

Министерство образования и науки Российской Федерации
Новосибирский государственный технический университет
Сибирское отделение Российской академии наук
Академия Военных Наук
Российская академия ракетных и артиллерийских наук
Межрегиональная ассоциация «Сибирское Соглашение»
Федеральное государственное казенное военное образовательное
учреждение высшего образования
Новосибирское высшее военное командное училище

НАУКА ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ОБОРОНА

**ТРУДЫ
XIX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Новосибирск, 18-20 апреля 2018 г.

Том II

СЕКЦИИ:

КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

*РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ*

РАДИОЛОКАЦИЯ. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Новосибирск
2018

УДК 62+623](063)

ББК 72я431

Н 34

Н 34 **Наука Промышленность Оборона:** труды XIX Всероссийской научно-технической конференции: в 4 т. / коллектив авторов; под редакцией С.Д. Саленко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018.

ISBN 978-5-7782-3550-2

Том 2: - 276 с.

ISBN 978-5-7782-3552-6

Редакторы тома:

Гуськов А.В., д.т.н., доцент (конструкция и действие средств поражения и боеприпасов)

Легкий В.Н., д.т.н., профессор (ракетно-космическая техника, системы управления летательными аппаратами)

Балаганский И.А., д.т.н., профессор (высокоэнергетические конденсированные системы)

Киселёв А.В., д.т.н., профессор (радиолокация, радиоэлектронные комплексы и системы)

Представлены труды XIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Наука Промышленность Оборона – 2018». Материалы представлены по следующим секциям:

- *конструкция и действие средств поражения и боеприпасов;*
- *высокоэнергетические конденсированные системы;*
- *ракетно-космическая техника, системы управления летательными аппаратами*
- *радиолокация, радиоэлектронные комплексы и системы*

УДК 62+623](063)

ISBN 978-5-7782-3552-6 (Том 2)

ISBN 978-5-7782-3550-2

© Коллектив авторов, 2018

© Новосибирский государственный
технический университет, 2018

СОСТАВ ОРГКОМИТЕТА

Председатель оргкомитета:

Пустовой Н.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой прочности летательных аппаратов, президент Новосибирского государственного технического университета (НГТУ).

Сопредседатели:

Иванков В.И., председатель межрегиональной ассоциации «Сибирское соглашение», исполнительный комитет;

Диканский Н.С., академик РАН, советник РАН, профессор, д.ф.-м.н.;

Накоряков В.Е., академик РАН, советник РАН, главный научный сотрудник Института теплофизики СО РАН, руководитель АНО "Институт передовых исследований";

Заболотный П.В., генеральный директор АО «НПО НИИИП-НЗиК»;

Серьезнов А.Н., д.т.н., профессор, научный руководитель государственного Сибирского научно-исследовательского института авиации имени С.А. Чаплыгина (СибНИА);

Смирнов С.А., заместитель Генерального директора ОАО "Компания "Сухой", директор НАЗ им. В.П. Чкалова;

Фомин В.М., академик РАН, профессор, д.ф.-м.н., научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и прикладной механики (ИТПМ СО РАН) им. С.А. Христиановича Сибирского отделения РАН (ИТПМ СО РАН);

Разгонов В.Л., генерал-майор, начальник Новосибирского высшего военного командного училища (НВВКУ);

Эдвабник В.Г., к.т.н., д.э.н., член-корреспондент РАН, зам. генерального директора по развитию ОАО Научно исследовательский институт электронных приборов (НИИЭП).

Члены Оргкомитета:

Атапин В.Г., д.т.н., профессор, кафедра «Прочности летательных аппаратов» (ПЛА) НГТУ;

Гуськов А.В., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Газодинамических импульсных устройств» (ГДУ) НГТУ – ответственный секретарь, член-корреспондент АВН;

Дьяченко Ю.В., д.т.н., профессор кафедры «Технической теплофизики» (ТТФ) НГТУ;

Киселёв А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Радиоприемных и радиопередающих устройств» (РПиРПУ) НГТУ;

Коробейников С.М., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Безопасности труда» (БТ) НГТУ;

Костин В.В., президент ООО «Авиатехснаб»;

Курлаев Н.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Самолето- и вертолетостроения» (СиВС) НГТУ;

Ларичкин В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Инженерных проблемы экологии» (ИПЭ) НГТУ;

Литвинцева Г.П., д.э.н., профессор, заведующая кафедрой экономической теории и прикладной экономики;

Легкий В.Н., д.т.н., заведующий кафедрой «Автономных информационных и управляющих систем» (АИУС) НГТУ;

Левин В.Е., д.т.н., профессор, заместитель заведующего кафедрой ПЛА НГТУ;

Милевский К.Е., к.т.н., доцент кафедры ГДУ НГТУ, член-корреспондент АВН;

Немировский Ю.В., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник ИТПМ СО РАН, действительный член АВН;

Обуховский А.Д., к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой АГД;

Расторгуев Г.И., д.т.н., профессор, первый проректор НГТУ;

Саленко С.Д., д.т.н., профессор, декан факультета летательных аппаратов НГТУ, заведующий кафедрой «Аэрогидродинамики» (АГД) НГТУ;

Хмельников Е.А., д.т.н., профессор, Нижнетагильского технологического института (филиала) Уральского федерального университета имени первого президента России Б.Н. Ельцина, ученый секретарь РУСЦ РАН, член-корреспондент РАН, действительный член АВН;

Чичиндаев А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технической теплофизики» (ТТФ) НГТУ.

Редакционная коллегия сборника трудов научно-технической конференции «НПО-2018»

Саленко С.Д., д.т.н., профессор- председатель
Атапин В.Г., д.т.н., профессор
Балаганский И.А., д.т.н., профессор
Гуськов А.В., д.т.н., доцент- учёный секретарь
Коробейников С.М., д.ф.-м.н., профессор
Курлаев Н.В., д.т.н., профессор
Ларичкин В.В., д.т.н., профессор
Литвинцева Г.П., д.э.н., профессор
Левин В.Е., д.т.н., профессор
Легкий В.Н., д.т.н., профессор
Обуховский А.Д., к.т.н., доцент
Расторгуев Г.И., д.т.н., профессор
Чичиндаев А.В., д.т.н., профессор

СЕКЦИЯ: КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

УДК 623.4.021

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

Бессонов Владимир Иванович

**Новосибирское высшее военное командное училище
г. Новосибирск, Ibv54@mail.ru**

Данная статья отражает анализ имеющейся в училище учебной литературы по огневой подготовке и раскрывает направления развития, совершенствования, стрелкового оружия, а также эффективного использования его в целях качественного обучения курсантов в военном вузе.

This article reflects the analysis of the educational literature available in the school on fire training and reveals the directions of development, improvement, weapons, as well as its effective use for the purposes of quality cadets' training in a military higher educational institution.

