		0,70	6,5
30		0,70	6,7

Анализ данных Таблицы 1 показывает, что увеличение влажности формовочной массы при постоянном давлении прессования приводит к незначительному возрастанию плотности, однако прочность образцов увеличивается более чем в 1,5 раза. Следует отметить, что образцы, полученные из формовочной массы влажностью 15%, обладают более однородной структурой, несмотря на более низкий показатель прочности при сжатии. Поэтому при полусухом прессовании дальнейшее увеличение влажности формовочной смеси не целесообразно, поскольку при избытке жидкой фазы происходит ее неравномерное распределение в объеме образца в процессе прессования, что приводит к растрескиванию материала после сушки. При недостатке жидкой фазы образцы получаются рыхлые.

Далее были проведены исследования влияния давления прессования на характеристики образцов, полученных из легкого диатомита, при формовочной влажности, равной 15 %. Результаты этих исследований приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики образцов, полученных из легкого диатомита, в зависимости от давления прессования

Формовочная влажность %	Давление прессования МПа	Плотность г/см ³	Прочность при сжатии МПа	Усадка после обжига %	Водопоглощение %
15	1,5	0,60	2,0	2,0	110,0
	3	0,65	3,6	2,0	102,9
	4	0,68	4,2	1,9	92,7
	4,5	0,74	5	1,7	87,9
	6	0,76	5,7	1,6	85,3
	7,5	0,79	6,5	1,6	78,2
	9	0,81	8,9	1,3	76,9
	10,5	0,83	9,0	1,3	72,2
	12	0,85	10	1,2	68,3
	13,5	0,86	11,3	1,2	64,1
	15	0,89	13,5	0,8	62,0
	16,5	0,90	14,7	0,8	61,9

Из таблицы 2 видно, что изменяя давление прессования от 1,5 до 16,5 МПа, прочность образцов увеличивается более чем в 7 раз, при этом изменение плотности незначительное (менее чем в 1,5 раза).

Аналогичные результаты получены для образцов на основе тяжелого диатомита (Таблица 3).

Следует отметить следующую особенность: для прессованных материалов при одинаковой плотности прочность образцов, полученных из легкого диатомита, более чем в 2 раза выше прочности образцов, полученных из тяжелого диатомита. При этом приложенное давление прессования гораздо ниже для образцов из тяжелого диатомита.

Таблица 3 – Характеристики образцов, полученных из тяжелого диатомита, в зависимости от давления прессования

Формовочная влажность %	Давление прессования МПа	Плотность г/см ³	Прочность при сжатии МПа
15	3,0	0,80	3,8
	4,5	0,90	6,6
	6,0	0,94	8,3
	7,5	0,95	8,4
	9,0	0,99	9,0
	10,5	1,01	12,0
	12,0	1,04	12,6
	13,5	1,06	16,3
	15,0	1,07	18,0

Методом полусухого прессования не удалось получить материалы из тяжелого диатомита плотностью ниже 0,8 г/см³, а из легкого диатомита – плотностью ниже 0,6 г/см³. Заготовки имели рыхлую структуру, а после сушки прочность образцов была настолько мала, что в конечном итоге они рассыпались.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что варьируя всего один параметр технологического цикла – давление прессования, возможно получать строительные материалы на основе диатомита с широким интервалом прочности при сжатии (от 2 до 18 МПа). Такая технология позволяет существенно сократить энергетические и экономические затраты при производстве диатомитовых конструктивных материалов с заранее запланированной прочностью при сжатии, поскольку для их получения не требуется значительных изменений в технологическом цикле.

Литература:

1. ГОСТ 17177-94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. – Thermal insulating materials and products for building application. Test methods – Введ. 1996–04–01. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 38 с.

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ЖИДКИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ОТВЕРЖЕНИЯ ЗОЛОЙ УНОСА ТЭЦ

О.Г. Машталлер, В.Ю. Александров, В.В. Ларичкин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kafedra.ipe@mail.ru

В работе показана возможность обезвреживания токсичных жидких отходов химических лабораторий методом их отверждения сухой высококальциевой золой уноса угольных ТЭЦ. Установлено, что добавка к золе уноса цемента марки М-400, ускоряет процесс схватывания отверждаемого продукта. Натурные измерения показали, что полученный продукт выдерживает без разрушения длительное воздействие климатических условий. Биотестированием определено, что полученный отвержденный продукт относится к 4-му классу опасности (малоопасные отходы), поэтому может захораниваться на полигонах.

The paper shows the possibility of neutralization of liquid wastes of chemical laboratories by their method of curing the high calcium dry fly ash coal-fired power plants. It was found that the addition to the fly ash cement grade M-400, accelerates the process of setting the cured product. Full-scale measurements showed that the resulting product can withstand without destruction long-term exposure to climatic conditions. Biotesting determined that the resulting cured product belongs to the 4th class of danger (low-risk waste), so it can be buried in landfills.

В настоящее время жидкие лабораторные отходы (ЖЛО) ВУЗов и профильных НИИ, как правило, сливаются в канализационную сеть. При этом, в ЖЛО содержится значительное количество токсичных веществ различной химической природы: металлы, кислоты, основания, органические соединения. Попадание через систему канализации названных загрязнителей на биологические очистные сооружения, приводит к снижению эффективности активного ила и, тем самым, к снижению степени очистки сточных вод, загрязнению поверхностных водных объектов. Есть другой способ «избавиться» от ЖЛО - их перемещение из лабораторий в мусорные баки организаций, где они образуются, с дальнейшим захоронением на полигонах ТКО. Оба названных действия являются нарушением норм природоохранного законодательства и влекут за собой загрязнение окружающей среды. Нарушается ст. 11 ФЗ «Об отходах производства и потребления» [1] в части «соблюдения требований при обращении с группами однородных отходов». Образуется состав административного правонарушения, предусмотренного ст.

8.2. Кодекса РФ «Об административных правонарушениях» [2], которая влечет наложение штрафа на нарушителя в размере до 250 тыс. руб.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию процесса обезвреживания жидких отходов химических лабораторий методом их отверждения, путем смешения с сухой высококальцевой золой ТЭЦ. Суть работы состояла в получении малоопасных вторичных твердых отходов, которые в случае их отнесения к 4-му классу опасности (малоопасные) согласно ст. 4.1 [1] могут захораниваться на полигонах ТКО [3].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1 Характеристика золы уноса

Для отверждения жидких отходов использовалась сухая высококальцевая зола уноса новосибирской ТЭЦ-3. Рентгенофазовый состав золы уноса, выполненный в лаборатории ИХТТМ СО РАН приведён на Рисунке 1.

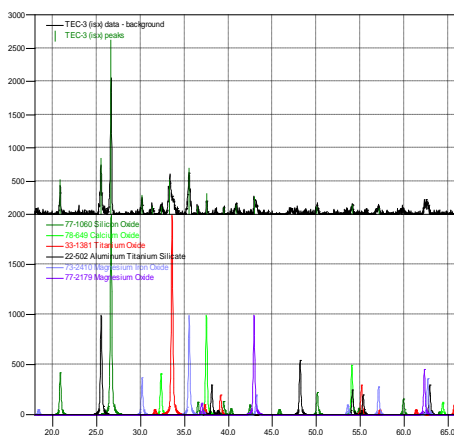


Рисунок 1 - Данные по РФА-составу ЗУ:

Красный цвет Aluminum Oxide Al_2O_3 , PDF Number: 77-213; Зеленый цвет Calcium Oxide CaO , PDF Number: 1-1160;

Синий цвет Silicon Carbide SiC , PDF Number: 74-2307; Оранжевый цвет Calcium Carbonate, Calcite $CaCO_3$, PDF Number: 24-27;

Черный цвет Silicon Oxide, Quartz SiO_2 , PDF Number: 82-511

Данные по химическому составу, выполненные аккредитованной лабораторией ЦЛАТИ по СФО приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Данные по химическому составу золы уноса

Оксид элемента	Содержание оксидов элементов в ЗУ (% вес, пересчет на оксиды)
Al ₂ O ₃	19,5
Fe ₂ O ₃ / FeO	31,4/28
CaO	59,4
Mn ₃ O ₄	1,33
TiO ₂	0,89

Из приведённых данных следует, что в золе уноса содержится до 60% оксида кальция, обладающего вяжущими свойствами. Наиболее эффективными химическими соединениями, в отношении отверждения, являются силикаты кальция, алюминаты кальция и алюмоферриты кальция. Другие фазы в золе представлены оксидом алюминия и диоксидом кремния.

Для усиления вяжущих свойств материала для отверждения ЖЛО готовили механическую смесь (вес.) 90% ЗУ и 10% цемента марки М-400 [4]. Смешение порошков производили в стандартной ПЭТ-бутылке емкостью 5л путем обработки смеси материалов на вибростоле в течение 5 минут. Для улучшения контакта с жидкости с порошковым материалом в массу вводили полоски фильтровальной бумаги.

2 Проведение отверждения ЖЛО

В ПЭТ-бутылку объемом 5 л вводили 1800 г золы уноса и 200 г цемента М-400, 5 полосок бумажных фильтров; емкость помещали на вибростол, встряхивали в течение 5 минут.

В подготовленный материал порциями добавляли ЖЛО, по мере их образования в химической лаборатории кафедры инженерных проблем экологии НГТУ. Включение в состав материала пористой бумаги обеспечило быструю пропитку объема твердого материала порцией жидких лабораторных отходов. Всего было введено три порции различных ЖЛО общим объемом 1 л, а именно: отходы после проведения щелочной деструкции нитроцеллюлозы – 0,25 л; сливы гидроксидов натрия и калия после нейтрализации серной кислотой с индикатором метиловый оранжевый – 0,5 л; гидразин-сульфат с добавками нитрата серебра и калия марганцевокислого – 0,25 л.

После выдержки в течение 2-х суток при комнатной температуре произошло отверждение материала.

Извлеченная из ПЭТ-бутылки масса твердая, визуально, с ровными краями. Для проведения анализа от массы был отрезан корундовым диском фрагмент, далее материал (Рисунок 2).



Рисунок 2 - Вид массы материала после отверждения

Весовой баланс:

Загружено твердого материала – **2 кг**

Загружено ЖЛО – 1 л=**1 кг**

Получен воздушно-сухой отвержденный образец массой **2,8 кг**.

Потеря массы (жидкой фазы) при испарении - 0,2 кг, что соответствует 7% от исходно загруженных материалов.

3 Исследование материала

3.1 Экспозиция в натуральных климатических условиях

Для проверки устойчивости материала к реальным климатическим условиям образец помещался на открытой местности и выдерживался при изменчивых погодных условиях в течение 90 суток с 13 июня по 13 сентября 2018 года. После извлечения, визуально установлено сохранение формы и отсутствие эрозии (Рисунок 3).



Рисунок 3 - Вид материала после натурной экспозиции

3.2. *Определение класса опасности отходов методом биотестирования*

Полученный материал исследован в аккредитованной лаборатории ЦЛАТИ по СФО методом биотестирования для установления класса

опасности отходов. Метод заключается в определении токсичности водной вытяжки из отходов по смертности и изменению плодovitости микроорганизмов (дафний).

Получено заключение соответствия материала 4-му классу опасности отходов (малоопасные).

ВЫВОДЫ:

1. Композиционный состав из 90% сухой золы-уноса + 10% цемента М-400 показал высокую эффективность для отверждения ЖЛО различного химического состава с получением прочного керамического материала.

2. Полученный материал выдерживает достаточно длительное воздействие погодных условий Сибири без разрушения и потери прочности

3. Отнесение материала к 4-му классу опасности отходов позволяет рекомендовать его в качестве инертного наполнителя для внутренних и наружных работ, либо для захоронения на полигонах ТКО.

4. Результаты работы получили практическую реализацию в химической лаборатории кафедры инженерных проблем экологии НГТУ, где отказались от слива ЖЛО в канализационную систему с переходом на отверждение отходов.

Литература:

1. ФЗ «Об отходах производства и потребления» (от 24.06.1998 N 89-ФЗ редакция 2018 года).

2. Кодекс РФ «Об административных правонарушениях».

3. Правила приема отходов на полигоны ТКО в Новосибирской области.

4. ГОСТ – 31108-16 Цементы общестроительные.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

О.В. Митина, И.А. Башарина
Самарский государственный технический университет,
г. Самара, oksanamitti@yandex.ru

В данной работе приводится анализ программно-технических комплексов, обеспечивающих информационную поддержку решения вопросов промышленной безопасности, проведения мероприятий гражданской обороны, пожарной и экологической безопасности опасных производственных объектов.

This paper presents the system analysis of software and hardware suits (I&C complexes) providing data support to address issues of industrial safety, civil defense, fire and environmental safety of hazardous industrial facilities.

Сегодня в России инвестиции в промышленность растут, происходит реконструкция и обновление основных средств производственной базы. Однако проблема заключается в том, что основные фонды давно износились, но продолжают эксплуатироваться, провоцируют аварии на промышленных предприятиях, а иногда вызывают техногенные катастрофы.

Согласно статистике, ущерб от аварийности и травматизма достигает 5-10% от валового национального продукта промышленно развитых государств, а загрязнение окружающей природной среды и несовершенная техника безопасности являются причиной преждевременной смерти 20-30% мужчин и 10-20% женщин [1].

Это вынуждает собственников более ответственно подходить к проблемам промышленной безопасности своих производств. Особое внимание следует уделять опасным производственным объектам (ОПО).

Управление промышленной безопасностью регулируется Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21 июля 1997 г. В первую очередь это относится к предприятиям, эксплуатирующим объекты первого и второго класса опасности [2].

Законодательство характеризует промышленную безопасность (ПБ) и систему ее управления как взаимосвязанный комплекс технических и организационных мер, призванных предупредить на ОПО возникновение чрезвычайных ситуаций, технических инцидентов и несчастных случаев, а также локализовать и ликвидировать их последствия. В це-

лом, управление системой обеспечения безопасности направлено на поддержание ее структуры, режима деятельности и программы функционирования в соответствии с целью, ради которой система создавалась.

Согласно докладу Ростехнадзора по Средне-Поволжскому Управлению от 19 сентября 2018 характерными нарушениями требований промышленной безопасности, выявляемыми при проведении проверок на ОПО горнорудных и рудных, нефтегазодобывающих, металлургических и химических производств и объектах оборонно-промышленного комплекса, включая объекты производства, хранения и применения промышленных ВМ, являются[4]:

- недостаточное оснащение системами контроля, управления, сигнализации и противоаварийной автоматической защиты, обеспечивающими безопасность ведения технологических процессов;
- неудовлетворительная организация и осуществление производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах.

В настоящее время для проведения автоматизированного онлайн-контроля за безопасностью и жизнеобеспечением зданий и сооружений используется структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС), которая не позволяет в полной мере решить задачи, которые ставят перед предприятием органы технического, пожарного, экологического и других надзоров, поэтому появляются системы безопасности, которые охватывают все виды деятельности, влияющие на безопасность предприятия. В ГОСТ Р 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования» под системой безопасности понимается «программно-технический комплекс, предназначенный для решения задач предупреждения чрезвычайных ситуаций, в том числе вызванных террористическими актами, пожарной безопасности, взрывобезопасности, охраны и оповещения людей о чрезвычайных ситуациях» [3].

Соответственно, остается открытым вопрос о создании нового или выборе уже существующего программно-технического комплекса (ПТК), обеспечивающего информационную поддержку решения вопросов промышленной безопасности, проведения мероприятий гражданской обороны, пожарной и экологической безопасности опасных производственных объектов.

В связи с этим особую актуальность приобретает сравнительный анализ ПКТ, используемых в настоящее время на предприятиях.

В работе рассматриваются пять наиболее используемых комплексов:

1. Информационная система управления «Промышленная безопасность и охрана труда» (ИСУ «ПБ И ОТ») [5];
2. Информационная система управления промышленной безопасностью (ИС УПБ) [6];
3. Программный продукт "1С: Предприятие 8. Производственная безопасность. Комплексная" [7];
4. Аппаратно-программный комплекс «Безопасный город» [8], система управления промышленной безопасностью «Безопасное предприятие» [9];
5. Информационно-управляющая система комплексного контроля безопасности опасного производственного объекта [10].

В процессе исследования стало очевидно, что специфика применения ПКТ разнообразна, как разнообразны и их функционал. Назначения же у всех пяти комплексов очень похожи. В целом, можно сказать, что каждый из них ориентирован на оперативное формирование базы данных за счет мониторинга, сбора и анализа информации для обеспечения высокого уровня охраны труда, промышленной, пожарной, экологической безопасности и взаимодействия различных ведомств и организаций в различных отраслях. Структурный состав определяется сложностью комплекса, хочется отметить, что в ряде комплексов важный в сфере безопасности модуль экологии является базовым, в остальных же может быть дополнительным или вовсе отсутствовать. Функциональные возможности ПКТ также имеют собственные особенности, поскольку количество функций определяется объемом перерабатываемой информации. Например, ИУС ККБ ОПО используется в основном для предупреждения краж, грабежей и аварийных ситуаций в то время, как ИС УПБ специализируется на охране труда и промышленной безопасности. Независимо от сферы применения комплекса каждый из них имеет свои особенности, которые могут быть полезны в процессе работы. В частности, «Безопасное предприятие», анализируя имеющуюся информацию по ОПО, предоставляет оценку состояния безопасности предприятия в целом для выявления первоочередных мероприятий с контролем их исполнения для обеспечения устойчивого безопасного функционирования объекта.

Исходя из вышеуказанного, можно сказать, что выбор ПКТ должен основываться исключительно на специфике и целях производства, т.к. нерационально использовать сложный ПКТ для мониторинга работы небольшого производства или ПКТ с ограниченной функциональностью для управления безопасностью на крупном предприятии.

Литература:

1. Буркина Е.Н. Совершенствование системы управления безопасностью опасных производственных объектов на основе применения показателя абсолютной опасности : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.03.- Уфа, 2009.- 133 с.

2. Федеральный закон от 21.07.1997г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (в ред. 25.03.2017г.).

3. ГОСТ Р 22.1.12 – 2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования – Введ. 2005-28-03. - М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2005.

4. Приказ от 19.09.2018г. № 524 «Об утверждении доклада о правоприменительной практике контроль-надзорной деятельности в Средне-Поволжском управлении Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 6 месяцев 2018 года».

5. Информационная система управления промышленной безопасностью. www.rusapr.ru/prod/vnedrenie-sistem-po-upravleniyu-promyshlennoy-bezopasnosti.php (Дата обращения: 21.09.2018г.)

6. Информационная Система Управления «Промышленная безопасность и Охрана труда» (ИСУ «ПБ и ОТ»). <http://www.vestipb.ru/articles6482.html> (Дата обращения: 25.09.2018г.)

7. 1С:Производственная безопасность. Комплексная. https://solutions.1c.ru/catalog/ehs_compl/features (Дата обращения: 25.09.2018г.)

8. Система комплексного управления безопасностью промышленного предприятия. <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-kompleksnogo-upravleniya-bezopasnostyu-promyshlennogo-predpriyatiya> (Дата обращения: 21.09.2018г.)

9. Программно-технический комплекс <https://docplayer.ru/36719545-Programmno-tehnicheskiy-kompleks.html> (Дата обращения: 23.09.2018г.)

10. Патент 2536351 С1, МПК Российская федерация. Информационно-управляющая система комплексного контроля безопасности опасного производственного объекта / В.А. Алексеев, В.Н.Бурков, С.А. Вахрушев, И.В. Партанский, А.В. Толстых, О.К.Уткин, П.М. Фомин, А.В. Щепкин. - № 2013130085/08; заявл. 02.07.2013; опубл. 20.12.2014 Бюл. № 35 – 1с.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ АНТИПИРЕНАМИ

Ю.С. Мурашкина, О.Б. Назаренко
**Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, murashkina02@gmail.com**

Проблемы подбора антипиренов для производства полимерных материалов сводятся к выбору оптимальной комбинации параметров «совместимость – безопасность – эффективность – цена». У каждого вида антипиренов есть недостатки: значительная стоимость, высокая токсичность продуктов пиролиза и горения, ухудшение эксплуатационных свойств полимерных материалов, обильное дымовыделение и т.д., поэтому не может быть достигнуто наилучшее сочетание параметров. Решением этой проблемы может стать производство полимерных композитов с добавлением экологически безопасных цеолитов.

Problems of selection of fire-retarding agents for production of polymeric materials come down to the choice of an optimum combination of the parameters "compatibility-safety-efficiency-the price". Each type of fire-retarding agents has shortcomings: the considerable cost, high toxicity of products of pyrolysis and burning, deterioration in operational properties of polymeric materials, plentiful smoke emission, etc. therefore the best combination of parameters can't be reached.

Production of polymeric composites with addition of ecologically safe zeolites can become the solution of this problem.

С начала времен полимеры связаны с жизнью человека. Они есть основа нашего существования. Животные, растения – все живые организмы состоят из полимеров. Только в середине XX века люди начали понимать истинную природу полимеров. Полимерные материалы стали использоваться во всех аспектах нашей жизни. Сложно представить

современный и благоустроенный мир без синтетических полимерных материалов.

Однако с увеличением применения синтетических полимерных материалов, возросло количество пожаров. Они наносят существенный ущерб отраслям экономики, приводят к человеческим жертвам и оказывают негативное воздействие на окружающую среду в результате загрязнения продуктами пиролиза и горения, несгоревшими горючими веществами. Большая часть загрязнителей переносится по воздуху. В ходе различных природных процессов загрязняющие вещества могут оседать на поверхность суши и водоемов, переходить из одной среды в другую и т.д. В результате термического разложения полимерных материалов образуются токсичные газообразные вещества: диоксид углерода, монооксид углерода, формальдегид, этилен, метан, пропилен и т.д. Применяемые для пожаротушения, огнетушащие газы и аэрозоли также представляют опасность токсического воздействия на здоровье человека.

Для снижения горючести и воспламеняемости полимерных материалов применяется различные замедлители горения – галогенсодержащие и фосфорсодержащие антипирены. Но использование таких соединений, в большинстве случаев, сопровождается высокой токсичностью продуктов горения и пиролиза, обильным дымовыделением и существенным уменьшением эксплуатационных свойств материалов. [1-4]

Немецкие исследователи в 1985-1986 г. обнаружили фураны и бромсодержащие диоксиды в продуктах пиролиза бромированного дифенилоксида в лабораторных исследованиях при 510-630 °С. В дальнейшем использование целого класса галогенсодержащих антипиренов стало затруднительным по причине выделения чрезвычайно опасных продуктов загрязнения окружающей среды. В результате этих исследований в Голландии и Германии были приняты меры для запрета использования и резкому уменьшению производства бромированного дифенилоксида вследствие значительной вероятности образования в процессе переработки и горения канцерогенных и токсичных фуранов и бромированных дифенилоксидов. Со временем и в других странах Европы были приняты аналогичные меры.

Поэтому производители полимерных изделий занимаются разработкой новых экологически безопасных методов снижения горючести. На сегодняшний день главный акцент делается на фосфорсодержащие антипирены. Они применяются в разных классах полимеров: фосфонаты, другие эфиры фосфорных кислот, трифенилфосфат и его производные

используются как антипирены для полистирола, полифениленоксида, полиолефинов, поликарбоната и т.д.

Данный вид антипиренов отличается средней эффективностью и относительно низкой температурой начала разложения, что уменьшает область их использования. Для снижения пожароопасности используются различные комбинации веществ, чтобы добиться эффекта синергизма. Одним из классических примеров синергетических свойств является смесь фосфорсодержащих антипиренов с оксидом сурьмы. Оксид сурьмы является синергистом и не проявляет активных свойств замедлителя горения. В связи с возможностью снижения концентрации добавок антипиренов немного уменьшается острота экологической проблемы. Сегодня ассортимент фосфорсодержащих достаточно широк, применяются комбинации с соединениями хлора, сурьмы. Однако в зависимости от соотношения и природы компонентов в различных полимерных материалах могут наблюдаться синергические, аддитивные или антагонистические эффекты.

Но фосфорсодержащие антипирены можно причислить к потенциально опасным для жизнедеятельности человека окружающей среды соединениям. В продуктах сгорания и пиролиза пенополиуретанов, содержащих в составе фосфорсодержащие антипирены, были обнаружены фосфорсодержащие вещества, которые более токсичны, чем цианистый водород и оксид углерода. При пиролизе хлорсодержащих пенополиуретанов выделяется хлористый водород, хлор и хлорированные углеводороды.

Еще одним из способов снижения горючести полимерных материалов является введение инертных неорганических антипиренов: оксидов металлов, фторидов лития и кальция, технического углерода, гидроксидов, гидрокарбонатов металлов, карбонатов, амонийфосфатов и т.д. Данные добавки более безопасными. Однако, чтобы получить достаточный уровень пожаробезопасности материалов, необходимо увеличивать объем антипиренов, а это окажет влияние на физико-механические свойства полимеров и технологические трудности [5 – 7].

В настоящее время осуществляется поиск и разработка экологически безопасных антипиренов, позволяющих уменьшить дымообразование, горючесть полимерных материалов, концентрацию токсичных продуктов горения и пиролиза, а также улучшить стабильность при внешних воздействиях, функциональные и конструкционные характеристики материалов. Разрабатываемые антипирены не должны оказывать нега-

тивное воздействие на окружающую среду ни в условиях эксплуатации, ни при тепловом воздействии на полимерные материалы.

Использование природных цеолитов позволит снизить горючесть и воспламеняемость полимерных материалов, а также выбросы загрязняющих веществ в атмосферу посредством замены традиционных замедлителей горения на экологически безопасные антипирены.

Литература:

1. Воробьев В.А., Андрианов Р.А., Ушаков В.А. Горючесть полимерных строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1978. – 224 с.
2. Баратов А.Н., Андрианов Р.А., Корольченко А.Я. и др. Пожарная опасность строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.
3. Исаева Л.К. Пожары и окружающая среда. – Москва: Изд. Дом «Калан», 2001. – 222 с.
4. Леонова Д.И. Сравнительный анализ токсичности основных групп антипиренов // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2008. – № 3 (13). – С. 117–128.
5. Morgan A. B., Gilman J. W. An overview of flame retardancy of polymeric materials: application, technology, and future directions // Fire and Materials. – 2013. – Т. 37. – №. 4. – С. 259-279.
6. Kicko-Walczak E., Rymarz G. Flame-Retardant Unsaturated Polyester Resins: An Overview of Past and Recent Developments // Polyester-Production, Characterization and Innovative Applications. – InTech, 2018.
7. Ragaert K., Delva L., Van Geem K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste // Waste Management. – 2017.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НАНОДОБАВОК Al_2O_3 И SiO_2 НА СВОЙСТВА ЗОЛОКЕРАМИКИ

Д.А. Немущенко, В.А. Кальнеус, Д.Ю. Ерёменко, В.В. Ларичкин
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nikri42@gmail.com

Изучено влияние добавки нано- SiO_2 , а также нано- Al_2O_3 на свойства золокерамики. На основе исследований физико-механических свойств полученной керамики (предела прочности при сжатии, водопоглощения, морозостойкости) было выявлено положительное влияние низкопроцентного

введения *nano-SiO₂*, а также *nano-Al₂O₃*.

The effect of nano- SiO₂ and nano- Al₂O₃ adding on fly ash ceramics properties were studied. The positive influence on physical and mechanical properties (unconfined compressive strength, water absorption, froze resistance) of low percentage adding nano-SiO₂ as well as nano- Al₂O₃ were discovered.

Переработка и утилизация золы уноса вносит важный вклад в защиту окружающей среды и устойчивое развитие. В современной практике утилизация золы ограничена, главным образом, использованием золы при создании строительных материалов с низкими техническими требованиями. Однако в наше время строительная индустрия нуждается в создании новых строительных материалов, с улучшенными физико-механическими свойствами и низкой себестоимостью, которые могут получить широкое применение в строительстве.

Цель работы — изучение влияния наноразмерных добавок SiO₂ и Al₂O₃, на свойства образцов керамических изделий, полученных с использованием твёрдых техногенных отходов (зол-уноса от сжигания угля на электростанциях и стеклобоя), а также сравнительный анализ полученных результатов с целью выявления наилучшей рецептуры (состава керамических образцов с наилучшими физико-механическими показателями).

В качестве нанодобавок использовали наноразмерный порошок диоксида кремния (*nano-SiO₂*), полученный исследователями Института теоретической и прикладной механики СО РАН и Института ядерной физики СО РАН методом испарения [1] с последующим охлаждением высокотемпературного пара и конденсацией, а также наноразмерный порошок альфа-корундовой фазы оксида алюминия (*nano-Al₂O₃*), полученный исследователями Института химии твёрдого тела и механохимии СО РАН методом измельчения в планетарных мельницах. Средний размер первичных частиц SiO₂ составлял ~ 22 нм, удельная поверхность ~ 123 м²/г. Средний размер частиц Al₂O₃ составлял ~ 60 нм.

В качестве основы была выбрана рецептура керамики, полученной в [2], которая ранее была адаптирована под местные сырьевые компоненты, и получены изделия, удовлетворяющие требованиям нормативных документов к керамическим изделиям.

В результате полученных экспериментальных данных было выявлено положительное влияние наноразмерных частиц SiO₂ и Al₂O₃ на прочность при сжатии, водопоглощение и, как следствие, морозостойкость обожжённых керамических образцов, которые имеют сложную, с химической точки зрения, многокомпонентную систему, включающую как

природные, так и искусственные составляющие. В результате полученных экспериментальных данных было обнаружено, что 0,5 % добавка нано- Al_2O_3 оказывает наиболее сильное влияние на прочность при сжатии и водопоглощение образцов золокерамики. По показателям морозостойкости, прочности при сжатии и водопоглощения керамические образцы удовлетворяют требованиям ГОСТ 6787-2001 и могут быть использованы в качестве напольной керамической плитки.

Получен патент РФ на рецептуру создания керамической плитки с использованием твёрдых техногенных отходов и наноразмерного наполнителя в виде SiO_2 . [3].

Литература:

1. Патент 2067077, МПК6 C01B 33/88 Российская федерация. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния / В.П. Лукашов., С.П. Бардаханов, Р.А. Салимов, А.И. Корчагин, С.Н. Фадеев, А.В. Лаврухин, № 94002568/26; заявл. 26.01.94; опубл. 27.09.96 – 6 с.

2. Pat. 5,583,079, C03C 1/00, C03C 1/02, C04B 18/06 United States of America. Ceramic products, of glass, fly ash and clay and methods of making the same / J.T. Golitz, J.F. Mainieri, V.H. Bennett, R.D. Moore, A.M. Paxton. - № 367,851; filed 19.07.94; date of patent 10.12.96 – 12 p.

3. Патент 2487846, МПК C04B 33/135, B82B 3/00 Российская федерация. Смесь для изготовления керамической плитки / В.А. Пушко, А.А. Драничникова., В.В. Ларичкин, Д.А. Немущенко. – № 2011150606/03; заявл. 12.12.11; опубл. 20.07.13, Бюл. №20. – 6 с.

СУХИЕ СМЕСИ УКРЕПЛЯЮЩИХ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

Л.В. Полтористова¹, А.В. Левкович¹,

Т.О. Кунаев², Н.А. Машкин¹, В.Ф. Хриганков²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Новосибирский государственный аграрный университет,
г. Новосибирск, lada.poltoristov@mail.ru

Представлены результаты исследований уплотняющих растворов на основе техногенного сырья. Разработаны составы сухих смесей уплотняющих растворов с применением добавок ультрадисперсного кремнезема.

The results Research of sealing solutions based on man-made materials. Developed formulations of dry mixes sealing solutions with application of ultrafine silica supplements.

Контроль состояния оснований фундаментов зданий и сооружений – актуальные задачи строительного и дорожного комплексов. Это, прежде всего, – укрепление грунтов с низкой несущей способностью (большинство грунтов на территории Новосибирска и области) для оснований фундаментов зданий и сооружений жилого фонда, автомобильных и железных дорог, взлетно-посадочных полос и многих других объектов. Сущностью укрепления и уплотнения грунтов методом высоконапорного инъецирования является нагнетание активных растворов в грунты под давлением через специальные устройства – иньекторы (Рисунок 1).



Рисунок 1 - Нагнетание уплотняющего раствора в грунт

В процессе инъецирования раствора происходит разрыв сплошности грунта с заполнение этих зон уплотняющим раствором с одновременным уплотнением грунта, прилегающего к раствору [1].

В Западносибирском регионе нередко наблюдаются факты резкого повышения уровня грунтовых вод, сопровождаемые переувлажнением лессовых почв, и непредсказуемыми просадками и провалами грунтов вблизи и непосредственно под жилыми и промышленными зданиями в черте городов и поселений. По данным детальных геолого-минералогических исследований [2], вышеупомянутый геологический фактор заключается в следующем. Структурно-химически связанная в минеральном веществе (в виде аква-комплексов) вода высвобождается и становится видимой, если минеральная система попадает в неравновесное состояние. В результате этого процесса аргиллитовые (глинистые) породы разлагаются на песок, карбонаты, силикаты и воду. Высвобождаемая вода насыщает грунты, ее избыток может выходить на поверхность. При этом резко снижается прочность и несущая способность грунтов.

Среди промышленных отходов одно из первых мест по объемам занимают золошлаковые отходы (ЗШО) от сжигания твердых видов топлива (уголь разных видов, горючие сланцы, торф) на тепловых электрических станциях. Ежегодно, в целом по России, образуется более 60 млн. т ЗШО, по Омским ТЭЦ-2, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 – около 2,5 млн. т ЗШО, по Новосибирским ТЭЦ-5, ТЭЦ-4, ТЭЦ-3, ТЭЦ-2 – 800 тыс. т. В среднем, по этим городам, мелкими потребителями утилизируется не более 5-6 % ЗШО. В то время как использование ЗШО в развитых странах мира составляет более 60 %. Широко распространена практика строительства заводов при ТЭЦ по полной переработке ЗШО в различные строительные материалы. В среднем по России объем перерабатываемых ЗШО составляет около 7 %.