Дата появления огнестрельного оружия на Руси точно не установлена. Среди документов которые сохранились первое упоминание о боевом применении этого оружия относится к 1382 году. Первые образцы стрелкового оружия представляли собой короткую гладкостенную трубу, изготовленную из железной полосы путем кузнечной сварки. Стрельба из данного оружия производилась круглыми (сферическими) пулями, сначала железными, а затем медными и свинцовыми. Круглая (шаровая) форма пули была наиболее удобной для гладкоствольного оружия, так как круглая пуля не требовала стабилизации в полете. Она применялась вплоть до середины XIX века. Порох использовался в виде пороховой мякоти, состоявшей из механической смеси угля, серы и селитры, которые первоначально брались в равной пропорции. Появление сначала фитильного а затем кремневого замков (XV век) сделали оружие массовым. Кремневые и фитильные замки повысили скорострельность ружей до одного выстрела в 3-4 мин. При этом упростилось зарядание, повысились баллистические качества оружия, облегчились хранение и сбережение порохов. Введение ударно-кремневого замка и штыка, который появился в начале XVII века и сделал ружье пригодным для рукопашного боя, способствовало тому, что стрелковое оружие стало основным оружием пехоты. Гладкоствольное, заряжаемое с дула ружье с ударно-кремневым замком и штыком состояло на вооружении всех армий почти до середины XIX века. Его калибр составлял 18–20 мм. Вес пули из свинца составлял около 25 г, а вес заряда принимался равным половине веса пули. Дальность стрельбы не превышала 250–300 шагов (170–220 м), а меткость была весьма невысокой. Так на дальности в 300 шагов вероятность попадания в ростовую фигуру не превышала 10%. [1]

В 1706–1709 годах было проведено полное перевооружение русской армии ударно-кремневыми ружьями, получившими название фузея. Одновременно с этим на вооружение был принят и бумажный патрон, в котором пуля и отвешенный заряд пороха завертывались в лист бумаги и заклеивались. Благодаря введению бумажного патрона и более совершенного ударно-кремневого замка скорострельность ружей увеличилась до 1–1,5 выстр./мин.

Во второй половине XVIII века в России был разработан состав дымного пороха. Как показали испытания, которые начались в 1772 году, русский порох в 2–3 раза по метательным свойствам превосходил английский и французский пороха. Для различных ружей того времени начальная скорость была в пределах 457–517 м/с, что обеспечивало достаточное пробивное и убойное действие пули: на 200 шагов пробивала 4–5 досок, а на 300

шагов убивала лошадь. Но меткость из-за большого рассеивания пуль оставалась плохой. [2]

В 1814 году был разработан капсюль, который представлял собой медный колпачок, на дне которого помещался ударный состав, закрытый фольгой. Такой капсюль перед выстрелом надевался на затравочный стержень, укрепленный сбоку казенной части ствола. Внутри стержня высверливалось сквозное отверстие, служившее продолжением затравочного отверстия в стволе. В русской армии в 1855 году была принята вместо шаровой пули цилиндрополушарная пуля с углублением в хвостовой части. Эта пуля была выполнена по типу французской пули. Углубление в цилиндрополушарной пуле способствовало тому, что ее стенки в хвостовой части под давлением пороховых газов расширялись и прижимались к стенкам ствола, благодаря чему уменьшался прорыв пороховых газов, а следовательно, увеличивалась начальная скорость пули. Дальность стрельбы при этом выросла от 300 до 600 шагов (от 213 до 426 м). [3]

В 1498 году Цольнер (г. Вена), изготовил карабин с прямыми нарезами в стволе, который считается первым образцом нарезного оружия.

В XVI веке было создано оружие с винтовыми нарезами, благодаря которой пуля кроме поступательного движения получала и вращательное движение, что увеличивало ее устойчивость на полете, а за счет этого повысились меткость и дальность стрельбы.

В России нарезные ружья первоначально носили названия винтовальных пищалей (до XVIII века), затем штуцеров, ружей и карабинов. С середины XIX века все виды нарезного оружия получили официальное название «винтовка». При зарядании нарезных ружей пуля вгонялась в ствол с дульной части ударами деревянной колотушки, а затем проталкивалась по каналу ствола ударами шомпола. Из-за этого скорострельность нарезного оружия была очень низкой, не более 1 выстрела в 5 мин, поэтому Петром I нарезные штуцеры были введены как оружие унтер-офицеров и метких стрелков. [4]

В России в 1867 году были приняты на вооружение 6-линейная скорострельная игольчатая винтовка образца 1867 года (модернизированная винтовка Карле) и бумажный унитарный патрон, разработанный Вельтищевым. Основными преимуществами бумажных патронов в то время считались их дешевизна, меньшая точность изготовления и возможность изготовления в войсках.

Француз Лефосе в 1853 году предложил патрон с медной гильзой с боковой шпилькой для воспламенения капсюля, которая делала патрон опасным в служебном обращении.

В 1868 году в России был принят на вооружение 4,2-линейный (10,67-мм) металлический унитарный патрон центрального воспламенения, разработанный Горловым и Гуниусом. Свинцовая пуля весом 24 г имела в передней части закругления, а на дне – выемку для помещения концов бумажной обертки. Гильза имела бутылочную форму. Бумажная обертка предназначалась для устранения свинцевания нарезов и исключения контакта металла пули и гильзы.

Русский офицер полковник Ган в 1876 году предложил свертную металлическую гильзу и бронебойную пулю, состоящую из стального сердечника и свинцовой рубашки, а Камелов предложил конструкцию гильзы со стенками переменной толщины.

В 1870 году принята на вооружение винтовка образца 1870 года, именовавшаяся в литературе и в войсках винтовкой Бердана №2 или „Берданка“. Применение нарезного казнозарядного оружия повлекло изменение тактики действия войск. [5]

В 1889 году началось и массовое производство 3-линейных (7,62-мм) патронов. К этим патронам были приняты пуля в мельхиоровой оболочке и гильза с утолщенным дном и сплошной закраиной. Русский патрон оказался легче, чем подобные иностранные, и обладал большим пробивным действием. 1891 года была принята на вооружение «трехлинейная винтовка обр. 1891 года», разработанная талантливым русским оружейником Мосиным в 1849.

В 1908 году был принят на вооружение Русской армии патрон к винтовке образца 1891 года. По своим характеристикам он не уступал иностранным патронам. Данный патрон стоит на вооружении и в настоящее время.

Особая роль в разработке автоматической винтовки принадлежит русскому ученому и конструктору в области стрелкового оружия Федорову. Сконструированная им в 1907 году винтовка на испытаниях превзошла все другие системы. Этот новый вид оружия получил название «автомат».

Пистолеты-пулеметы широко применялись во время Великой Отечественной войны. Удачными конструкциями стали 7,62-мм пистолет-пулемет Дягтярева обр. 1940 года, 7,62-мм пистолет-пулемет Шпагина обр. 1941 года и 7,62-мм пистолет-пулемет Судаева обр. 1943 года. Однако дальность действительного огня из этого вида оружия не превышала 200–300 м, а опыт боевых действий выявил необходимость увеличения дальности стрельбы.

В связи с этим встал вопрос о создании нового патрона, который по баллистическим данным, массе и габаритам занимает промежуточное положение между винтовочным и пистолетным патронами. Эта задача была выполнена в 1943 году Елизаровым. Принятый на вооружение 7,62-мм патрон обр. 1943 года имеет массу 16,2 г, пулю массой 7,9 г, массу заряда 1,6 г. Он может применяться с обыкновенной, трассирующей, бронебойно-зажигательной или зажигательной пулей. Под патрон обр. 1943 года были разработаны самозарядный карабин Симонова, ручной пулемет Дегтярева и получивший всемирную известность автомат Калашникова.