Причина этого кроется в значительной изменчивости химического состава ЗШО, отсутствии проверенных регламентированных составов строительных смесей с использованием ЗШО, отсутствии налаженного золоотбора, а также адаптированных для различных эксплуатационных условий технологий переработки ЗШО в строительные материалы. Среди которых наиболее перспективным является использование ЗШО при строительстве местных автомобильных дорог [3].

В современных строительных условиях более предпочтительным и экономически и технологически оправданным является, не приготовление уплотняющих растворов на строительной площадке, в частности,

путем перемешивания глины, песка и цемента, а приготовление их из специальных сухих смесей. Поэтому был разработан и реализован метод создания инъекционных уплотняющих растворов на основе сухих смесей вяжущих, песка, золы, ультрадисперсных порошков и других минеральных модифицирующих добавок. Важной особенностью данных сухих смесей является замена глин промышленными отходами - золой ТЭЦ [4].

Регламентированные свойства сухих строительных смесей для уплотняющих растворов: марка по прочности, не менее - М25; подвижность, мм, не менее -160; водоудерживающая способность, %, не менее - 99; технологическая жизнеспособность, ч, не менее - 2.

В результате проведенной серии экспериментов был разработан оптимальный состав строительной смеси: цемент ПЦ 400 Д20 - 10% (от массы смеси), зола ТЭЦ-5 - 27%, песок 0,63 мм - 63%, химические добавки: эфир крахмала - 0,01% и ПАВ Esapon - 0,01%, минеральная добавка ультрадисперсного кремнезема («Таркосил») - 0,01% (Таблица 1).

Таблица 1 - Результаты испытаний сухой смеси уплотняющего раствора

Состав, % по массе					Вода, % от СС	Повышенная подвижность, см	Водоудерживание, %	Расслоение, %	Прочность при сжатии, МПа		
Цемент	Зола	Песок 0,63	«Таркосил»	Хим. добавки					3 сут	7 сут	8 сут
10	27	63	0,01	0,01	29	11	98	3,5	1,0	2,3	4,2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Установлена принципиальная возможность и эффективность использования для уплотнения грунтовых оснований в гражданском и дорожном строительстве сухих смесей с использованием золошлаковых отходов и добавками ультрадисперсного кремнезема.

Литература:

1. Машкин Н.А., Молчанов В.С. Материалы и технологии закрепления грунтовых массивов, оснований и откосов. Учеб. пособие; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2016. – 120 с.

2. Стенина Н.Г. Строительная индустрия в свете решения проблемы связывания воды в силикатном веществе. Монография. Новосибирск: НГАСУ, 2014.– 54 с.

3. Применение зол уноса и золошлаковых отходов при строительстве автомобильных дорог. Обзорная информация /Е.И. Путилин, В.С. Цветков. М.: ФГУП «СоюздорНИИ», 2003. – 31 с.

4. Бердов Г.И., Перспективные направления совершенствования составов и технологии строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ / Бердов Г.И., Машкин Н.А. // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 4 (676). С. 45-57.

ОПАСНЫЕ И ВРЕДНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА ПАО «СИБЛИТМАШ» НА ПРИМЕРЕ РАБОЧЕГО МЕСТА ЗЕМЛЕДЕЛА И ВАГРАНЩИКА

Д.О. Полякова, А.Н. Хоруженко, А.В. Гуськов
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, libertyheart@yandex.ru

В работе рассматриваются актуальные проблемы, связанные с выделением вредных и опасных производственных факторов в литейном цехе на предприятии ПАО «Сиблитмаш» и их воздействие на рабочих следующих специальностей: вагранщик и земледел; экологическое состояние; применяемое оборудование в цехах; осуществление производственного и инструментального контроля.

In this article, we will consider current problems linked with releasing of harmful and dangerous industrial factors of foundry at PAO «Siblitmash», and its effect on cupola melter's and sand mixer's specialty; ecological situation; applied equipment at the departments; implementation of production and instrumental control.

«Сиблитмаш» - единственное в России предприятие, специализирующееся в области литейного машиностроения. Сегодня литейное производство завода специализировано на выпуске изделий из серого чугуна марок СЧ20-СЧ35, конвейерном литье (от 300 грамм до 50 кг) фа-

сонно-корпусных отливках (от 50 кг до 3 тонн), базовом литье (от 3 тонн до 15 тонн) [0].

В ходе исследования были определены вредные и опасные производственные факторы при выполнении технологической операции на рабочем месте земледела 3-го разряда. Земледел занимается приготовлением формовочной смеси на смесеприготовительном комплексе для автоматических формовочных линий, приготовлением формовочной и стержневой смеси на бегунах для отделения плацевого литья.

Используемое оборудование: бегуны центробежные мод.116М, мод. 15326, бегуны катковые мод. 1А12, мод.112, барабан для сушки песка мод. СОБУ-10, сито для просеивания опилок, земельный элеватор ЛГ-650, ЛГ-400, песочный элеватор ЛГ-350, эмульгатор, магнитный сепаратор, сито полигональное, тельфер электрический, передаточная телега, ленточные транспортеры, бункер-отстойник, вибратор электрический, тарельчатый питатель, грейфер электрический.

По итогам специальной оценки условий труда по следующим факторам производственной среды и трудового процесса: аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (3.4), шум (3.1), параметры микроклимата (2), тяжесть трудового процесса (3.2) установлен итоговый класс условий труда 3.4 – вредный 4-й степени [0].

На рабочем месте земледела, выбивальщика отливок (формовщика) главную опасность представляет пыль различного состава (опилки, сухой песок, связующие). На территории цеха находятся пылеулавливающие и газоочистные установки для поддержания уровня допустимых условий труда.

Испытания промышленных выбросов на территории ПАО «Сиблитмаш» показали, что объемный расход газа в газоходе составляет $4,745/4,905 \text{ м}^3/\text{с}$ при диаметре газохода 0,28 м и площади $0,062 \text{ м}^2$. По результатам анализа концентрация вредных веществ равна $0,3188/0,0295 \text{ г}/\text{м}^3$, величина выброса $1,5127/0,01447 \text{ г}/\text{сек}$. Эффективность газоочистки составляет 90,43%.

Санитарно-промышленная лаборатория на предприятии осуществляет замеры в рамках производственного и инструментального контроля. Исследование воздуха в рабочей зоне производится с помощью автоматического приборотборника ОП-221, аспиратора мехового АМ-5, прибора комбинированного ТКА-ПКМ, условия отбора: вентиляция вытяжная общеобменная [0].

По результатам измерений среднемесячная концентрация составляет:

- на корпусном участке (решетка выбивная, формовочные машины) пыль кремнесодержащая – $5,8 \text{ мг/м}^3$, предельно допустимая концентрация $2,0 \text{ мг/м}^3$; окись углерода – 15 мг/м^3 , предельно допустимая концентрация 20 мг/м^3 ;

- на базовом участке (пескомёт) пыль КС – $5,0 \text{ мг/м}^3$, ПДК $2,0 \text{ мг/м}^3$; окись углерода – 15 мг/м^3 , ПДК 20 мг/м^3 ;

- на землеприготовительном участке (приготовление состава земли, уборка горелой земли) пыль древесная – $15,6 \text{ мг/м}^3$, ПДК $6,0 \text{ мг/м}^3$; пыль КС – $9,8 \text{ мг/м}^3$, ПДК $2,0 \text{ мг/м}^3$; окись углерода – 20 мг/м^3 , ПДК 20 мг/м^3 ;

ПАО «Сиблитмаш» выполняет проект ПДВ (предельно допустимые выбросы). Цель проекта - утверждение нормативов на выбросы вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух с приложениями и разрешение на выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух. При превышении нормативов предприятие производит отчисление в федеральную службу по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор).

Производится техническое освидетельствование вентиляционных установок по литейному цеху по плану-графику в зимние и летние месяцы года, а также ежегодная плановая проверка дымовых и вентиляционных труб на крыше литейного корпуса.

Следующим определим вредные и опасные производственные факторы при выполнении технологической операции на рабочем месте вагранщика 4-го разряда. Используемое оборудование: вагранка производительностью 3 т/час , кран электромостовой, барабанные заливочные ковши $Q=1.8 \text{ тн}$, ковш чугуноразливочный $Q=3 \text{ тн}$, 5тн , растворомешалка, воздуходувка [0].

По итогам специальной оценки условий труда по следующим факторам производственной среды и трудового процесса: химический (3.2), аэрозоли преимущественно фиброгенного действия (3.3), шум (3.1), параметры микроклимата (3.1), тяжесть трудового процесса (3.2) установлен итоговый класс условий труда 3.3 – вредный 3-й степени.

Наибольшую опасность на рабочем месте вагранщика представляет печь, так как происходит работа непосредственно с горячим металлом (1600°C). Вагранка не имеет собственной системы пылегазоочистки, трубы вентиляции выходят наружу на территорию предприятия.

На предприятии происходит модернизация оборудования, так в 2015 г. была установлена новая электродуговая печь ДППТУ – 6 И 1 с собственной системой газоочистки. Мощность печи 50 т/сутки. В 2018 г. произошла установка дополнительной системы аспирации (Рисунок 2) от дуговой электропечи ДППТУ – 6 И 1 в рамках технического перевооружения опасного производственного объекта – литейного цеха ПАО «Сиблтмаш» [0].

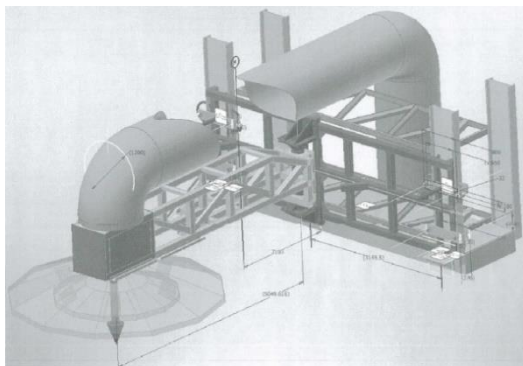


Рисунок 2. Металлоконструкция вытяжного установленного над электродуговой печью ДППТУ – 6 И 1

В соответствии с требованиями п. 226 ФНП «Правила безопасности при получении, транспортировании, использовании расплавов черных и цветных металлов и сплавов на их основе» дуговая электропечь оборудуется системой аспирации, состоящей из устройства вытяжного (зонт), воздухопроводов, задвижек, вентилятора В –Ц 4 – 70 -16 мощностью 58000 м³/ч и существующего пылеуловителя. В соответствии с требованиями п. 98 ФНП для увеличения теплоотражающей способности на стекло окна пульта управления дуговой электропечи наклеивается специальная теплоотражающая пленка. Для защиты от механических повреждений окно пульта оборудуется съемной металлической сеткой.

В соответствии с требованиями п. 236 ФНП необходимо проводить ежегодную инструментальную проверку эффективности работы аспирационных систем.

Таким образом, в результате исследования были определены вредные и опасные факторы (шум, параметры микроклимата, пыль, выбросы вредных веществ, температура); предложены мероприятия по замене

старого оборудования на новое, модернизации [0]. За счет этого достигается уменьшение вредных факторов и снижение трудозатрат. Использование современных средств индивидуальной защиты позволяет добиться улучшений условий труда на 10-15%. Для рабочих приобретаются новейшие маски и наушники, созданные для использования в условиях значительного уровня промышленного шума, в том числе для погашения шума низкой частоты производства компании ЗМ.

Литература:

1. Главная. Сиблитмаш [Электронный ресурс] // URL: <http://siblitmash.com/> (дата обращения: 21.10.2018).

2. КАРТА № 98А специальной оценки условий труда – Новосибирск, ПАО «Сиблитмаш», 2014.

3. ГОСТ 12-104-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). – Введ. 1984-07-01.

4. КАРТА № 90А специальной оценки условий труда – Новосибирск, ПАО «Сиблитмаш», 2014.

5. Рабочая документация: Раздел 5 «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений» Подраздел 7 «Технологические решения» Том 1 А-8/18-ТХ – ПАО «Сиблитмаш», 2018.

6. А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. Расчет и проектирование систем и средств безопасности труда (общие положения). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОМОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЗОЛОБЕТОНА

Д.А. Строганов, В.В. Ларичкин

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

В работе исследованы характеристики бетонов, изготовленных с добавлением золы уноса от сжигания бурых углей и модифицирующей упрочняющей добавки, в виде углеродных нановолокон различной морфологии. Показано, что введение углеродных нановолокон в количестве 0,015 % приводит к возраста-

нию предела прочности на сжатие (от 18 до 41 %). При этом эта добавка практически не влияет на плотность материала

Descriptions of the concretes made with addition of ash of carrying away from incineration of brown coals and modifying consolidating addition are in-process investigational, as carbon nanofibres of different morphology. It is shown that introduction of carbon nanofibres in an amount 0,015 % results in growth of tensile strength on a compression (from 18 to 41 %). Thus this addition practically does not influence on the closeness of material

Твердые минеральные отходы промышленных предприятий часто содержат полезные минеральные вещества, которые могут явиться сырьевой базой для получения практически ценных продуктов, используемых в различных областях промышленности. Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья при получении продукции строительного назначения.

Большое количество твердых отходов образуется при сжигании угля на тепловых электростанциях

Зола уноса (летучая зола), далее просто зола, представляет собой пыль, которая улавливается фильтрами ТЭС. В ней содержатся многочисленные полевые и цельные стеклянные сферы, муллит, кварц, а так же небольшое количество минеральных кристаллических фаз (кальцит, шпат полевой, гематит, магнетит и т.д.). В настоящее время во всем мире производится около 50 млрд тонн золы, часть которой утилизируется (более 250 млн т). Большая часть золы используется для строительства портов, дамб, дорог и добавок для бетона и т.д. Образующаяся в России зола уноса утилизируется не более, чем на 10 %, остальная часть смешивается с водой и шлаком и гидротранспортом отправляется на золоотвалы, которые занимают большие площади, пылят, загрязняют почву и грунтовые воды.

Мировой опыт показывает, что применение золы позволяет значительно снизить стоимость строительных материалов, не ухудшая, а в некоторых случаях даже улучшая их технические характеристики [1]. Однако свойства золы достаточно изменчивы и зависят от многих факторов, таких как вид и качество угля, тонкость помола угольного порошка, условия сжигания, окисления, подготовка и очистка перед сжиганием, метод сбора и хранения зол и др.

Химический состав зол может варьироваться в широком диапазоне: SiO₂ – 20...60%, Al₂O₃ – 10...40%, Fe₂O₃ – 3...20%, CaO – 1...45%,

MgO – 0,2...5. Потеря веса при прокаливании (ПВП) составляет 3...8%. Основными активными веществами в золе являются SiO₂ и Al₂O₃. Отечественные и зарубежные ученые на основе проведенных исследований установили зависимость между химическим составом и активностью зол, что стало основой разработки стандартов и норм по качеству золы.

Высококальциевая зола с высоким содержанием CaO (>20%) образуется в результате сжигания на ТЭС бурых углей. В ней содержатся минеральные кристаллические фазы, затвердевшие под действием воды и активные вещества. Такие золы при затворении водой способны к схватыванию и самостоятельному твердению, имеют низкую водопотребность и высокую активность. В низкокальциевых золах (<10%) CaO, в основном, присутствует в виде стекловидной фазы. Цвет высококальциевой золы близок желтому, а у низкокальциевой золы - к серому. Высококальциевые золы с малыми размерами частиц, обладают вяжущими свойствами и могут применяться для замещения части цемента в бетонах, к которым не предъявляются высокие требования по прочности и долговечности.

Известно, что введение зол в бетоны приводит к увеличению сроков их схватывания. Данный параметр существенно зависит от содержания золы, тонкости ее помола, рецептуры и т.д.

Цель работы - исследование физико-механических характеристик бетонов, изготовленных с добавлением золы уноса от сжигания канско-ачинских бурых углей и модифицирующей упрочняющей добавки, в виде углеродных нановолокон, различной морфологии.

Результаты и их обсуждение.

Углеродные нановолокна (УНВ) представляли собой материал, полученный в Институте катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (г. Новосибирск) каталитической переработкой углеводородов или отходов на их основе (попутный газ, хлорорганические отходы). УНВ имели следующие характеристики: диаметр - 0,05...0,25 мкм, длина – до 4 мм, удельная поверхность – 70...320 м²/г.

В работе [2] была разработана методика приготовления суспензий УНВ/H₂O методом ультразвукового-диспергирования.

В настоящей работе была принята традиционная методика изготовления образцов бетона. Она включала изготовление базовых образцов в форме куба (70 мм × 70 мм × 70 мм), где в качестве материалов использовались песок (ГОСТ 26633-91), портландцемент марки 400 и вода затворения (ГОСТ 23732-79). Базовый образец по сухому компоненту включал в себя: 1 часть цемента и 3 части песка. После получения одно-

родной массы, ее помещали в форму, которую устанавливали на вибростол и далее проводили уплотнение раствора бетона в течение 20...40 секунд.

При изготовлении образцов бетона модифицированных УНВ вместо воды затворения использовали суспензии УНВ приготовленные при помощи ультразвуковой установки УЗТА-0,4/22-ОМ-1. Количество УНВ варьировалось в пределах 0,01...0,02 %. Количество золы уноса в образцах бетона изменялось в пределах 10...40 %.

Образцы испытывались на прочность, истираемость и водопоглощение. В качестве примера на Рисунке 1 приведены результаты испытаний образцов на сжатие.

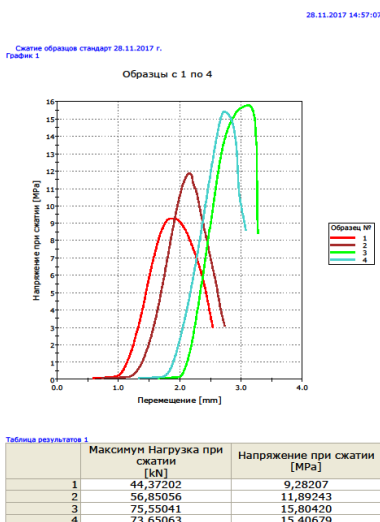


Рисунок 1 – Испытание образцов золобетона на сжатие

Выводы

1. На основании изучения физико-механических характеристик образцов бетона, модифицированных введением золы уноса установлено, что повышение содержания золы в составе бетона от 10 до 40 % приводит к уменьшению плотности (от 9 до 31 %), снижению прочности на

сжатие (от 28 до 75 %), повышению истираемости (от 0,18 до 0,38 г/см²).

Для изучения модифицирующего действия углеродных нановолокн (УНВ) в качестве модельных были выбраны образцы золобетона с содержанием золы 20 %. Содержание углеродных нитей в суспензии составляло 0,93 – 2,47 г/л, в зависимости от типа УНВ.

2. Установлено, что образец, содержащий кислородные стопчатые углеродные нити обладает максимальной суспендируемостью (95 %), а минимальный показатель суспендируемости (37 %) зафиксирован для азотсодержащих углеродных нитей коаксиально-конической морфологии (3% N).

3. Показано, что введение УНВ в количестве 0,015 % приводит к возрастанию предела прочности на сжатие (от 18 до 41 %). При этом эта добавка практически не влияет на плотность материала (1,67±0,02 г/см³) и показатель истираемости (0,26±0,05 г/см²)

Практические рекомендации по применению зол уноса

Использование, как вяжущего, зол уноса ТЭЦ, работающих на бурых углях, требует предварительной их сортировки по гранулометрическому составу и механоактивации используемого цемента с целью повышения его марочности и стабилизации свойств, гарантирующих получение максимально качественной продукции. Только при научно обоснованной рецептуре добавления продуктов из золы в бетоны количество используемого цемента может быть снижено, что скажется на цене конечной продукции, а основные характеристики готовых изделий станут лучше традиционных.

Литература:

1. Алехин Ю.А., Люсов А.М. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 344 с.

2. Бетоны с использованием золошлаковых отходов и возможность их модификации углеродными нановолокнами / Д.А. Строганов, С.М. Айтказина, А.К. Глеулесов, И.В. Мишаков // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 16 Всерос. науч.-техн. конф., (Новосибирск, 22–24 апр. 2015 г.). – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – С. 749-752.

ГОРЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ИХ ДОБЫЧИ И ОБОГАЩЕНИЯ

А.М. Харченко, В.В. Ларичкин, В.А. Полубояров
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, 7154@list.ru

Работа посвящена применению антрацитовых углей Горловского месторождения и направлениям использования отходов их добычи и обогащения в различных отраслях.

The work is devoted to application of anthracite of Gorlovka coal field and areas of utilization of waste of mining and milling in various industries.

Уголь антрацит является самым качественным ископаемым углем, запасы которого составляют около трёх процентов от общего объёма мировых запасов угля. В России и СНГ антрациты выявлены в Донецком, Горловском, Кузнецком, Таймырском, Тунгусском бассейнах, а также в угольных бассейнах и на месторождениях Урала и Магаданской области [1].

Антрациты - это метаморфизованные угли, в которых отсутствуют битумы и другие водоуглеродные соединения. Это уголь, отличающийся максимальным из всех типов углей содержанием углерода – 92...99 %. Он обладает повышенной теплоотдачей. По своим теплотворным качествам антрацит превосходит все каменные угли. Его теплоотдача может составлять 8200 кКл/кг, а для сравнения теплоотдача природного газа имеет примерно 7000 кКл/кг. Антрацит сложно разжигается, однако в процессе горения выделяет большое количество энергии (7...8,5 кКал/ед.) и практически не спекается. Для антрацита в Горловского бассейна выход летучих веществ составляет 0,22 мг/кг, а объёмный выход летучих веществ менее 9 %.

Антрациты - уникальное высокотехнологическое сырьё. Они обладают высокой плотностью органической массы (1500-1700 кг/м³) и высокой электропроводностью. Твёрдость по минералогической шкале 2,0-2,5 [2]. Согласно принятым в России и СНГ межгосударственным стандартам на угли и антрациты, (классификация по генетическим и технологическим параметрам), антрациты используются в производстве водяного газа, термоантрацита, карбида кальция, электрокорунда, в пылевидном сжигании, слоевом сжигании в стационарных котловых установках и кипящем слое, топках судов, для коммунальных и бытовых нужд, производстве извести, цемента, в агломерации руд [4]. Антрацит

является основным технологическим сырьем (наполнителем) при производстве таких важнейших видов углеродной продукции, как подовые и боковые блоки для алюминиевых электролизеров, блоки различной конфигурации для футеровки доменных печей, угольные электроды для электротермических процессов получения кремния, ферросплавов, фосфора и других материалов.

На Новосибирском электродном заводе (ЗАО «НовЭЗ») для производства углеродной продукции применяется антрацит Горловского, Колыванского и Ургунского месторождений Горловского бассейна [3]. Горловский бассейн расположен в Новосибирской области и представляет собой вытянутую примерно на 120 км с юго-запада на северо-восток узкую полосу площадью около 400 км². Из 11 известных месторождений бассейна разведаны четыре — Горловское, Ургунское, Колыванское и Листвянское, эксплуатируются в настоящее время первые три. Балансовые запасы бассейна составляют около 800 млн т, прогнозные ресурсы до глубины 900 м - 6,5...7,0 млрд т.

К отходам топливно-энергетической промышленности относятся продукты, получаемые в виде отходов при добыче, обогащении и сжигании твердого топлива. Эту группу отходов разделяют по источнику образования, виду топлива, числу пластичности минеральной части отходов, содержанию горючей части, зерновому составу, химико-минералогическому составу, степени плавкости, интервалу размягчения, степени вспучивания.

Отходы угледобычи и углеобогащения обычно включают в себя шахтные породы и «хвосты» обогатительных фабрик. В настоящее время таких отходов по стране накопилось сотни млн. т, что создаёт в местах их расположения экологические проблемы, связанные с пылением, загрязнением грунтовых и поверхностных вод, изъятием из сельскохозяйственного оборота больших площадей земли и др. Поэтому актуальной является задача уменьшения объёмов образования углеотходов и рационального их использования.

Шахтные отвальные породы наиболее часто представлены аргиллитами, алевролитами, песчанниками, известняками. Они обладают высокой плотностью и, как правило, трудно размокают в воде. Их можно отнести к малопластичному или непластичному глинистому сырью. По сравнению с глинами аргиллиты обладают более высокой прочностью, которая составляет 2...4 МПа при естественном залегании. Алевролиты по сравнению с аргиллитами имеют более крупнозернистое строение. По-

этому они могут найти применение в укреплении откосов насыпей, одеждах дорог и др.

Для применения в производстве строительных материалов наибольший интерес представляют отходы углеобогащения, характеризующиеся наименьшими колебаниями состава и свойств. Обогащаемость угля – это способность угля разделяться на продукты обогащения по заданным показателям качества. К продуктам обогащения относят: концентрат, промежуточный продукт (промпродукт) и отходы обогащения. Отходы углеобогащения представлены обычно в виде кусков крупностью 8...80 мм.

Все отходы по содержанию углерода условно делят на две группы более и до 24% [4]. Углеотходы антрацитного угля, с содержанием углерода более 24 % рационально дополнительно обогащать или применять как топливо. Обогащение угля осуществляется на обогатительных фабриках (ЦОФ) двумя методами: флотацией и на отсадочных машинах. Флотационные отходы представляют собой дисперсную фракцию. Установлено, что во флотоотходах содержание углерода более высокое, чем в отходах отсадочных машин, и достигает 20 % [2]. Отсадка представляет собой расслоение массы твердых частиц под воздействием восходящего и нисходящего потоков. На отсадочные машины поступает порода фракцией от 0,5 до 50 мм. Выход «пустых» пород из-под отсадочных машин достигает 70 %. В настоящее время они в основном идут на отвалы. Хотя могут использоваться как наполнитель в бетонах, одежда в дорожном строительстве. Весьма важным ограничивающим фактором применения отходов обогащения углей является наличие в них серы и влажность. Влажность отходов зависит от способа их получения. Естественная влажность аргиллитов 4...5 %. Отходы флотации углей, добываемые из шламонакопителей, имеют влажность 25...30 %.

При содержании углерода в отходах менее 24 % более рационально их использовать в строительстве, металлургии, сельском хозяйстве и др. [5].

При сжигании углей в топках тепловых электростанций образуются зола в виде пылевидных остатков (зола уноса) и кусковой шлак, а также золошлаковые смеси. Они являются продуктами высокотемпературной (1200—1700 °С) обработки минеральной части топлива. Для золы характерно значительное содержание частиц с мелкими замкнутыми порами, которые являются результатом вспучивания расплавленной минеральной массы газами, выделяющимися при дегидратации глинистых минералов, диссоциации частиц известняка, гипса и органических ве-

ществ. Общий объем пор может достигать 60% объема частиц золы. Высокое содержание микропор в золе обуславливает высокое значение ее действительной удельной поверхности. С высокой действительной поверхностью золы связаны такие ее свойства, как адсорбционная способность, гигроскопичность, гидравлическая активность. Золой подразделяются на высококальциевые ($\text{CaO} > 20\%$) и низкокальциевые ($\text{CaO} < 20\%$). Для первых преобладающими являются кристаллические фазы, для вторых — стекло и аморфизованное глинистое вещество. Шлаки - основной вид отходов при кусковом сжигании угля. При пылевидном сжигании шлаки составляют 10...25% от массы образуемой золы.

Золошлаковые отходы находят применение в строительной индустрии: тяжелый бетон (в том числе гидротехнический), легкие бетоны на пористых заполнителях, ячеистый бетон, строительные растворы, портландцемент (с минеральными добавками, пуццолановый; шлакопортландцемент), известковые вяжущие вещества, цементный клинкер, обжиговый глинозольный керамзит, безобжиговый зольный гравий, керамический кирпич и т.д. [6].

Литература:

1. ГОСТ 25543-88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. -- М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
2. Антрацит. Большая Российская энциклопедия: В 30 т. Т. 2. Анкилоз -- Банка. М., 2005.
3. Угольная база России. Т. П. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и республики Алтай). М.: ООО «Геоинформцентр», 2003 - 604 с.
4. Панова В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – 287 с.
5. Шпирт М.Я., Рубан В.А., Иткин Ю.В. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей. – М.: Недра, 1990. – 224 с.
6. Инновационные технологии использования твердых техногенных отходов предприятий теплоэнергетики и металлургии Павлодарской области в производстве строительных материалов / В.В. Ларичкин, К.Ш. Арынгазин, К.П. Гусев, К.С. Садвакасов, А.К. Тлеулесов // Межд. сборник научных трудов: Эффективные рецептуры и технологии в строительном материаловедении по результатам проведения Международной научно-технической конференции, проведенной 14-17 февраля 2017

года в рамках работы Международной выставки «СТРОЙСИБ-2016», г. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2017. – С. 302-307.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ZIF-8 И СЛОИСТОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В РЕАКЦИИ КОНДЕНСАЦИИ БЕНЗАЛЬДЕГИДА С МАЛОНИТРОИЛОМ

**А.В. Швыдко, Е.П. Вентлянд, И.А. Лукоянов,
М.Н. Тимофеева, В.Н. Панченко**

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, alina.schwydcko.98@mail.ru**

Впервые были получены и охарактеризованы комплексом физико-химических методов катализаторы на основе цеолитоподобного цинк-имидазолятного каркаса ZIF-8 и нановолокон оксида алюминия (NafenTM). Показано, что количество основных центров в ZIF-8/Al₂O₃ зависит от содержания ZIF-8. Каталитические свойства ZIF-8/Al₂O₃ материалов были изучены в реакции конденсации бензальдегида с малонитрилом (реакция Кнёвенагеля). Установлено, что активность и селективность реакции коррелируют с изменением концентрации основных центров.

Here in we demonstrated synthesis and investigation of physicochemical and catalytic properties of composite materials based on ZIF-8 and layered Al₂O₃ (NafenTM) in the condensation reaction of benzaldehyde with malonitrile (Knoevenagel reaction). The activity and selectivity of the reaction were demonstrated to depend on the nature of acid-base properties, which are adjusted by the ZIF-8 content in the composite material.

Реакция конденсации (реакция Кнёвенагеля) альдегидов и кетонов в присутствии оснований с соединениями, содержащими активные метиленовые группы, позволяет получать широкий класс ненасыщенных соединений, используемых в различных областях химии. Согласно литературным данным металлорганические координационные полимеры (МОКП), в том числе Zn-содержащие имидазолятные структуры (ZIF-n), благодаря своим уникальным физико-химическим, структурным и текстурным свойствам могут быть использованы в качестве катализаторов для проведения данного типа реакций [1-2]. Так, применение ZIF-8 позволяет проводить реакцию Кнёвенагеля в мягких условиях. Однако

причины высокой активности данного материала до сих пор остаются не ясными.

В данной работе изучена реакция конденсации бензальдегида (БА) с малонитрилом (МН) (рис. 1) в присутствии ZIF-8 и композитов, полученных путём фиксации ZIF-8 в структуре нановолокон слоистого Al_2O_3 (NafenTM). Основное внимание было обращено на исследование влияния основных свойств материалов на скорость и селективность реакции в их присутствии.

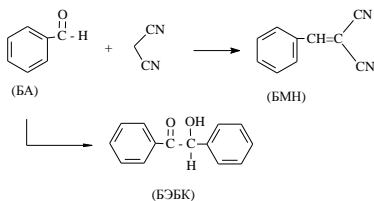


Рисунок 3 - Реакция конденсации Кнёвенагеля

Композиты с содержанием ZIF-8 в количестве 8.1, 12.9 и 17.4 масс.% были получены сольвотермическим методом, основанным на формировании ZIF-8 в структуре слоистого Al_2O_3 . Образование цеолитной структуры ZIF-8 было подтверждено методом рентгенофазового анализа.

Согласно микроскопическим исследованиям Al_2O_3 представляет собой нановолокна длиной 0.4-0.6 мкм и диаметром 10-15 нм (рис. 2). Его модифицирование ZIF-8 приводит к эксфолиации. Размер кристаллов ZIF-8 зависит от его количества в композите. В образце, содержащем 8.1 масс.%, размер кристаллов составляет 40-50 нм. Увеличение количества ZIF-8 в композите сопровождается ростом размеров кристаллов до 100-150 нм.

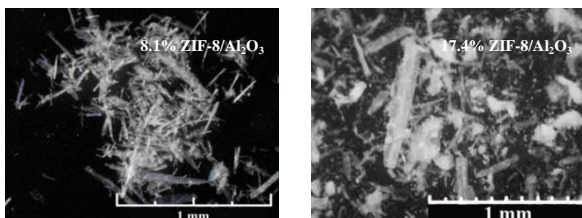


Рисунок 2 – Снимки ZIF-8/ Al_2O_3 композитов

Основные свойства ZIF-8/ Al_2O_3 композитов были изучены методом ИК-спектроскопии с использованием CDCl_3 в качестве молекулы зонда. В ИК спектрах адсорбированного CDCl_3 наблюдается 2 полосы - 2245 и

2253 cm^{-1} (рис. 3), которые характеризуют взаимодействие молекулы CDCl_3 с основными центрами. На данный момент природа этих центров пока не ясна, однако можно предположить, что они относятся к центрам, образованным Zn-OH группами и атомом азота в имидазолиевом кольце [3]. С увеличением содержания ZIF-8 в композите интегральная интенсивность полосы 2245 cm^{-1} , сила которых в единицах протонного сродства к паре электронам (РА) равна 858 kJ/mol , растёт. Это может указывать на изменение количества основных центров.