Патрон уменьшенного, 5,45-мм калибра с пулей со стальным сердечником и трассирующей пулей был разработан под руководством Сабельникова. Малокалиберная пуля, имея высокую начальную скорость и большую поперечную нагрузку, обеспечивает лучшую настильность траектории, обладает хорошей пробивной способностью и убойной силой. Таким образом, подводя итог данному краткому историческому экскурсу, можно однозначно утверждать, что во многом развитие стрелкового оружия определяется развитием его патронов, а российские оружейники, ученые, конструкторы и мастера, всегда обеспечивали превосходство русского оружия в мире.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кириллов В.М., Сабельников А. И. Патроны стрелкового оружия. – М.: ЦНИИ информации, 1973. – 372 с.
2. Наставления по стрелковому делу. – М.: Воениздат, 1973. – 656 с.
3. Сергеев А.И. Патроны стрелкового оружия: конспект лекции. – Пенза: ПВАИУ, 1992. - 17 с.
4. Болотин Д.Н. Советское стрелковое оружие. – М.: Воениздат, 1986. - 320 с.
5. Гнатовский Н.И., Шорин П.А. История развития отечественного стрелкового оружия. – М.: Воениздат, 1959. – 248 с.

ВООРУЖЕНИЕ БОЕВОЙ МАШИНЫ БМП-3

Горовой Сергей Алексеевич

Новосибирское высшее военное командное училище
г. Новосибирск, gtasa@ngs.ru

Статья написана по материалам, опубликованным в средствах массовой информации, о создании, технических характеристиках боевой машины пехоты БМП-3, которая в первый раз была показана всему миру на параде в честь 45-годовщины победы в Великой Отечественной войне.

The Article is based on materials published in the media about the creation, technical characteristics of infantry fighting vehicle BMP-3, which was first shown to the world at the parade in honor of the 45th anniversary of the victory in the great Patriotic war.

БМП-3 (рисунок) предназначена для оснащения мотострелковых и пехотных подразделений с целью повышения их мобильности, защищённости и огневой мощи в современном общевойсковом бою, а также их огневой поддержки при действии в пешем порядке. Обеспечивает совместные действия с другими видами и родами войск.



Рисунок – БМП-3

100-мм орудие – пусковая установка (ОПУ) – мощное универсальное артиллерийское средство поддержки пехоты, находящееся в распоряжении непосредственно пехотных подразделений.

Предназначено для оснащения боевых машин пехоты (БМП-3, БМП-3М).

30-мм выстрел с бронебойно-подкалиберным снарядом предназначен для поражения широкой номенклатуры машин лёгкой весовой категории. На дальности 2000 м – критической для большинства автоматических пушек по рассеиванию боеприпасов дистанции – снаряд пробивает лобовую броню абсолютного большинства бронированных машин массой до 20 тонн, что даёт возможность упредить противника при ведении боя.

В своё время наука определила, что эффективным (достаточным) пулемётным огнём на подавление можно считать плотность огня в полосе наступления не менее 47 пуль на погонный метр в минуту. С учётом спаренного пулемёта, двух пулемётов в шаровых установках в носовой части машины, а также табельных автоматов мотострелков «БМП-3» способна создать такую зону уверенного подавления танкоопасных средств ближнего боя в полосе наступления, прикрыть огнём спешенных мотострелков, поразить управляемым снарядом контрнаступающие танки или вывести их из боя обстрелом из 30-мм автоматической пушки.

Боекомплект 100-мм орудия составляют унитарные выстрелы 2-х типов – с осколочным фугасным снарядом и с ПТУР разработан НИМИ. Используемый в выстреле снаряд, ранее разработанный для буксируемой пушки «БС-3» и самоходной пушки «СУ-100», имеющий толстостенный корпус из стали С-60, малый коэффициент наполнения (0,108) и, как следствие, невысокое осколочное действие. В настоящее время Тульским КПБ разработан под руководством А.Г. Шипунова и С.М. Березина новый 100-мм выстрел с увеличенными дальностью стрельбы и осколочным действием. В качестве замены штатной ПТУР, запускаемой из пушечного ствола, разработана новая ПТУР «Аркан» с увеличенной дальностью полёта до 5500 метров и бронепробиваемостью до 750 мм. В России активно разрабатываются перспективные конструкции 40-мм снарядов, в том числе осколочно-пучковые снаряды, снаряды с уменьшенным полётным временем, снаряды с кольцевым поражающим элементом, броневой-осколочные снаряды прямого попадания и т.п. Включение подобных снарядов в боекомплект БМП позволило бы резко расширить тактические возможности БМП в борьбе с наземными и воздушными целями.

Начальная скорость ОФ снаряда – 250 м/сек. Механизм заряжания полуавтоматического действия состоит из конвейера, механизма загрузки, досылателя и механизма выброса. Конвейер обеспечивает размещение выстрелов и их перемещение на линию выдачи (в плоскость заряжания), с которой происходит захват выстрела механизмом загрузки. Каркас конвейера, в котором 22 артвыстрела уложены в лотки и фланцы гильз зафиксированы в пазах подпружиненных упоров, размещён под полом боевого отделения и может вращаться относительно последнего с помощью электромеханического или ручного (аварийного) привода. Механизм загрузки, захватывая выстрел из конвейера, подаёт его на линию заряжания, откуда выстрел досылателем подаётся (при этом 2 цепи выдвигаются из редуктора и располагаются параллельно, образуя жёсткий досылающий элемент) в зарядную камору орудия. На задней части крыши башни закреплён механизм выброса, предназначенный для удаления стреляных гильз из машины. ПТУР вместе с орудием и аппаратурой управления составляют комплекс управляемого вооружения. Механизм обеспечивает скорострельность 10 выстр./мин. Система наведения ПТУР – полуавтоматическая по лучу лазера, максимальная дальность стрельбы – 4000 метров, минимальная – 100 метров. Кумулятивная боевая часть обеспечивает бронепробиваемость 660-700 мм. При стрельбе с места вероятность попадания достигает 0,8. В целом КУВ подобен комплексу «Бастион», установленному на танке «Т-55М» и «Кастет» на 100-мм противотанковой пушке «МТ-12».

Установленная в единой с орудием «2А-70» маске пушке «2А-72» (справа) имеет 2-х ленточное раздельное питание с электромеханическим, или ручным перезаряданием, дальность стрельбы до 4000 метров (эффективная дальность 2000 метров) с темпом стрельбы 200-300 или 550 выстр./мин.

Так, например, для гарантированного поражения легкобронированной цели из пушки «2А-42» требуется от 3-х до 5-ти попаданий, а при стрельбе из орудия «2А-70» по тем же целям достаточно одного попадания осколочно-фугасного снаряда для их гарантированного поражения. При этом не имеет значения, на какую дальность ведётся стрельба – на 100 или на 4000 метра, мощный заряд ВВ (1,65 килограмм) достаточно эффективно «разворачивает» легкобронированные корпуса БМП и БТР. При испытаниях во время стрельбы сходу при совершении флангового движения по реальным целям типа БТР на дальностях от 3500 до 4200 метра, результаты впечатляющие. Большие углы возвышения подобного комплекса вооружения обеспечивают решение огневых задач по уничтожению высоко расположенных целей, а также стрельбу с закрытых огневых позиций для обеспечения поддержки первого эшелона батальона боевыми машинами второго эшелона (резерва) этих подразделений, при условии подвоза дополнительного боекомплекта для орудий «2А-70».