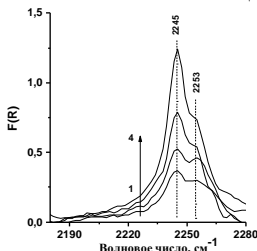


Рисунок 3 – ИК спектры CDCl_3 , адсорбированного на $\text{ZIF-8/Al}_2\text{O}_3$

Каталитические свойства $\text{ZIF-8/Al}_2\text{O}_3$ композитов были изучены в реакции бензальдегида с малонитрилом (рис. 1) при 45°C , мольном соотношении БА/МН равном 1/1 и загрузке катализатора 4.55 масс.% (в расчёте на БА). Согласно полученным данным основным продуктом реакции был бензилиденемалонитрил (БМН). Реакция имеет гетерогенный характер, поскольку визуально катализатор представляет отдельную фазу и после его отделения реакция не протекает. Установлено, что конверсия БА и выход БМН зависят от количества ZIF-8 в композите. Конверсия БА снижается при введении ZIF-8 в количестве до 8.1 масс.% в $\text{ZIF-8/Al}_2\text{O}_3$ и возрастает при последующем его увеличении. В тоже время влияние концентрации ZIF-8 в $\text{ZIF-8/Al}_2\text{O}_3$ на выход БМН имеет обратный характер. Снижение выхода БМН связано с ростом влияния побочной реакции (альдольная конденсация) (рис. 1) в результате увеличения количества основных центров.

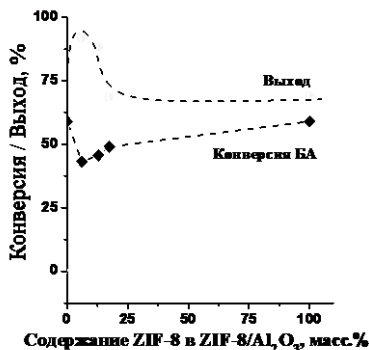


Рисунок 4 - Влияние содержания ZIF-8 в ZIF-8/Al₂O₃ композите на конверсию БА и выход БМН

Литература:

1. Suttipat D., Wannapakdee W., Yuthalekha T., Ittisanronnachai S., Ungpittagul T., Phomphrai K., Bureekaew S., Wattanakit C., Hierarchical FAU/ZIF-8 hybrid materials as highly efficient acid-base catalysts for aldol condensation // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2018. – Vol. 10. – P. 16358–16366.
2. Tran U. P. N., Le K. K. A., Phan N. T. S., Expanding applications of metal-organic frameworks: Zeolite imidazolate framework ZIF-8 as an efficient heterogeneous catalyst for the Knoevenagel reaction // ACS Catal. – 2011. - Vol. 1. – P. 120–127.
3. Chizallet C., Lazare S., Bazer-Bachi D., Bonnier F., Lecocq V., Soyer E., Quoineaud A.-A., Bats N., Catalysis of trans-esterification by a nonfunctionalized metal-organic framework: Acid-basicity at the external surface of ZIF-8 probed by FTIR and *ab Initio* calculations // J. Am. Chem. Soc. – 2010. – Vol. 132. – P. 12365–12377.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА Ni/CeO₂-КАТАЛИЗАТОРОВ

А.С. Шляхтина¹, Е.В. Матус^{1,2},
О.Б. Сухова², М.А. Керженцев²

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Институт катализа им. Г.К. Борескова,
г. Новосибирск, alexandra_issakova@mail.ru

С целью разработки эффективного катализатора конверсии возобновляемого углеводородного сырья – биоэтанола – в водородсодержащий газ проведена оптимизация условий термообработки Ni/CeO₂-катализаторов. Показано, что температура прокаливания влияет на фазовый состав, текстурные и окислительно-восстановительные свойства образцов. Установлено, что при снижении температуры прокаливания катализаторов от 900 до 500°С увеличивается выход водорода в реакции автотермического риформинга этанола, а также возрастает устойчивость катализатора к зауглероживанию.

In order to develop an efficient catalyst for conversion of renewable hydrocarbon feedstock - bioethanol - into hydrogen-containing gas, the conditions for heat treatment of Ni/CeO₂ catalysts were optimized. It is shown that the calcination temperature affects the phase composition, textural and redox properties of the samples. It has been established that by lowering the calcination temperature of the catalysts from 900 to 500°C increases the yield of hydrogen in the reaction of ethanol autothermal reforming and also improves the resistance of the catalyst to coking.

Известно, что при использовании водорода в качестве источника энергии не происходит загрязнение окружающей среды, поскольку продуктом его окисления является только вода. Однако, в настоящее время водород в основном производят из ископаемых видов топлива (природный газ, нефть и уголь) [1], из-за чего возникает проблема парниковых газов, и экологически чистым процесс назвать нельзя. Привлекательно выглядит синтез водорода из возобновляемых источников. Так, одними из основных органических веществ, служащих сырьем для получения водорода, являются метанол и этанол, получаемый сбраживанием биомассы, доступной повсеместно [5].

Паровая конверсия этанола в водородсодержащий газ – более сложный процесс, чем конверсия метанола, в первую очередь вследствие необходимости активации и разрыва связи С-С, тем не менее, более экологически чистый. Катализаторы паровой конверсии этанола должны активировать как молекулы этанола, так и молекулы воды, обеспечивая максимально полное окисление углеродных фрагментов и макси-

мальный выход водорода, быть устойчивыми к зауглероживанию [3]. Этим требованиям удовлетворяют металл-содержащие нанесенные катализаторы на основе диоксида церия [2], который, благодаря легкости перехода $Ce^{4+}-Ce^{3+}$, способен накапливать и отдавать кислород в ходе окислительно-восстановительных реакций, обеспечивая высокую устойчивость катализаторов к образованию углеродистых отложений.

Условия прокаливания материала определяют дисперсность активного компонента, степень взаимодействия металл-носитель и, следовательно, могут оказывать влияние на активность и стабильность катализатора [4]. В этой связи, целью настоящей работы было исследование влияния температуры прокаливания Ni/CeO₂-катализаторов на их физико-химические свойства, каталитическую активность и устойчивость к зауглероживанию.

Ni/CeO₂-катализаторы с содержанием 2-15 мас.% Ni получали методом пропитки по влагеомкости (I-серия) и методом сложнэфирных полимерных предшественников (P-серия). Температура прокаливания (T_{пр.}) образцов составляла 300, 500, 700 или 900°C. Катализаторы исследованы комплексом физико-химических методов (термогравиметрический и рентгенофазовый анализы, БЭТ-метод, термопрограммируемое восстановление водородом, просвечивающая электронная микроскопия) и протестированы в реакции автотермического риформинга этанола.

Показано, что температура прокаливания CeO₂-катализаторов влияет на их фазовый состав, текстурные свойства и восстанавливаемость. Для I-серии образцов при увеличении T_{пр.} от 300 до 900°C увеличивается средний размер кристаллитов и носителя, и активного компонента при сохранении фазового состава материала (CeO₂ + NiO). Для P-серии образцов размер кристаллитов также увеличивается с ростом температуры прокаливания, однако при этом изменяется и фазовый состав системы: твердый раствор на основе диоксида церия наблюдается после прокаливания при T_{пр.} = 300-700°C, смесь фаз CeO₂ + NiO – после T_{пр.} = 900°C. Удельная поверхность образцов обеих серий снижается при увеличении температуры прокаливания, при этом образцы P-серии, по сравнению с катализаторами I-серии, более устойчивы к спеканию. Восстанавливаемость материалов снижается с увеличением температуры термообработки.

Установлено, что образцы, подвергнутые высокотемпературной обработке, отличаются меньшей активностью (выход водорода 43% против 58%) и высоким содержанием углеродистых отложений (30% против 5%), что может быть обусловлено низкой дисперсностью активного

компонента и, как следствие, высокой скоростью протекания побочной реакции разложения метана.

Таким образом, в результате работы оптимизированы условия прокаливания Ni/CeO₂-катализаторов, установлен характер влияния температуры термообработки на физико-химические и каталитические свойства образцов. Низкотемпературное прокаливание образцов (при 500°C), в отличие от высокотемпературного (при 900°C), обеспечивает формирование материала, характеризующегося высокой каталитической активностью и устойчивостью к зауглероживанию.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект АААА-А17-117041710090-3).

Литература:

1. Dincer I., Acar C., Innovation in hydrogen production. – International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – V. 42. –P. 14843-14864.
2. Effect of preparation method on physicochemical and functional properties of Ni/CeO₂-catalysts / A.S. Issakova (Shlyakhtina), E.V. Matus, O.B. Sukhova, I.Z. Ismagilov, S.A. Yashnik, V.A. Ushakov, M.A. Kerzhentsev, Z.R. Ismagilov. – Catalysis: from Science to Industry. – 2018. – V. 143. – P. 41.
3. Hydrogen production through hydrocarbon fuel reforming processes over Ni-based catalysts / Z.R. Ismagilov, E.V. Matus, I.Z. Ismagilov, O.B. Sukhova, S.A. Yashnik, V.A. Ushakov, M.A. Kerzhentsev // Catalysis Today. – 2018.
4. Влияние температуры прокаливания на структуру и каталитические свойства MnO_x/Ga₂O₃ в реакции окисления СО и этана / Сигаева С. С., Афонасенко Т. Н., Булавченко О. А., Гуляева Т. И., Аношкина Е. А., Цырульников П. Г. // Журнал прикладной химии. – 2017. – Т. 90, №12. – С. 1586-1594.
5. Получение водорода паровой конверсией этанола на церийсодержащих катализаторах / Якимова М.С., Иванов В.К., Полежаева О.С., Лермонтов А.С., Третьяков Ю.Д. // Доклады академии наук. – 2009. –Т. 427, №5. – С. 633-636.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОЛЬНОГО ОТНОШЕНИЯ DVR/MgCl₂ ДЛЯ СИНТЕЗА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ВЫСОКОАКТИВНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ПРОПИЛЕНА

Д.А. Шамова¹, А.И. Костюков²,
А.Ю. Шабалин², В.Н. Панченко^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет,
²Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН,
г. Новосибирск, dda2512@gmail.com

Исследован носитель катализаторов полимеризации пропилена $TiCl_4/D/MgCl_2$ (D – дибутилфталат (DBP)). Методами химического анализа, ИК спектроскопии диффузного отражения и фотолюминесцентной (ФЛ) спектроскопии показано, что от мольного соотношения DBP/Mg зависит структура носителя. Предположена возможность образования молекулярных комплексов на поверхности $MgCl_2$.

Support of catalysts of propylene polymerization $TiCl_4/D/MgCl_2$ (D – dibutyl phthalate (DBP)) was investigated. Using chemical analysis, IR spectroscopy of diffuse reflection and photoluminescence (PL) spectroscopy it was shown that the structure of the support depends on the molar ratio of DBP / Mg. It was suggested possibility of the formation of molecular complexes on the surface of $MgCl_2$.

В настоящее время в мировой практике при производстве α -олефинов применяют титан-магниевые катализаторы (ТМК), состоящие из хлорида магния, $TiCl_4$ и электронодонорных соединений (ЭС). В качестве ЭС используют бензоаты, фталаты, 1,3-замещенные диэфир, 2,3-замещенные сукцинаты и др. Однако с 21 февраля 2015 г. регламент REACH запретил использование фталатов в полимере в концентрации выше 0.1 % масс.[1]. Поэтому поиск новых несодержащих фталаты или

Таблица 1 - Данные полимеризации пропилена на исследуемых катализаторах $MgCl_2/D/TiCl_4$ [2]

Условия полимеризации: 40°C, давление C_3H_6 1 атм, $AlEt_3$, гептан 100 мл, время реакции 30 мин

ВМФ _{введ} /Mg	ВМ F _{адс} % вес.	T i % вес	Средняя актив- ность кг ПП/гTi*ч	Индекс изотак- тичности (ИИ)
0	0	8 .09	2770	75.0
0.1	29. 8	6 .22	7210	86.8
0.2	49.	4	8010	96.0

	17	.91		
0.5	60. 67	3 .57	5010	93.3
1	65. 08	2 .95	3800	92.3

с пониженным их содержанием катализаторов является важной и актуальной задачей.

Анализ литературных данных [2] показывает, что количество внутреннего донора, например, 9,9-бис-метоксиметилфлуорена (ВМФ) используемого в ходе синтеза катализатора ($\text{ВМФ}_{\text{введ}}/\text{Mg}$ мол.), определяет химический состав, активность и свойства получаемого полимера (Таблица 1). Максимальная активность и индекс изотактичности (ИИ) наблюдаются при $\text{ВМФ}_{\text{введ}}/\text{Mg} = 0.1-0.2$. В связи с этим встает вопрос выявления причин такого влияния $\text{D}_{\text{введ}}/\text{Mg}$. Это позволит проводить целенаправленный поиск ЭС для синтеза новых высокоактивных экологически чистых ТМК.

Для исследования были приготовлены носители MgCl_2/DBP при DBP/Mg равных 0.1, 0.15 и 1 мол/мол. Данные химического анализа приведены в Таблице 2.

Таблица 2 - Введенное и адсорбированное количество DBP и-ФЛ характеристики носителя MgCl_2/DBP

№	введенный DBP $\text{DBP}_{\text{введ}}/\text{Mg}$ мол.	адсорбированный DBP		$\lambda_{\text{люм.}}$ нм		Время затухания п.п. (II) (τ), мс
		$\text{DBP}_{\text{адс}}$ % вес.	$\text{DBP}_{\text{адс}}/\text{Mg}$ мол.	I	II	
1	0.10	6.2	0.03	478	582	6.9
2	0.15	7.4	0.04	481	584	11.68
3	1.0	30.8	0.23	482	614	24.7

Видно, что отношение $\text{DBP}_{\text{введ}}/\text{Mg}$, используемое для синтеза, влияет на содержание DBP в образце MgCl_2/DBP . Чем выше молярное отношение $\text{DBP}_{\text{введ}}/\text{Mg}$, тем больше DBP адсорбируется в образцах ($\text{DBP}_{\text{адс}}/\text{Mg}$).

Стоит отметить, количество адсорбированного донора всегда меньше введенного DBP. На это указывает более низкое значение $\text{DBP}_{\text{адс}}/\text{Mg}$ в образцах по сравнению с $\text{DBP}_{\text{введ}}/\text{Mg}$. Можно предполагать, что при низких $\text{DBP}_{\text{введ}}/\text{Mg}$ (≤ 0.15) происходит адсорбция донора на Льюисовских кислотных центрах (ЛКЦ) носителя. При $\text{DBP}_{\text{введ}}/\text{Mg}$ выше 0.15

происходит разрушение структуры $MgCl_2$ с образованием молекулярных полимерных комплексов $[MgCl_2L_x]_n$.

На рисунке 1 приведены ИКДО спектры образцов $MgCl_2/DBP$ в области колебаний карбонильных групп DBP. Разложением спектров на компоненты были выделены четыре полосы поглощения (п.п.) 1648, 1672, 1702 и 1723 cm^{-1} , характеризующие валентные колебания ($\nu(C=O)$) адсорбированных фталатов. Согласно литературным данным [3], п.п. в области 1640-1670 cm^{-1} относят к фталату, адсорбированному на 3-х координированном ионе Mg, 1670-1690 cm^{-1} - на 4-х координированных ионах Mg ион грани (110), 1690-1710 cm^{-1} - на 5-ти координированных ионах Mg грани (104) и п.п. выше 1710 cm^{-1} - слабосвязанные карбонильные группы.

Наши данные показывают, что п.п. 1648 cm^{-1} не наблюдается в спектре образца $MgCl_2/DBP$ с соотношением $DBP_{введ}/Mg$ 0.1, хотя 3-х координированные ионы Mg являются более сильными ЛКЦ, чем ЛКЦ, образованные на 4-х и 5-ти координированных ионах магния. Она появляется в образцах только с более высоким содержанием донора. Возможно, п.п. 1648 cm^{-1} характеризует молекулярные комплексы $[MgCl_2L_x(H_2O)]_n$. Молекула воды в его составе может приводить к понижению $\nu(C=O)$ адсорбированного DBP.