Работа пулемёта «ПКТ», размещённого в той же маске слева от пушки, обеспечивается своей системой питания, предназначенной для размещения патронной ленты, подвода её к приёмному окну пулемёта, отвода и сбора стреляных гильз и лент пулемёта, а

также звеньев лент пушки «2А-72». Гильзозвеньёотвод имеет два канала. По одному из них отводятся гильзы, по-другому – звеньям. Углы наведения пушки и пулемёта по вертикали в переднем секторе стрельбы от – 6 до + 60 градусов, а в заднем секторе от – 2 до + 64 градуса.

«БМП-3» имеет развитую систему управлением огнём, включающую прицел – прибор наведения «1К-13-2», прибор «ППБ-2», прицел «1ПЗ-10», прибор «ТНП-3ВЭ-01-01», стабилизатор вооружения «2Э-52», дальномер «1Д-16», баллистический вычислитель «1В-539», датчики крена, скорости и курсового угла. Прицел – прибор наведения (ППН) «1К-13-2» наводчика-оператора – комбинированный (дневная и пассивно-активная ночная ветви) с независимой стабилизацией поля зрения в двух плоскостях. Кратность увеличения в дневной ветви – 8^x , в ночной – $5,5^x$. Углы поля зрения составляют 5 градусов и 6 градусов 40 минут. Прибор сочетает в себе функции прибора наведения к УВ (кроме ППН аппаратура управления включает преобразователь, блок управления, электронный блок) и прицела для стрельбы артиллерийскими выстрелами. Стрельба ПТУР ведётся только в светлое время суток. Дополнительный прицел наводчика-оператора «ППБ-2» предназначен для стрельбы по воздушным и наземным целям. Прибор перископический, монокулярный, с кратностью увеличения 2,46-2,6^x и полем зрения 25-28 градусов. Командир может брать управление вооружением на себя, для стрельбы по воздушным и наземным целям он использует монокулярный перископический прицел «1ПЗ-10» с увеличением 1,2^x и 4^x и полем зрения 49 и 14 градусов. Комбинированный прибор наблюдения «ТКН-3МБ» пассивно-активный, дневная ветвь имеет увеличение 4,75-5^x и поле зрения 9,5-10 градусов, а ночная 2,85-3^x и 7,75-8 градусов. Электрический двухплоскостной стабилизатор «2Э-52» обеспечивает точную стабилизацию блока оружия – срединная ошибка стабилизации в режиме «автомат» при движении машины со скоростью 25 км/ч не превышает 0,05 тысячных дальности стрельбы. Установленный на маске блока оружия лазерный дальномер «1Д-16» измеряет дальности от 500 до 4000 метров с точностью до 10 метров. Кроме указанных приборов оператор имеет для наблюдения призмённые смотровые блоки, командир – несколько призмённых блоков по периметру люка. Для подсветки целей и местности ночью видимым и ИК-излучением имеется богатое осветительное «вооружение» – фары «ФГ-125» и «ФГ-127», осветители «ОУ-5» и «ОУ-3Г-А2» (ОУ-3ГА-2М) с ИК – фильтрами.

В бортах десантного отделения имеются по две амбразуры для стрельбы из оружия десанта, амбразура проделана и в створке кормовой двери, хотя пользоваться ею не слишком удобно. Для наблюдения десант имеет призмённые блоки. Внутри машины возятся «РПГ-7» (или «РПГ-16»), пять «РПГ-18», или «РПГ-22», две ПЗРК «Стрела-3», или «Игла-1», пятнадцать гранат «Ф-1», могут перевозиться единые пулемёты «ПКМ», или крупнокалиберные «НСВ-С-12,7». В машинах гранатомётных взводов мотострелковых батальонов предусмотрено крепление для автоматического гранатомёта АГС-17 «Пламя».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. <http://army-news.ru/>.
2. <http://www.sciencedebate2008.com/bmp-3-kharakteristiki/>. Научно-популярный блок.

КУМУЛЯТИВНЫЙ СКВАЖИННЫЙ ПЕРФОРАТОР

Гриф Екатерина Михайловна, Гуськов Анатолий Васильевич,
Милевский Константин Евгеньевич

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

В статье рассматриваются проблемы современной кумулятивной скважинной перфорации, на основании которых предлагается новая конструкция скважинного кумулятивного перфоратора.

In the article the problems of modern cumulative borehole perforation are considered, on the basis of which it is proposed a new design of a downhole cumulative perforator.

Нефте- и газодобывающая промышленность – передовая отрасль народного хозяйства нашей страны. Вторичное вскрытие продуктивных пластов – перфорация – сопровождается рядом проблем. Маленькая площадь сечений перфорационных каналов, пескопроявление понижают эффективность добычи нефти, а разрушение цементного камня скважины может привести к еще большим убыткам.

Существует четыре типа скважинной перфорации: торпедный, гидropескоструйный, пулевой, кумулятивный. Торпедный способ перфорации – взрыв, производимый при помощи торпеды, входящей в пласт и растрескивающей канал в нем – создает перфорационные каналы глубиной до 160 мм и диаметром до 22 мм. Этот достаточно простой и эффективный способ перфорации применяется также в случаях, когда требуется разрушение пород продуктивных пластов, обрыв скважинных труб, очистка их от песчаных пробок и т.д. В обратной ситуации, когда разрушение обсадной трубы крайне нежелательно, торпедная перфорация имеет низкую эффективность: невысокое качество стенок перфорационных каналов и низкая максимальная плотность расположения зарядов (до 4 штук на метр) не дают получить большую площадь пробития скважинной трубы. В отличие от торпедной перфорации, гидropескоструйный способ скважинной перфорации очень деликатно воздействует на обсадную трубу и цементное кольцо. Смесь воды с абразивом, нагнетаемая компрессорами и выстреливающая под большим давлением из сопел перфоратора, создает очень глубокие (до 1 м) и качественные перфорационные каналы (щели). Несмотря на ряд перечисленных достоинств, данный способ перфорации имеет существенные недостатки, например, требует очень больших материальных вложений и полного соблюдения технологии работы, а также не может применяться к перфорации пластов, впитывающих жидкость. В отличие от него, пулевой способ перфорации – прострел обсадной трубы и цементного кольца пулями, осуществляемый с помощью детонации взрывчатого вещества – относительно экономичен. С помощью применения пулевых перфораторов создаются перфорационные каналы до 145 мм в длину и до 12,5 мм в диаметре. Настолько же удобным в применении, но еще более эффективным является кумулятивный способ перфорации. Кумулятивные перфораторы включают в себя несколько единиц, а иногда и десятков кумулятивных зарядов, и предназначены для формирования перфорационных каналов в скважине путем пробития обсадных труб, цементных колец и дальнейшего гидроразрыва

продуктивного пласта кумулятивной струей, а также используются для борьбы с пескопроявлением. При этом перфоратор формирует отверстие, не разрушая зацементированное затрубное пространство. Длина перфорационных каналов в этом случае составляет до 350 мм, а их диаметр – до 24,6 мм. Площадь расположения зарядов на 1 метр – до 16-18 штук, в зависимости от модели перфоратора. Общая площадь пробития обсадной трубы при кумулятивной перфорации ниже, чем, например, при использовании щелевого гидropескоструйного способа перфорации, но именно соотношение эффективности работы и универсальности кумулятивных перфораторов делают этот вид перфорации наиболее распространенным среди остальных.