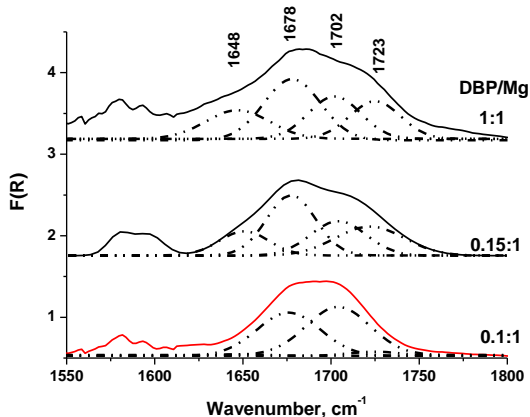


Рисунок 1 - ИКДО спектры $MgCl_2/DBP$

Образцы $MgCl_2/DBP$ были изучены методом фотолуминесцентной спектроскопии (ФЛ) при $\lambda_{возб.} = 278$ нм (Таблица 2). В ФЛ спектрах наблюдается переход из триплетного состояния в основное синглетное $T_1 \rightarrow S_0$. Явление фосфоресценции характерно для ароматических соеди-

нений, закрепленных на поверхностях [4]. В спектрах образцов наблюдается две п.п. в областях 478-782 (I) и 582-614 (II) нм, характеризующих адсорбированный DBP в различном координационном окружении. С увеличением $DBP_{\text{введ}}/Mg$ наблюдается батохромный сдвиг и увеличение времени затухания (τ) п.п. в области (II). Увеличение $DBP_{\text{введ}}/Mg$ до 0.15 приводит к 1.7-кратному росту τ и небольшому изменению $\lambda_{\text{люм.}}$ (2 нм) в образцах $MgCl_2/DBP$. Это может указывать на ослабление взаимодействия между донором (DBP) и акцептором (ЛКЦ на $MgCl_2$) в результате последовательного заполнения ЛКЦ носителя. В образцах, полученных при $DBP_{\text{введ}}/Mg$ выше 0.15 наблюдается 2.1-кратный рост τ и резкое изменение $\lambda_{\text{люм.}}$ (30 нм). Это может указывать на разрушение структуры $MgCl_2$ и формирование молекулярных полимерных комплексов $[MgCl_2L_x]_n$.

Изучено взаимодействие $TiCl_4$ с $MgCl_2/DBP$, полученном при $DBP_{\text{введ}}/Mg = 0.15$. Данный катализатор проявляет высокую активность в полимеризации пропилена (138.2 кгПП/гTi*ч) и образует низкое количество атактической фракции (2.24% вес.). После нанесения $TiCl_4$ наблюдается снижение донора с 263 до 190 $\mu\text{моль/г}$, при этом адсорбируется 173 $\mu\text{моль } TiCl_4/\text{г}$. В ИКДО спектре образца $MgCl_2/DBP/TiCl_4$ п.п. 1723 см^{-1} исчезает, а интенсивность п.п. 1678 см^{-1} резко падает. Эти данные показывают, что адсорбция $TiCl_4$ происходит преимущественно на грани (110) $MgCl_2$. В спектрах ФЛ структура полос сохраняется. При этом наблюдается уменьшение времени затухания для п.п. 481 и 584 нм в 2.18 и 2.92 раз, соответственно. Эффективность фосфоресценции зависит от вязкости растворителя и типа носителя. Изменение времени затухания может быть связано с увеличением скорости тушения триплетного состояния соединениями, добавленными в раствор или в носитель. Наши данные указывают на взаимодействие DBP с $TiCl_4$ и нахождение DBP в первой координационной сфере $TiCl_4$, что позволяет DBP контролировать стереоспецифичность катализатора. Снижение активности и стереоспецифичности ТМК, полученных при $DBP_{\text{введ}}/Mg$ выше 0.2, вероятно, связано с образованием молекулярных комплексов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект № АААА-А17-117041710085-9)

Литература:

1. EU – REACH AMENDMENT – Regulation 2015-326-EU on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon and Phthalates // March 05, 2015. – V. 818.
2. Cui N., Ke Y., Li H., Zhang Z., Guo C., Lv Z., Hu Y. Effect of Diether as Internal Donor on $MgCl_2$ -Supported Ziegler–Natta Catalyst for Propylene Polymerization // Journal of Applied Polymer Science. – 2006. – V. 99. – P. 1399–1404.
3. Cheruvathur A., Langner E., Niemantsverdriet J., Thune P. In Situ ATR-FTIR Studies on $MgCl_2$ -Diisobutyl Phthalate Interactions in Thin Film Ziegler–Natta Catalysts // Langmuir. – 2012. – V.28. – P. 2643–2651.
4. Ермолаев В.Л. Перенос энергии в органических системах с участием триплетного состояния // Успехи физических наук. – 1963. - Т. LXXX. - Вып. 1. – С. 3-40.

**Секция СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ**

**СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ
С ПРЕПЯТСТВИЕМ ДЛЯ БПЛА.**

В.А. Блинов, В.Н. Легкий

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, vladimir.b.a.95@yandex.ru**

В данной работе приводятся требования к аппаратной части системы предотвращения столкновений с препятствием для небольших БПЛА типа мультикоптер, и обосновывается выбор необходимых измерительных устройств. В основе системы лежат ультразвуковые датчики.

Describes hardware system for preventing collisions with an obstacle for a small type of UAV the quadcopter, and justifies the selection of the necessary measuring devices. The system is based on ultrasonic sensors.

Развитие малых БПЛА выявило проблему распознавание и преодоления препятствий особенно актуальна эта тема в случае автономного полёта БПЛА. Решение этой проблемы упростит создание алгоритмов анализа окружающей обстановки и автоматическое построение безопасного маршрута самим роботом.

Существующие способы ориентации БПЛА в пространстве основываются на трех принципах:

1. использование систем глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) с привязкой к карте местности;
2. использование систем машинного зрения в оптическом диапазоне электромагнитного излучения (инфракрасные камеры, стандартные камеры в видимой области спектра);
3. использование разного рода датчиков расстояния.

Системы глобального позиционирования имеют большую погрешность, которая не даёт актуальной информации об расположении объектов на пути полёта БПЛА. Более того в закрытых помещениях или тоннелях могут вовсе не работать. А анализ множества изображений полученных от одной или нескольких камер требует высокую вычислительную мощности, которая может быть реализована на удалённой рабочей станции. Однако из-за большого расстояние до рабочей станции, появятся задержки и неточности в управлении, которые увеличивают ве-

роятность возникновения ошибки пилотирования. Для того чтобы избежать этих проблем, БПЛА необходимо оборудовать специальными средствами локализации, задачей которых определить наличия препятствия на пути, и на основании этих данных самостоятельно принять решение о преодолении или облёте препятствия, непосредственно вмешиваясь в контур удалённого управления.

Устанавливаемая на БПЛА система определения препятствий должна соответствовать ряду требований:

1. Небольшая общая масса
2. Малое энергопотребление
3. Малое потребление вычислительных ресурсов
4. Устойчивость к ошибкам
5. Низкая стоимость

Основываясь на эти требования, осуществляется подбор необходимых элементов системы, а именно управляющей платы [1], Ультразвуковые датчики расстояния [2] и радиопередающей аппаратуры. Для оценки окружающего пространства в идеальном случае БПЛА должен контролировать полную сферу вокруг себя. Однако на практике аппарат имеет ограниченное значение ресурсов, поэтому в поле обнаружения системы технического зрения, по крайней мере, должна быть включена передняя полусфера. Выбор ультразвуковых датчиков обусловлен помимо их низкой стоимостью, простотой эксплуатации, надёжностью, малыми массой и током потребления, также и зоной покрытия в районе 30° . Однако ультразвуковые датчики плохо обнаруживают препятствия со звукопоглощающим покрытием, поэтому целесообразно дополнить систему инфракрасным датчиком [3].

У данного датчика диаметр пучка излучаемого света примерно соответствует линейным размерам излучателя.

Диаграмма направленности используемых ультразвуковых датчиков приведена на рисунке 1.

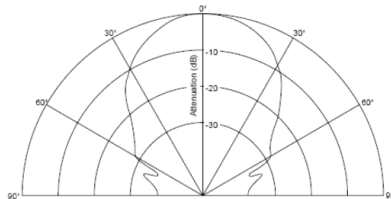


Рисунок 1- Диаграмма направленности ультразвукового дальномера

Дальномеры закрепляются на платформе таким образом, чтобы покрывать область, захватывающую несущие винты в передней полусфере мультикоптера. Таким образом достигается обнаружение препятствий в одном из самых уязвимых мест БПЛА.

Основной подход заключается в постоянном измерении расстояния до объектов в разных направлениях, и в случае достижения некоторой минимально безопасной величины, осуществляется коррекция движения аппарата.

ПОдля данной системы должно выполнять следующие функции

1. измерения расстояний с помощью массива ультразвуковых датчиков расстояния;
2. измерения расстояния до пола с помощью инфракрасного датчика расстояния;
3. анализ данных полученных от датчиков;
4. формирование управляющего импульса для платы стабилизации, провоцирующего движение в сторону от препятствия.

После получения данных с дальномеров, осуществляется сравнение результатов, и в случае обнаружения препятствия на расстоянии меньше минимального, управляющий контроллер в течение некоторого времени подаёт сигнал плате стабилизации, а также отключает внешний радиоканал с оператором. БПЛА корректирует свое движения, после чего внешний контур управления восстанавливает свою работу.

Литература.

1. ArduinoMega 2560 на базе микроконтроллера ATmega2560. [Электронный ресурс]. URL: <https://arduinoplus.ru/arduino-mega-2560/>.
2. Ultra Sonic range measurement module. [Электронный ресурс]. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/093/DOC001093961.pdf>.
3. GP2Y0A21YK0F. [Электронный ресурс]. URL: http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf.

ПОВЫШЕНИЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЖИВОЙ СИЛЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БПЛА

Н.В. Громов, В.В. Севрюков, Ромодин В.Б.
**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, axehing@mail.ru**

В военном деле актуальным является вопрос предотвращения ведения дружественного огня. Наземное и бортовое оборудование должно обладать функцией идентификации живой силы, несмотря на то, что системы распознавания «свой-чужой» начали появляться только недавно. Существует возможность объединения радиолокационных систем с системами распознавания с их последующей установкой на беспилотные летательные аппараты. Такое «сотрудничество» позволит легко идентифицировать союзные силы и гражданское население посредством разведки, осуществляемой БПЛА.

In military affairs, the issue of preventing friendly fire is urgent. Ground and airborne equipment must have the function of identifying manpower, despite the fact that recognition systems "friend or foe" began to appear only recently. It is possible to combine radar systems with recognition systems with their subsequent installation on unmanned aerial vehicles. Such a "cooperation" makes it easy to identify allied forces and civilians through intelligence carried out by the UAV.

Актуальность

Несмотря на разнообразие систем обнаружения, многие из них имеют общий недостаток: невозможность раннего обнаружения вторжения в охраняемую зону. С этой задачей легко справляются радиолокационные системы, которые, однако, не могут похвастаться высокой идентификационной способностью. Из-за частых случаев дружественного огня были разработаны системы распознавания для «живой силы». Существует возможность улучшить идентификационную способность радиолокационных систем с помощью таких систем распознавания «живой силы». Эта интеграция также способна значительно автоматизировать работу систем обнаружения.

Конструкция, система питания, система связи и бортовая аппаратура БПЛА

Пилотируемые и беспилотные летательные аппараты имеют сходные (в общем) конструкцию, за исключением кабины и систем жизнеобеспечения и кондиционирования воздуха. Небольшие БПЛА используют литий-полимерные аккумуляторы[3].

В качестве бортовой аппаратуры управления, как правило, используются специализированные вычислители на базе цифровых сигнальных процессоров или компьютеры формата PC/104, MicroPC под управлением операционных систем реального времени (QNX, VME, VxWorks, XOberon).

БПЛА оснащается радиолокационной системой, также обеспечивающей радиосвязь с наземным приемным оборудованием [3].

Использование системы распознавания «свой-чужой»

Рассмотрим плод трудов Американских инженеров из фирмы “Cubic”. Эта система называется «DCID - TALON», что означает Dis-mountedCombatID - TargetLocation / Navigation (дословно – пешая боевая идентификация – местоположение и навигация цели). Эта система представляет собой набор из нескольких датчиков, работающих на линии двухсторонней оптической связи. Система с пассивным ответом, устанавливается конструктивно-совмещенной (рисунок 1) [2].



Рисунок 1 – Монокуляр устройства с пометкой «дружественный»

Принцип работы заключается в следующем: при обнаружении неизвестной живой силы боец наводит на нее прицел винтовки и нажимает специальный переключатель, после чего устройство передает “закодированное сообщение” лазерным лучом в сторону самой цели. На дружественных силах имеется специальный отражатель (ретрорефлектор), от которого лазерный сигнал возвращается обратно в устройство. После

этого боец увидит в монокулярном устройстве, что объект был идентифицирован как «дружественный» [2].

Особенность технологи:

1. Подсветка обнаруженной цели осуществляется узким направленным лазерным лучом с регулируемой расходимостью в пределах нескольких миллирадиан, что обеспечивает малое пятно подсветки, которое незначительно превышает верхнюю часть туловища человека в пределах рабочей дальности [1].

2. Информация с ответчика передается путем модуляции подсвечивающего луча отражением ответчика и возвращением его строго точно на запросчик, в какой бы точке пространства он не находился. При этом никакого механического позиционирования отражаемого луча не требуется. Эта задача решается с помощью размещенных в ответчике угловых отражателей. Таким образом, оптическая связь между запросчиком и ответчиком осуществляется во время прицеливания узконаправленным лучом по принципу “точка-точка” [1].

3. Такое оптическое опознавание не нарушает радиомолчания и позволяет проводить обнаружение скрытно, чем не могут похвастаться системы с активным ответчиком [1].

Если в состав бортового оборудования БПЛА интегрировать систему распознавания “DCID-TALON”, то *алгоритм такой системы* будет выглядеть следующим образом:

1) Радиолокационная система (локатор) сканирует пространство вокруг БПЛА (до 360 градусов)

2) При обнаружении объекта последующая информация передается в аналитический блок, где анализируется с помощью заложенных алгоритмов

3) Согласно топографической карте местности, которая закладывается в систему, и радиолокационным данным, аналитический блок отправляет сигнал на тепловизоры и видеокамеры, которые начинают слежение за целью

4) Аналитический блок подает сигнал на оптический лазерный датчик, который излучает узконаправленный лазерный луч с определенной расходимостью на объект

5) Отправленный луч отражается от специальных отражающих элементов, затем возвращается в приемник датчика, после чего сигнал отправляется в аналитический блок

6) Сигналы (полученные изображения) отправляются в аналитический блок, где система идентифицирует цель как дружественная

7) Координаты, идентификационные данные, направление и изображения объекта передаются на место оператора

Литература:

1. Засовин Э.А., Борзов А.Б., Быстров Р.П. Радиотехнические и радиооптические системы. Изд-во «Круглый год», 2001. – 752 с.

2. Способны ли лазеры решить проблему дружественного огня? [Электронный ресурс] // Образование: Кабельная новостная сеть CNN – 2012. URL: <https://edition.cnn.com/2012/08/09/tech/could-lasers-solve-the-militarys-friendly-fire-problem/index.html> (дата обращения: 01.02.2018)

3. Российские и зарубежные беспилотники [Электронный ресурс] // Наука и образование: электрон. науч.-техн. статья – 2018. – URL: <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/aviaciya/bespilotnye-letatelnye-apparaty/> (дата обращения: 01.02.2018)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАНИРУЮЩЕГО ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

С.В. Дворецкий, Е.Ю. Макарова, Е.Ю. Русский
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sergei-dvoreckii@mail.ru

Рассматривается задача управления угловым движением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в режиме стабилизации планирующего движения на примере управления по углу тангажа, во время которого существенно изменяются параметры математической модели БПЛА.

The problem of controlling the angular motion of unmanned aerial vehicles (UAV) in the mode of stabilizing the planning motion is considered on the example of controlling the pitch angle, during which the parameters of the mathematical model of the UAV are significantly changed.

Необходимость и целесообразность применения адаптации для решения задачи угловой стабилизации планирующего движения вызвана как нестационарностью БПЛА, так и наличием множества факторов, основные из которых: ограниченность функциональных возможностей традиционного управления в условиях существенной нестационарности параметров БПЛА; невысокая точность по угловым координатам при

возникновении возмущений, действующих на БПЛА, например ветровых порывов, которые могут привести к неустойчивости движения; снижение качества переходных процессов при больших углах атаки, поскольку значительная часть сигнала управления на руль высоты расходуется на поддержание его балансирующего значения. Указанные недостатки особенно проявляются в реальных условиях при управлении БПЛА, рулевые поверхности которого используются во всех каналах управления. Дополнительное адаптивное управление формируется с помощью введения дополнительного канала управления параллельного с основным. Этот канал также является адаптивным. Он реализован по схеме непрямого адаптивного управления, содержит интегрирующее устройство с изменяющимся коэффициентом усиления. Алгоритм изменения этого коэффициента синтезируется из условия обеспечения требуемой динамической точности движения при действии внешних возмущений на БПЛА [1].

Рассмотрим на примере управления БПЛА по углу тангажа особенности реализации дополнительного адаптивного интегрирующего канала. Базовый адаптивный алгоритм управления и стабилизации в канале тангажа БПЛА имеет вид:

$$u_{\vartheta}(t) = K_{\vartheta}(q)(\vartheta(t) - \vartheta_3(t)) + K_{\omega_z}(q)\omega_z(t), \quad (1)$$

где ϑ_3 - выходной сигнал задающего устройства, – угловая скорость, $K_{\vartheta}(q)$ и $K_{\omega_z}(q)$ – коэффициенты передачи, перестраиваемые в функции от скоростного напора q , значение которых обеспечивает устойчивость процессов. Сигнал ϑ_3 состоит из медленной и быстрой компонент: медленная компонента формируется в зависимости от изменяющегося балансирующего угла атаки и отклонения рулей высоты; текущая, быстрая компонента соответствует угловым разворотам БПЛА при выполнении им заданного маневра.

Алгоритм функционирования дополнительного канала на режиме планирующего движения имеет вид:

$$u_{пл}(t) = \begin{cases} \sigma_{и}(t) & \text{при } |\sigma_{и}(t)| < A_{и}(q), \\ A_{и}(q) & \text{при } |\sigma_{и}(t)| \geq A_{и}(q), \end{cases} \quad (2)$$

где $\sigma_{и} = K_i(q) \int \Delta\vartheta(t)dt$ – интегральная составляющая сигнала управления, $\Delta\vartheta = \vartheta(t) - \vartheta_3(t)$, $K_i(q)$ – масштабный коэффициент. Величина $A_{и}(q)$ соответствует балансирующему расчетному значению

отклонения рулей в планирующем режиме. В целом уровень ограничения формируется в виде:

$$A_{и}(q) = \frac{K_{м}}{q}, \quad (3)$$

где $K_{м}$ – коэффициент масштабирования.

Аппаратно дополнительный канал в соответствии с алгоритмами (2) и (3) реализуется на основе интегрирующего усилителя, выходной, сигнал которого ограничивается специальным устройством - функционально-адаптивным ограничителем уровня $A_{и}(q)$. Базовый сигнал управления $u_{\vartheta}(t)$ и сигнал $u_{пл}(t)$, суммируются, формируя сигнал управления $\sigma_c(t)$:

$$\sigma_c(t) = u_{\vartheta}(t) + u_{пл}(t), \quad (4)$$

который также ограничивается по уровню. Уровень данного ограничения определяется учетом отработки этими же рулями сигналов управления смежных каналов (курса, крена).

Предложенное структурное формирование адаптивного алгоритма стабилизации в виде (1) – (4) определяются спецификой и уникальностью режима стабилизации планирующего полета БПЛА. Данный алгоритм основывается на особой функции, характеризующей обеспечение балансировочных значений угла атаки и угла отклонения.

Основной момент при разработке дополнительного канала, который формирует балансировочную компоненту, заключается в следующей последовательности построения: использование в качестве входного сигнала дополнительного канала рассогласования

$\Delta\vartheta(t)$; реализация алгоритмов (2) и (3) на основе интегратора, в котором существует фиксированный уровень ограничения, соответствующий расчетному балансировочному значению угла отклонения рулей; организация синхронной адаптации, при которой одновременно перебираемые параметры основного и дополнительного каналов [2,3]. Структурная схема системы управления по тангажу, в которой реализованы алгоритмы (1) - (4), представлены на рисунке 1, где f_w - возмущение, возникающее в результате порыва ветра, турбулентности атмосферы и прочих внешних воздействий на БПЛА.

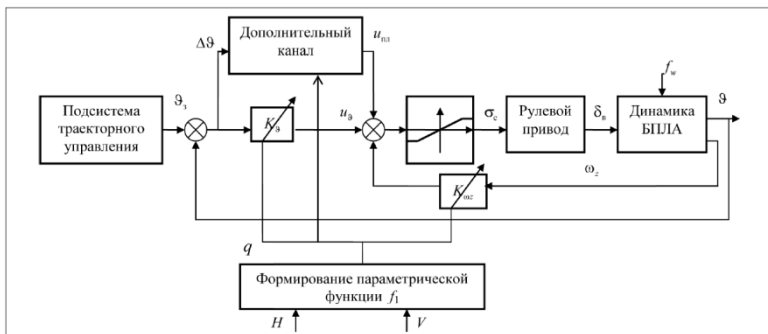


Рисунок 1 - Структурная схема канала тангажа системы управления БПЛА на режимах планирующего движения

Результаты исследования гипотетической системы управления с двумя видами структур (без дополнительного канала и при его введении) свидетельствуют, что при вертикальных возмущениях f_w типа порывов ветра, турбулентностей и других возмущающих факторов дополнительный сигнал $u_{пл}(t)$, соответствующий балансировочному значению рулей, в том числе в зоне ограничения, обеспечивает устойчивость балансировочного угла атаки [3].

Предлагаемый подход к построению управления БПЛА применяется в разработках систем управления ФГУП МОКБ «Марс» для новых современных летательных аппаратов, предназначенных для полетов в существенно расширенной области траекторий в условиях действия возмущений.

Литература:

1. Глумов В.М., Земляков С.Д., Пучков А.М., Рутковский В.Ю., Управление угловым положением нестационарного космического аппарата с переменной эффективностью управляющих моментов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2000.- №1. – С.120-134.
2. Пучков А.М., Карева Е.М., Глумов В.М., Синтез и цифровая реализация адаптивного алгоритма управления летательным аппаратом // Труды IX междунар. научн.-техн. конф. «Идентификация систем и задачи управления». – М., 2012 – С.896-906.
3. Патент 2459744 РФ, кл. G05D 1/08. Способ формирования интегрального сигнала стабилизации планирующего движения беспилотного ле-

тательного аппарата и устройство для его осуществления / А.С. Сыров, А.М. Пучков, Б.Н. Попов и др. // Оpubл. 27.08.2012, Бюл. №24.

АВТОНОМНЫЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ РАДИОЧАСТОТНЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С.В. Евтушенко, А.А. Заруев, В.Н. Легкий
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, evtyshenkosemen@mai.ru

При решении задач автоматизации часто возникает необходимость применения автономных микропроцессорных систем способных при подаче питания за малое время (сотни миллисекунд) инициализироваться, обработать и передать данные по радиоканалу. Актуальность статьи обусловлена необходимостью разработки эффективных автономных микропроцессорных радиочастотных систем с малым временем ответа развитием технологий интернета вещей, радиочастотной идентификации; повышением энергоэффективности и производительности микроконтроллеров и однокристальных приёмопередатчиков;

Solving the problem of automation we often need to apply autonomic microprocessor systems which are able to initialize, process and pass data by radio channel in a few amount of time (hundredths of a millisecond). Research theme's relevance is determined by need of development of effective autonomic microprocessor radio-frequency systems with little response time; development of IoT technology; radio-frequency identification; improving energy efficiency and productivity of microcontrollers and one-chip transceivers.

Микропроцессорные радиочастотные системы с малым временем ответа могут быть применены в системах управления летательными аппаратами в качестве приемников/передатчиков телеметрической информации (Рисунок 1) [1].

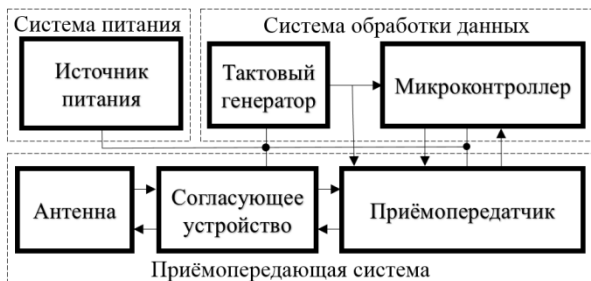


Рисунок 1 - Структурная схема бортовой системы

Система включает в себя три аппаратных части:

1. Система питания.
2. Система обработки данных.
3. Приёмопередающая система.

Система питания

Задача системы - обеспечить стабильное питание всех систем. Система питания может состоять из источников, стабилизаторов напряжения, AC-DC/DC-DC преобразователей и т.д. [2].

Система обработки данных

Система обработки данных выполняет следующие функции:

1. Сбор информации с датчиков, дочерних устройств;
2. Обработка информации и прочие бортовые вычисления;
3. Управление простейшими дочерними устройствами;
4. Приёма и передачи информации по каналу радиосвязи;

В качестве вычислительного устройства используется микроконтроллер, в котором реализована программная поддержка вышеперечисленных функций. Тактовый генератор - обеспечивает тактовыми импульсами систему обработки данных и также приёмопередающую систему[3].

Приёмопередающая система

Приёмопередающая система состоит:

1. Однокристалльный приёмопередатчик, занимающегося первичной обработкой полученных данных и подготовкой данных к отправке.
2. Согласующее устройство, необходимое для согласования антенны с передатчиком.
3. Приёмопередающая антенна [4].

Рассмотрено устройство автономной микропроцессорной системы способной за малое время (сотни миллисекунд) инициализироваться, обрабатывать и передавать данные по радиоканалу.

Литература:

1. Микрин Е. А. Бортовые комплексы управления космических аппаратов. - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. - 246 с.
2. Белоусов О.А., Муромцев Д.Ю. Электропитание устройств связи. - Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. - 85 с.
3. Howard W. Johnson, Martin Graham High-Speed Digital Design. A Handbook of Black Magic. - New Jersey: Prentice Hall, 1993. - 446 с.
4. Садовомский А.С. Приемо-передающие радиоустройства и системы связи. - Ульяновск: УЛГТУ, 2007. - 244 с.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНТРОМ ТЯЖЕСТИ НОСИТЕЛЯ ПРИ СЛОЖНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ НА КОНЕЧНОМ УЧАСТКЕ

А.И. Канцырев, П.А. Николаев, А.И. Пуртов, В.Н. Легкий
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, какбеконоos@bk.ru

Работа посвящена исследованию математической модели регулятора управления аэродинамическим носителем в боковом движении, оценке параметров модели и моделированию работы регулятора. Обсуждаются особенности построения регуляторов методом разделения движений и приводятся его сравнительные характеристики.

The article is devoted to the study of the mathematical model of the control controller of an aerodynamic projectile in lateral movement, the estimation of model parameters and modeling of the controller. The features of the construction of regulators by various methods are discussed and their comparative characteristics are given.

В настоящее время носители самых различных классов и схем имеют систему управления, обеспечивающую повышение точности и стрельбы. Система управления образует замкнутый контур для прохождения управляющих сигналов и сигналов обратной связи. Наличие такого контура характерно для систем автоматического правления, теория которых

разработана достаточно полно [1]. При исследовании систем управления носителями всегда возникает необходимость оценить поведение этих систем при случайных возмущениях. Случайные возмущения, действующие на носитель, обычно являются случайными функциями времени. В действительности система управления носителя состоит из нескольких контуров, охватывающих, как правило, рулевые органы и канал управления креном носителя. Простейшими из этих контуров являются контуры управления угловым положением носителя: углом рыскания и углом тангажа. При анализе системы управления центром тяжести носителя на конечном участке траектории (управление углом рыскания) предполагается, что угол крена и тангажа носителя жестко стабилизирован специальным каналом автопилота с помощью элеронов и остается равным нулю в течение всего времени полета носителя [2]. На рисунке 1 представлены силы и моменты, действующие на носитель на конечном участке траектории.

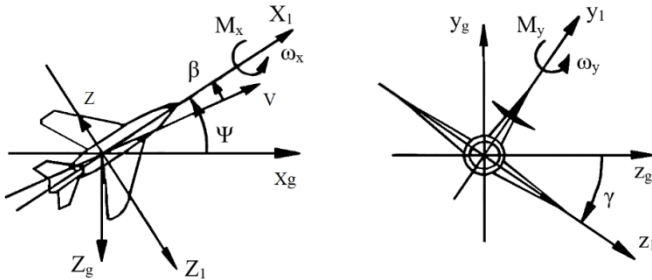


Рисунок 1 – Силы и моменты, действующие на носитель в плоскостях X, Y, Z: вид сверху (слева), вид сзади (справа)

Передаточное число выбирается из условия чтобы переходной процесс во внутреннем контуре протекал минимальное время и выразим его не через коэффициенты, а через выходные параметры носителя.

Тогда структурная схема исследуемой системы управления углом рыскания может быть представлена в виде, показанном на рисунке 2. Возмущающее воздействие не учитывается, так как оно не влияет на динамические свойства системы и не входит в расчет при выборе параметров автопилота.

Характеристика													
k_β	n_β	n_β	n_ψ	n_{δ_n}	a_1	a_2	b_1	b_2	i_ψ	T_V	k_c	T_w	ξ
1/c	$\frac{1}{2}c$	1/c	1/c	$\frac{1}{2}c$	1/c	$\frac{1}{2}c$	$\frac{1}{2}c$	$\frac{1}{2}c$	c		1/c	c	
1,6	5,3	1,5	2,5	5,8	5,6	9,3	5,8	9,3	0,6	0,6	1	0,3	0,9

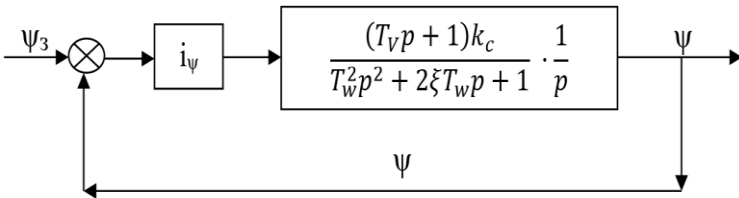


Рисунок 2 – Преобразованная структурная схема
Таблица 1 – Параметры управляемого носителя

В качестве объекта управления принят носитель, параметры которого приведены в таблице 1 [3], а в качестве требований к переходному процессу задается время переходного процесса $t_n = 1$ с и перерегулирование $\sigma = 0\%$.

Запишем передаточную функцию для объекта управления:

$$W(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{0.625p + 1}{0.108p^2 + 0.604p + 1}$$

Определим относительную старшую производную от входного воздействия:

$$\dot{y} = 5.79u - 5.79x_2 - 2.5x_3$$

Запишем эталонную модель поведения выхода системы:

$$T^2 \ddot{y} + a_1^d T \dot{y} + y = b_1^d T \dot{r} + r$$

А также параметры автопилота:

$$k_0 = g^{-1} = \frac{1}{5.79} = 0,1728; \quad T = \frac{t_n}{3\alpha} = \frac{1}{6}; \quad \mu \leq \frac{T}{10} \leq \frac{1}{60}.$$

Переход к структурной схеме регулятора произведем, выразив старшую производную выходного воздействия системы:

$$\ddot{u} + \frac{d_1^d}{\mu} \dot{u} = \frac{k_0 b_1^d}{T\mu^2} \dot{r} - \frac{k_0 a_1^d}{T\mu^2} \dot{y} + \frac{k_0}{T^2\mu^2} r - \frac{k_0}{T^2\mu^2} y - \frac{k_0}{\mu^2} \ddot{y}$$

Исходя из выбранных параметров управляемого носителя и преобразованной структурной схемы в работе получена система уравнений на основании которой проводилось математическое моделирование регулятора:

$$\begin{cases} \dot{u}_1 = c_0 r + b_0 y; \\ \dot{u}_2 = u_1 - a_1 u + b_1 y; \\ u = u_2 + b_2 y. \end{cases}$$

Результаты моделирования представлены на рисунке3: время переходного процесса $t_n = 1\text{с}$; перерегулирование $\sigma = 0\%$.

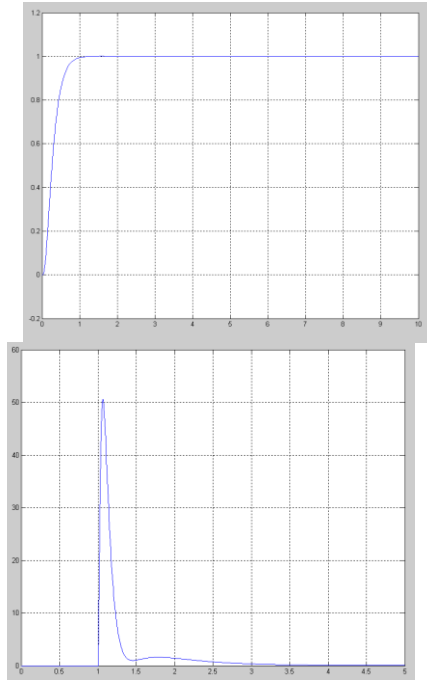


Рисунок 3 – Реакция системы на выходе(слева) и входе(справа)

Авторами работы предложена и реализована система управления центром тяжести снаряда при сложной траектории движения на конечном участке методом разделения движений. Стоит отметить, что этот метод оказался достаточно качественным в отношении полученных параметров автопилота: время переходного процесса и перерегулирование оказались равными желаемым. Что может говорить о том, синтез систем автопилотирования некоторых носителей данным методом довольно точен и может применяться на практике.

Литература:

- 1.Беляев А.В. Пять доступных лекций по наведению ракет. –М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 83 с.
- 2.Козар А.Н., Моисеев В.С. Информационные технологии оптимального применения управляемых артиллерийских снарядов.

–Казань: Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева, 2012. – 346 с.

3.Егупов Н.Д., Пупков К.А. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5 томах. Том 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления. –М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 616 с.

ЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ГИБСА ПРИ КРУГОВОМ АПЕРТУРНОМ СИНТЕЗЕ В БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Е.Ю. Макарова, С.В. Дворецкий, В.П. Ющенко
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nr31_makarova@mail.ru

В работе рассматривается явление эффекта Гиббса при реализации моделирования траекторного сигнала для синтеза апертуры при круговой траектории в процессе реконструкции изображения объекта. Осуществляется поиск решения проблемы, связанной с появлением эффекта Гиббса и его влиянием на формируемый сигнал.