Универсальность кумулятивных перфораторов отражается в многообразии их конструкций. В целом кумулятивные перфораторы делятся на корпусные и бескорпусные. Первые отличаются тем, что заряды размещены в толстостенном, прочном герметичном корпусе, тогда как во втором заряды помещаются в индивидуальные оболочки из стекла, керамики, сплавов алюминия, пластмассы и т.д. Корпусные перфораторы более щадяще воздействуют на скважину при работе, но имеют малую длину (до нескольких метров), тогда как более дешевые бескорпусные имеют ярко выраженное фугасное действие в процессе перфорации, при этом засоряя скважинное пространство обломками взорвавшихся оболочек кумулятивных зарядов, но также отличаются большой длиной (до 30 м).

Кумулятивные заряды перфораторов, задействованные в современной нефтедобывающей промышленности, содержат коническую кумулятивную выемку. В зависимости от назначения заряда, конструкция и материал воронок имеют некоторые различия [1], но при этом сохраняется стандартная форма воронки – коническая и ее производные. В теории струеобразования кумулятивная струя, получаемая схлопыванием конической облицовки, описывается как длинная тонкая металлическая проволока,двигающаяся продольно с очень большой скоростью [2]. То есть, можно отметить, что возможности максимального диаметра пробития при использовании кумулятивных конических воронок весьма ограничены. К примеру, в каталоге французской компании Schlumberger [3], мировых лидеров организации процессов нефтедобывающей промышленности, представлены кумулятивные заряды с конической формой выемки, при этом максимальный диаметр входного перфорационного канала для этих зарядов не превышает дюйма, и эффективность добычи ископаемых достигается преимущественно количеством единиц зарядов.

Задачей данной разработки, представленной на рисунке 1, являлось создание модели кумулятивного заряда, обеспечивающего перфорацию каналов нового типа, которые позволят повысить объем притока нефти и газа за счет увеличения площади пробития трубы и площадей сечений перфорационных каналов. Использование данного заряда возможно унитарно или в составе кумулятивного перфоратора. Решение поставленной задачи достигается добавлением уникальной формы кумулятивной облицовки [4]. В заряд добавляется не только коническая кумулятивная выемка, но и кольцевая. Эффективное обжатие кумулятивных облицовок достигается за счет установки линзового узла с комбинацией дополнительных взрывчатых веществ [5,6], тем самым обеспечивая образование и кумулятивной струи, и кольцевой кумулятивной пелены.

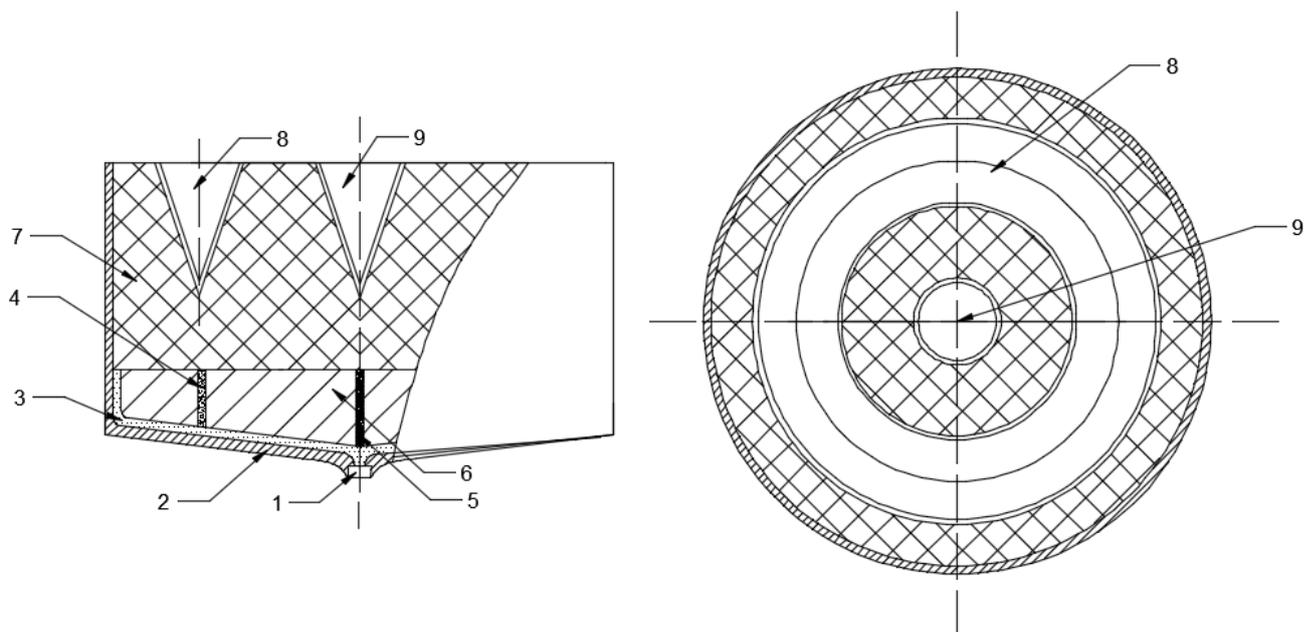


Рис. 1 Кумулятивный скважинный перфоратор:

1 – средство инициирования; 2 – корпус; 3,4,5 – вспомогательные взрывчатые вещества; 6 – линзовый узел; 7 – основное взрывчатое вещество; 8 – кольцевая кумулятивная выемка; 9 – коническая кумулятивная выемка

За счет увеличившейся массы кумулятивной облицовки заряда, достигнутой изменением ее формы, на выходе мы получаем отверстие большей площади, что повышает эффективность перфорационных работ. Также стоит отметить, что к данному типу кумулятивного заряда, при всех его отличиях от обычных перфорационных зарядов, могут применяться те же модели оптимизации конструкции изделия под определенные нужды нефтедобывающей промышленности, что позволяет назвать данный заряд универсальным.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что, перенимая существующий опыт в использовании беспестовых облицовок, конструкции выемок и корпусов зарядов и внедряя его при проектировании изделий нового типа, в дальнейшем возможно многократно повысить эффективность вторичного вскрытия продуктивных пластов и, что следует из этого, прибыльность добычи нефти и газа в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зейгман Ю.В. Эксплуатация систем ППД при разработке нефтяных месторождений УГНТУ. — Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. - С.62
2. 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
3. Корпусные перфорационные системы. URL: <http://www.slb.ru/> (дата обращения 15.03.2018)
4. Патент 145068U1 Россия, МПК В64G 99/00 (Авторы Гуськов А.В., Милевский К.Е., Иноземцева К.О., Слесарева Е.Ю.)
5. Орленко Л.П. (ред.) Физика взрыва Изд. 3-е, испр. - В 2 т. Т.2 - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – С. 299
6. Высокоэнергетические материалы : учеб. пособие / В. В. Андреев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева. - Новосибирск : НГТУ, 2013.