The paper deals with the phenomenon of the Gibbs effect in the implementation of trajectory signal modeling for the synthesis of the aperture in a circular trajectory in the process of object image reconstruction. The search for a solution to the problem associated with the appearance of the Gibbs effect and its effect on the generated signal is carried out.

Актуальность рассматриваемой задачи состоит в необходимости внедрения новых методов реконструкции изображений исследуемых объектов в бортовых информационно-измерительных системах. В данном случае таким методом является рассматриваемый алгоритм кругового апертурного синтеза при зондировании монохроматическим сигналом и использованием однопозиционной локации. То есть зондирование и прием сигнала, отраженного от объекта осуществляется из одной точки пространства.

Данный метод восстановления изображения лоцируемого объекта предполагает наличие эффекта Гиббса при моделировании сигнала, что является проблемой для интерпретации реального изображения.

В предлагаемом методе, для получения траекторных сигналов, движение локатора относительно исследуемого объекта осуществляется по кругу. Схема для расчета сигналов представлена на рисунке 1.

Траекторный сигнал от i -ой точки объекта $s(t)$ рассчитывается по формуле:

$$s_i(t) = g_i \cos \varphi(t).$$

Регистрация траекторного сигнала прекращается в момент, когда локатор сделает полный оборот вокруг объекта, в результате чего происходит разрыв временной функции и одна точка, являющаяся началом и концом временной функции, оказывается на двух концах зарегистрированного временного сигнала, а точнее его фрагмента (Рисунок 2).

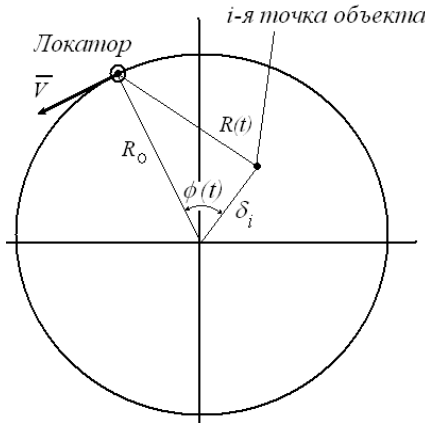


Рисунок 1 - Геометрическая схема для расчёта тестового траекторного сигнала от точечного объекта

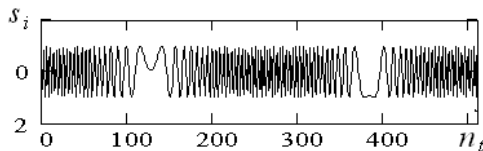


Рисунок 2 – Фрагмент зарегистрированного траекторного сигнала

Обрыв траекторного сигнала сопровождается проявлением эффекта Гибса, то есть это не стационарное состояние сопровождается увеличением спектральной плотности в области высоких частот (Рисунок 3), а также переколебаниями на автокорреляционной функции траекторного сигнала.

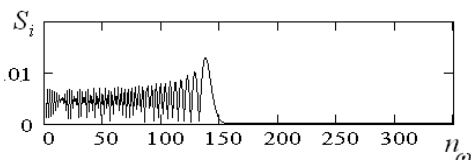


Рисунок 3 – Спектр траекторного сигнала

Алгоритм реконструкции изображения объектов при круговом синтезе апертуры изложен в работах [1, 2].

Ослабление эффекта Гибса даётся ценой потери от количества информации из-за сглаживания временной функции траекторного сигнала в начале и конце. Это может привести к искажениям на реконструированном изображении.

Литература:

1. Ющенко, В. П. Круговой апертурный синтез для целей томографии [Текст] / В. П. Ющенко // Автометрия. – 2002. – Т. 38, № 6. – С. 28–33.
2. Yushchenko W. P. Object Image Reconstruction by Using Trajectory Doppler Signal in The Process of Monochromatic Probing and Circular Aperture Synthesis of Antenna. // Electrical and Electronic Engineering. P-ISSN; 2162-9455, e-ISSN: 2162-8459, 2012, 2(2): 1-6, DOI: 10.5923/j.eee.20120202.01, <http://www.sapub.org/journal/archive.aspx?journalid=1008>

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ РЕТРАНСЛЯЦИИ АВИАЦИОННОЙ СВЯЗИ

В.В. Севрюков, Н.В. Громов, Легкий В.Н.

**Новосибирский Государственный Технический Университет,
г. Новосибирск, pupuritutori2@gmail.com**

Связь в гражданской авиации является своего рода основой для аэронавигационного обеспечения полетов, оперативности взаимодействия центров управ-

ления воздушным движением, и связи с воздушным судном на этапах полета. В конечном счете, обеспечение надежной работы систем авиационной электро-связи является одним из основных факторов обеспечения безопасности воздушного движения.

Communication in civil aviation is a kind of basis for aero navigational flight support, efficiency of interaction between air traffic control centers, and communication with an aircraft during flight phases. Ensuring the reliable operation of aeronautical communication systems is one of the main factors for ensuring air traffic safety.

Актуальность

Возникает неосуществимость обеспечения связи между командно-диспетчерским пунктом и воздушным средством, во всю глубину зоны, что приводит к невозможности принятия оперативных мер: по предотвращению столкновений воздушных средств на земле и в воздухе; к обеспечению безопасного эшелонирования воздушного средства; передачи данных о смене метеобстановки в зоне; принятия своевременных мер по оказанию помощи воздушным средствам, терпящим бедствие; в других особых случаях в полете. Таким образом существует потребность в обеспечении устойчивой надежной связи в зоне полетов местных воздушных линий. Также, следует учесть, что на участках обеспечивающих необходимую связь с воздушным средством, на требуемой высоте 250м, не всегда существует связь с воздушным средством, находящимися на посадочных площадках с большим удалением от командно-диспетчерского пункта, а также с воздушным средством, работающими на низких высотах.

Цель: выбор методов увеличения дальности устойчивой надежной связи между КДП и ВС

Объект исследования: проблема искажения сигнала при его трансляции и обеспечении требуемой дальности связи

Предмет исследования: методы увеличения дальности связи и меры по устранению искажений на всех частотах.

При ретрансляции сигналов одновременно по нескольким каналам на командно-диспетчерский пункт возникают искажения, приводящие к полной неразборчивости речевых сообщений. Случай передачи сигналов одновременно по нескольким каналам возникает при: нахождении воздушного средства одновременно в зоне нескольких ретрансляционных станций или одновременной передачи сообщений несколькими воздушным средствам, находящихся как в одной, так и нескольких ретрансляторов. При вышеописанных случаях возникновения искажений, на дифференциальный мост поступают два сигнала: при передаче ин-

формации на командно-диспетчерский пункт от нескольких воздушных средств, они различны; при передаче информации от одного воздушного средства, находящегося в действии обоих ретрансляторов, на дифференциальный мост поступает основной сигнал с одной стороны, и этот же сигнал, задержанный по времени, с другой стороны. При чем время задержки имеет случайный характер. Из-за различных местоположений воздушных средств относительно ретрансляторов, что приводит к различной разности расстояний от воздушного средства к ретрансляторам.

Методы повышения дальности связи в зоне полётов

1. Увеличение энергетического потенциала системы ОВЧ радиосвязи:

Определяющим направлением связи, ограничивающим дальность связи, является направление «ВС - Земля».

Увеличение энергетического потенциала направления связи «ВС - Земля» возможно достичь увеличением коэффициентов усиления антенн, повышением мощности передатчика ВС и увеличением чувствительности приемника наземной радиостанции.

Существующая антенна наземной радиостанции «Чинара-0,25» с коэффициентом усиления 15 дБ близка к оптимальной для ОВЧ диапазона. Это относится и к антенне типа «Тропосфера», которая может быть использована в качестве вынесенной антенны для радиостанции ВС при его нахождении на посадочной площадке.

2. Подъем наземных радиостанций или ретрансляторов:

Увеличение высоты подвеса антенны приводит к увеличению потерь в антенном фидере. Существует оптимальная высота подвеса антенны, к которой приближаются высота подвеса антенн типа «Чинара-0,25» и «Тропосфера». Дальнейшее увеличение высоты подвеса возможно путем подъема антенны совместно с радиостанцией.

Увеличение высоты подвеса радиостанции совместно с антенной приводит к увеличению дальности оптической видимости и к уменьшению ослабления сигнала в пространстве, что, в свою очередь, дает увеличение дальности радиосвязи.

Подвес радиостанции совместно с антенной можно осуществить с помощью антенной мачты, самолета-ретранслятора и аэростата.

3. Организация вынесенных на трассы дополнительных ретрансляционных пунктов с установкой на них дистанционно управляемых из пункта УВД переприемных УКВ радиостанций.

Этот путь увеличения дальности диспетчерской УКЗ радиосвязи в настоящее время широко используется. Этот путь увеличения дальности

диспетчерской УКВ радиосвязи в настоящее время широко используется. Принцип организации дальней связи с самолетом на УКВ с помощью вынесенных на трассу ретрансляторов иллюстрируется на рисунке 2,11 на котором условно изображен разрез трассы между двумя РДП. Пунктирными линиями на рисунке с учетом высоты полета обозначены границы дальности УКВ связи РДП, которые пересекаются как раз на границе зон РДП в точке с высотой $H = 10000$ м. Это обозначает, что при данном расстоянии между РДП УКВ радиосвязь на всю глубину зоны может поддерживаться только на высотах полета более 10000 м. Если высота полета 5000 м, зона отсутствия УКВ радиосвязи составит приблизительно 200 км.

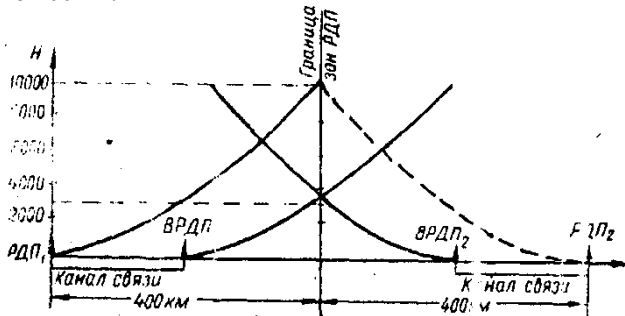


Рисунок 1 – Организация связи с использованием ретрансляторов

Исходя, из вышеприведенных примеров, наилучшим способом увеличения дальности связи будет комбинация данных методов, при необеспечении увеличения дальности связи одним из методов. Для этого необходимо:

1. Убедится в том, что мощность излучения достаточна для стабильного приема сигнала на приемной стороне.
2. Обеспечить максимально возможный подъем антенн, с подбором фидера, обеспечивающего минимальные потери.
3. Если после выполнения пунктов 1 и 2 не будет обеспечено достаточной дальности связи необходимо использовать дополнительные ретрансляторы в доступных местах.
4. В случае невозможности установки дополнительных ретрансляторов из-за заболоченной местности и отсутствия источников электроэнергии необходимо для увеличения дальности связи увеличивать высоту полета ВС или передавать информацию на КДП через доступные для связи в обоих направлениях другие ВС

Литература:

1. Черенкова Е.Л., Чернышев О.В. Распространение радиоволн. – М.: Радио и связь, 1984. – 272с.
2. Наставление по производству полетов в гражданской авиации. - М.: Воздушный транспорт, 1985. -254с.
3. Системы авиационной радиосвязи/ [В.А. Анисимов, В.Е. Зазнов, А.Н. Левин и др.] - М.: Транспорт, 1981.-239с.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАРАКЕТОСТРОЕНИЯ

Секция АЭРОДИНАМИКА И АЭРОУПРОГОСТЬ

Акимов М.А.	Новосибирск	3
Амельчукова В.Ю., Замураев В.П., Попова Д. С.	Новосибирск	8
Глотов Н.В.	Новосибирск	11
Кожевников А.Н., Красноруцкий Д.А., Левин В.Е.	Новосибирск	13
Куликова О.А. , Красюк А.М. , Лугин И.В.	Новосибирск	15
Меньщикова И.В., Кавун И.Н.	Новосибирск	19
Миронов Н.В., Шикалов В.С., Трубачеев Г.В., Клинков С.В.	Новосибирск	24
Попова Д.С., Калинина А.П., Фёдорова Д.В.	Новосибирск	27
Прилуков Д.С., Красноруцкий Д.А.	Новосибирск	30
Усынин С.Ю., Шикалов В.С., Клинков С.В.	Новосибирск	38
Федорова Д.В., Калинина А.П., Амельчукова В.Ю.	Новосибирск	42

Секция ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Балкен Д.Б., Чичиндаев А.В.	Новосибирск	47
Кабанцев А.А., Сабельников В.И.	Новосибирск	51
Краснощекова Д.С., Хромова И.В.	Новосибирск	54
Нягулов М.Р., Исанина А.П.	Новосибирск	58
Очередыко А.И., Пахомов М.А.	Новосибирск	61
Прокушева В.И., Хромова И.В.	Новосибирск	65
Сазанов М.К., Сабельников В.И.	Новосибирск	69
Сайбель С.В., Хромова И.В.	Новосибирск	72
Сиденко Д.Е.	Новосибирск	76
Шейн С.Е., Струцев Е.Д., Нечаев Г.П., Чичиндаев А.В.	Новосибирск	80

**Секция КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ
ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ**

Батраев И.С., Есиков М.А., Ларичкин А.Ю.	Новосибирск	84
Белоусова Н.С., Гуськов Г.А.	Новосибирск	88
Гриф Е.М., Милевский К.Е.	Новосибирск	92
Жукова А.Е., Айрапетян В.С.	Новосибирск	96
Иванников Н.С., Милевский К.Е.	Новосибирск	99
Иванчик С.Н., Зиновьев В.В.	Новосибирск	104
Иванчик С.Н., Зиновьев В.В.	Новосибирск	107
Ильюк К.И., Петрова А.А., Легкий В.Н.	Новосибирск	111
Квашнёв А.А., Егоров Р.И., Милевский К.Е.	Новосибирск	115
Кузнецова Т.В., Власова А.М., Милевский К.Е.	Новосибирск	120
Ларичкин А.Ю., Есиков М.А., Ухина А.В.	Новосибирск	126
Макарова К.Н., Зарко В.Е.	Новосибирск	130
Уванов М.И., Гуськов А.В.	Новосибирск	135
Халеменчук В.П., Милевский К.Е.	Новосибирск	139
Хребтова М.С., Гуськов А.В.	Новосибирск	143
Шумкова А.Е., Милевский К.Е.	Новосибирск	147

**Секция ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

Бугаев И.В., Шапцев В.А.	Тюмень	152
Кисилёва Д.В., Дьяченко Г.И.	Новосибирск	155
Кудашкина Н.Г., Гусев К.П., Ларичкин В.В.	Новосибирск	157
Курченко Ю.В., Калашникова Г.О. , Тимофеева М.Н.	Новосибирск, Апатины	161
Лапин А.В., Бердникова Л.К., Горбунов Ф.К.	Новосибирск	166
Машталлер О.Г., Александров В.Ю., Ларичкин В.В.	Новосибирск	171
Митина О.В., Башарина И.А.	Самара	176
Мурашкина Ю.С., Назаренко О.Б.	Томск	180

Немущенко Д.А., Кальнеус В.А., Ерёменко Д.Ю., Ларичкин В.В.	Новосибирск	183
Полтористова Л.В., Левкович А.В., Кунаев Т.О., Машкин Н.А., Хританков В.Ф.	Новосибирск	185
Полякова Д.О., Хоруженко А.Н., Гусь- ков А.В.	Новосибирск	189
Строганов Д.А., Ларичкин В.В.	Новосибирск	193
Харченко А.М., Ларичкин В.В., Полубояров В.А.	Новосибирск	198
Швыдко А.В., Вентлянд Е.П., Лукоянов И.А., Тимофеева М.Н., Панченко В.Н.	Новосибирск	202
Шляхтина А.С., Матус Е.В., Сухова О.Б., Керженцев М.А.	Новосибирск	206
Шмакова Д.А., Костюков А.И., Шабалин А.Ю., Панченко В.Н.	Новосибирск	209

**Секция СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ**

Блинов В.А., Легкий В.Н.	Новосибирск	214
Громов Н.В., Севрюков В.В., Ромодин В.Б.	Новосибирск	217
Дворецкий С.В., Макарова Е.Ю., Русский Е.Ю.	Новосибирск	220
Евтушенко С.В., Заруев А.А., Легкий В.Н.	Новосибирск	224
Канцырев А.И., Николаев П.А., Пуртов А.И., Легкий В.Н.	Новосибирск	226
Макарова Е.Ю., Дворецкий С.В., Ющенко В.П.	Новосибирск	231
Севрюков В.В., Громов Н.В., Легкий В.Н.	Новосибирск	233

НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ
Сборник научных трудов в 9 частях

г. Новосибирск, 03-07 декабря 2018 г.

Часть 9

Под ред. Гадюкиной А.В.

Подписано в печать 03.12.2018. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 14,18. Печ. л. 15,25. Тираж 100 экз. Заказ № 9

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20