**ОБЗОР ПУТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
БРОНЕБОЙНЫХ ОПЕРЕННЫХ ПОДКАЛИБЕРНЫХ СНАРЯДОВ.**

Гынгазов Дмитрий Владимирович, Милевский Константин Евгеньевич

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

В работе рассматриваются пути увеличения эффективности пробития гомогенной брони танка снарядом типа, бронебойно оперенный подкалиберный снаряд (БОПС).

The paper discusses ways to increase efficiency the penetration of a homogeneous armor of a tank with a projectile of the type, an armour-piercing discarding sabot (APDS). The methods of their solutions are considered.

Необходимость совершенствования БОПС определяется тем, что и в настоящее время и в перспективе они представляют для танка наибольшую угрозу. В последние годы БОПС в значительной степени вытеснили из боекомплектов танков кумулятивно-осколочные снаряды.

Основными особенностями функционирования современных БОПС, обусловившими приоритетность их разработки, являются:

1) относительно слабая чувствительность БОПС по сравнению с кумулятивными БП к различного рода деструктивным воздействиям со стороны броневой защиты за счет ее многослойности, разнесенности, наличия ДЗ (динамической защиты) (так, снижение бронепробивной способности современных БОПС на многослойных структурах защиты в 3-5 раз меньше, чем у кумулятивных БП);

2) более мощное заброневое действие БОПС по сравнению с кумулятивными снарядами;

3) слабая зависимость бронепробивной способности срабатывающих моноблочных сердечников от углов встречи с броней, вплоть до углов в 50° ;

К достоинствам БОПС можно отнести и то, что длина их траектории в броне при взаимодействии под углом (толщина брони по ходу снаряда) практически равна длине траектории при пробитии по нормали, а благодаря тому, что в пробитую толщину входит и высота выбиваемой с тыльной стороны преграды пробки, может на несколько десятков миллиметров превышать длину траектории по нормали. Это способствует и нормализация (поворот в сторону нормали к поверхности преграды) снаряда при прохождении тыльных слоев преграды [1].

Совершенствование БОПС связано с реализацией концепции поражения танков с первого выстрела на дальностях 2,5...3,0 км, а в перспективе – до 6 км. Для достижения этой перспективы необходимо уменьшить время полета снаряда, свести к минимуму ошибки при подготовке к стрельбе и увеличить результативность действия по цели на предельной дальности эффективного огня.

Можно выделить следующие направления увеличения эффективности действия БОПС:

- 1) повышение начальных скоростей метания снарядов;
- 2) увеличение скорости взаимодействия снаряда с преградой за счет снижения потери скорости полета снаряда на траектории или дополнительного разгона снаряда до встречи с преградой;
- 3) увеличение поперечной нагрузки (отношения массы активной части снаряда к площади его поперечного сечения) активной части снаряда;
- 4) конструктивные приемы.

Повышение скоростей метания осуществляется совершенствованием метательных зарядов. Начальную скорость метания снаряда можно повысить за счет использования жидких метательных веществ (ЖМВ) – одно- или двухкомпонентных, в которых топливо и окислитель размещены отдельно. Это может привести к увеличению начальной скорости снаряда до 2000 м/с и более. Применительно к танкам особенно важен фактор увеличения боекомплекта, так как ЖМВ размещается более компактно, чем пороховой заряд в гильзе.

Минимизация потерь скорости активной части снаряда на траектории достигается совершенствованием ведущего устройства снаряда и аэродинамических качеств его полетной части. Уменьшение диаметра активной части снаряда и размаха перьев стабилизатора, выполнение стабилизатора подкалиберным (за счет применения двухбазовых ведущих устройств) позволяют сократить потери скорости снаряда при полете к цели. Выполнение корпусов БОПС с головными насадками звездообразного сечения снижает лобовое аэродинамическое сопротивление при полете до 5...10% [2,3]. Увеличение скорости снарядов в полете может быть достигнуто применением в БОПС твердотопливного или жидкостного реактивного двигателя. Другой способ повышения скорости – отстрел бронебойного сердечника на траектории из корпуса снаряда с помощью порохового заряда. Этот способ может быть использован для поражения ДЗ: отстреливаемый сердечник взводит ДЗ, а корпус снаряда осуществляет пробитие основной брони. Представляет определенный интерес возможность увеличения скорости бронебойных сердечников с преградой путем сообщения им дополнительного импульса за счет взрыва БВВ (бризантного взрывчатого вещества) в момент начального взаимодействия с препятствием [4].

Увеличение поперечной нагрузки активной части снаряда – сегодня один из самых надежных способов сосредоточения максимума кинетической энергии на минимальной площади контакта БОПС с преградой и, как следствие, повышение бронепробиваемости. Такой способ может быть осуществлен с помощью удлинения (отношения длины сердечника к диаметру) или плотности активной части снаряда. Особый интерес представляет наличие в снаряде малоплотного ведущего устройства, изготовленного из прессованной пороховой смеси, которая является одновременно частью порохового заряда.

К конструктивным приемам можно отнести использование для изготовления снарядов прочных материалов, в качестве которых применяют монокристаллы высокоплотных материалов. Максимальный эффект достигается при использовании многослойных сердечников снарядов.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что для увеличения эффективности действия БОПС необходимо:

- 1) повышение начальных скоростей метания снарядов;
- 2) увеличение скорости взаимодействия снаряда с преградой за счет снижения потери скорости полета снаряда на траектории или дополнительного разгона снаряда до встречи с преградой;
- 3) увеличение поперечной нагрузки (отношения массы активной части снаряда к площади его поперечного сечения) активной части снаряда;
- 4) конструктивные приемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Григорян В.А (ред.) Частные вопросы конечной баллистики – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – С. 65
2. Патент 167767 Россия, МПК F42В 14/06. Оpubл. 17.02.2017
(Авторы Гуськов А.В., Милевский К.Е., Долматов А.С., Кузнецов Е.А.)
3. Влияние количества лучей ударника бронебойного-оперенного подкалиберного снаряда на пробитие преграды = Effect of number of rays of the projectile to break through barriers / А. В. Гуськов, Е. А. Кузнецов, К. Е. Милевский, А. И. Родионов // Вестник академии военных наук. - 2016. - № 41. - С. 61-63.
4. Бабкин А.В. (ред.) Средства поражения и боеприпасы, Т.1, Изд. МГТУ им Н.Э. Баумана, 2016 – С. 584

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ

С.Ф. Дубинина, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин

Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина
г. Нижний Тагил, khmelnikov7@gmail.com

Рассмотрен газодинамический метод для определения внутрибаллистических характеристик при выстреле. Дана система уравнений газодинамического метода. Приведены графики изменения давления пороховых газов при выстреле и распространения волн давления по каналу ствола орудия.

A gas-dynamic method for determining the interior ballistic characteristics of a shot is considered. The system of equations for the gas dynamic method is given. Graphs of the change in the pressure of powder gases during the shot and the propagation of pressure waves along the channel of the gun barrel are given.

Для вычисления внутрибаллистических параметров при выстреле в настоящее время используют два метода: термодинамический и газодинамический.

Основным допущением термодинамического метода является осреднение плотности и температуры по всему заснарядному пространству, таким образом, для этого метода характерен «нуль-мерный» порядок решаемой задачи. Потери энергии (связанные с перемещением массы пороховых газов, порохового заряда, преодоления трения и т.д.) учитываются введением коэффициентов фиктивности, которые искусственно увеличивают фактическую массу снаряда.

Газодинамический подход основан на рассмотрении движения газопороховой смеси по заснарядному пространству. При этом все внутрибаллистические процессы описываются с помощью системы дифференциальных уравнений. В этом методе учитывается неравномерное распределение давления, плотности и температуры по длине камеры, порядок задачи может быть одно-, двух или трехмерный. При этом хорошо описываются и волновые процессы, происходящие при перемещении пороховых газов. Таким образом, достигается большая точность вычислений и лучшее соответствие реальным процессам, происходящим при выстреле, по сравнению с термодинамическим подходом.

При использовании газодинамического метода расчета в случае одномерного порядка задачи делаются следующие основные допущения [1-3]

- все газодинамические параметры изменяются только вдоль оси ствола, для одного и того же поперечного сечения канала ствола их значения в любой точке одинаковы;
- деформирование стенок ствола и зарядной камеры не рассматривается;
- стенки ствола и зарядной камеры газонепроницаемые;
- порох, расположенный в канале ствола и в зарядной камере несжимаем;
- газовая фаза сжимаема,
- действие силы тяжести и вязкости не учитываем (кроме межфазного взаимодействия);
- течение газа между пороховыми элементами и внутри пороховых элементов (в каналах трубок и зерен) одинаково;
- термохимические реакции, происходящие в процессе образования и движения пороховых газов не рассматриваются;
- расстояния, на которых газодинамические параметры меняются существенно, значительно превышают размеры частиц и расстояния между частицами.

- в каждой точке пространства присутствует смесь из различных фаз (газовой фазы и пороховых элементов), каждая фаза занимает часть объема этой смеси.
- расчет движения газовой фазы и пороховых элементов производится независимо друг от друга, при этом учитываются межфазные взаимодействия.
- теплоотдача к горячей поверхности пороховых элементов не учитывается.
- предварительный период не рассматривается; движение снаряда начинается после того, как давление в заснарядном объеме достигнет давления форсирования p_0 .

В начале горения порохового заряда границы распространения твердой и газообразной фаз совпадают, но, по мере развития процесса, твердая фаза отстает от газообразной фазы, так как скорости движения пороховых элементов ниже, чем у пороховых газов. За боеприпасом образуется область чистого газа, таким образом, часть заснарядного пространства будет занимать смесь из пороховых элементов и пороховых газов, а часть только пороховые газы (рис.1).

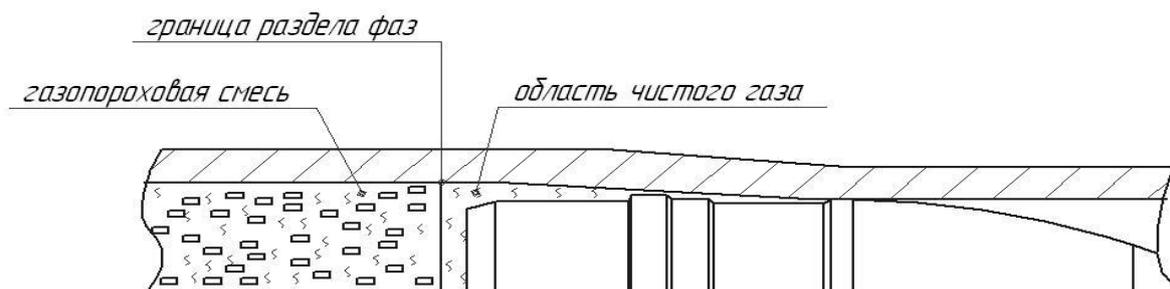


Рисунок 1. Распространение газопороховой смеси

Пороховой заряд может иметь различную конструкцию, состоять из зерненого или трубчатого пороха или из комбинации нескольких видов порохов. В систему уравнений, используемых при газодинамическом подходе входят: уравнение неразрывности, уравнение движения, уравнение энергии, а также дополнительные уравнения, использующиеся для вычисления сил межфазного взаимодействия и других параметров, начальные и граничные условия. При этом расчет движения каждой фазы (т.е. пороховых элементов и пороховых газов) производится независимо друг от друга (индекс j обозначает номер части заряда – для комбинированных зарядов, $j = 1, 2$) [1].

При расчете внутрибаллистических параметров в уравнениях газодинамического подхода используется такая величина, как пористость – m . Пористость это – объем пустот в единице объема, занятого пороховыми элементами. Таким образом, пороховые элементы будут занимать объем: $1-m$. По мере выгорания пороха пористость будет увеличиваться. В начальный момент времени ее величина равна $m = m_0$. Значение m_0 можно определить, зная плотность заряжения Δ . В качестве граничных условий задаются скорости движения пороховых газов у дна камеры и у дна снаряда.

Скорость снаряда определяется через скорость движения его центра масс или при решении комплексной задачи по расчету процессов, происходящих при выстреле, включая расчет движения и деформирования снаряда и сил сопротивления движению.

Система уравнений, используемая для вычисления внутрибаллистических параметров, решается численно. В данном случае наиболее подходящим является совместный эйлера-лагранжев метод, который хорошо подходит для задач газодинамики. Уравнение движения центра масс трубчатого заряда решается методом Эйлера [1].

При моделировании горения порохового заряда при условии постоянной пористости по длине заряда были получены зависимости давления от координаты боеприпаса при его движении по каналу ствола (рис.2). На графике приводятся кривая изменения давления у дна боеприпаса, кривая изменения давления у дна камеры, кривая зависимости максимального для всего заснарядного пространства давления от координаты боеприпаса. Зависимость $p_c(x)$ описывает колебательный процесс. Это явление связано с тем, что при движении

боеприпаса, за ним образуется область разряжения с невысокими значениями давления, которая затем заполняется пороховыми газами, что приводит к резкому повышению давления. Процесс повторяется многократно, т.е. происходят постоянные резкие колебания величины давления, что отражают представленные на графике результаты расчета.

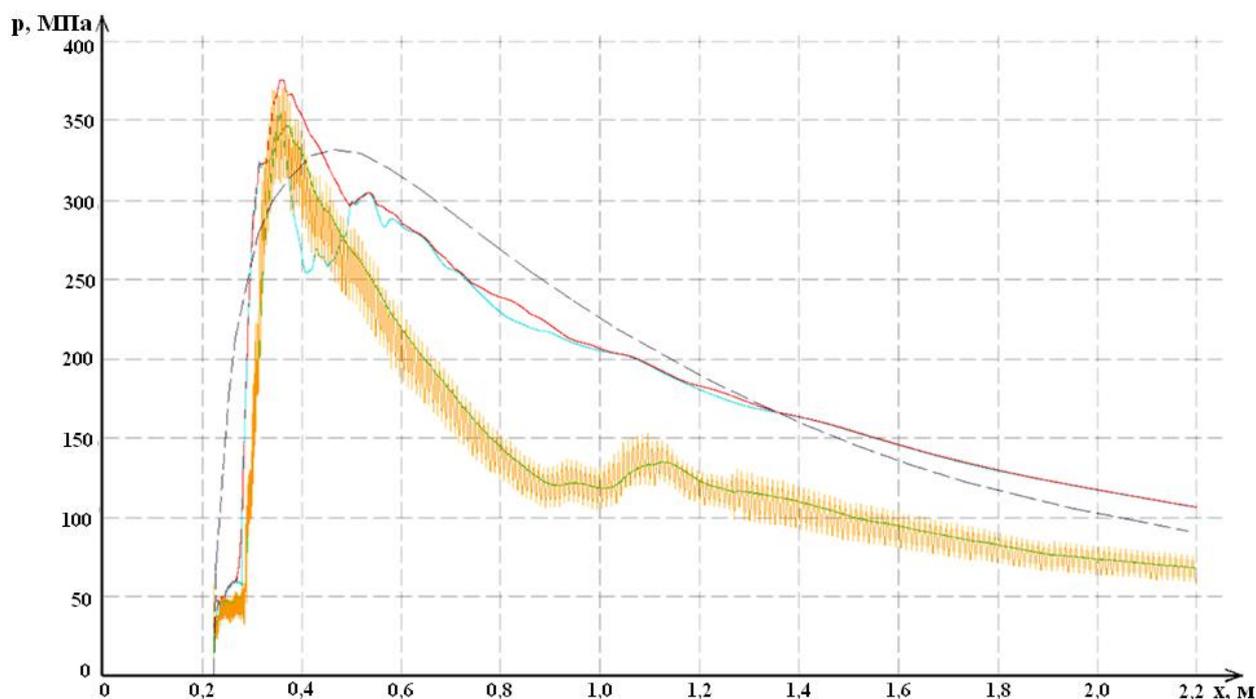


Рисунок 2. Кривые изменения давления пороховых газов при выстреле: x – координата боеприпаса, отсчитывается от дна камеры; — — — $p_k(x)$ – кривая изменения давления пороховых газов у дна камеры орудия, — — — $p_c(x)$ – кривая изменения давления пороховых газов у дна движущегося боеприпаса, — — — $p_{сип}(x)$ – кривая, полученная интерполяцией зависимости $p_c(x)$, — — — $p_{max}(x)$ – кривая зависимости максимального для всего заснарядного пространства давления от координаты боеприпаса, — — — экспериментальный график

В процессе горения пороховые элементы постоянно перемещаются в осевом направлении, что приводит к их неравномерному распределению по длине заряда, образуются области с высокой и низкой пористостью, поэтому может наблюдаться значительная разница в давлениях в различных сечениях заряда. Кроме того, вдоль заряда распространяются волны давления (рис.4). Это явление вызывает локальное увеличение скорости горения пороха в областях высокого давления, в том числе это явление может наблюдаться и в районе дна боеприпаса, в момент прихода «гребня» волны давления.

Применение газодинамического подхода позволяет учесть множество факторов, не рассматриваемых при термодинамическом подходе: распространение волн давления, перемещение пороха в камере, изменение давления пороховых газов по длине камеры, т.е. описать реальный процесс горения порохового заряда. Полученные данные могут быть использованы для расчета напряженно-деформированного состояния боеприпаса при выстреле.

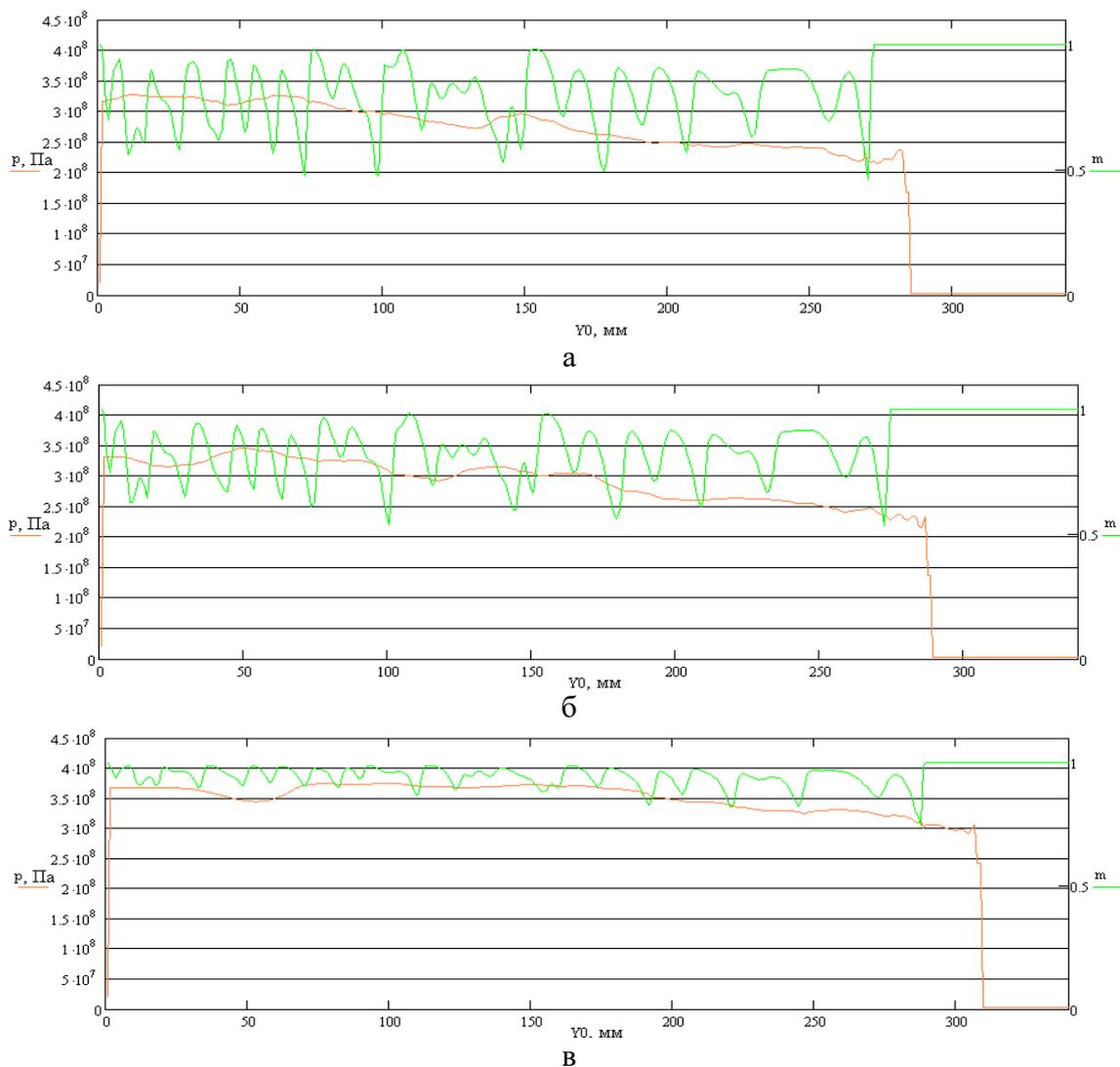


Рисунок 3. Распространение волн давления: а – $T = 0.0014170$ с, б - $T = 0.0014403$ с, в - $T = 0.0015544$ с; T – время, Y_0 – осевая координата, m – пористость, p – давление пороховых газов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Русяк И.Г., Ушаков В.М. «Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах», Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 259 с.
2. Баллистика ствольных систем/ РАН; В.В.Бурлов и др.; под ред. Л.Н.Лысенко и А.М. Липанова; редкол. серии: В.П.Киреев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.: ил. (Справ. б-ка разработчика-исследователя).
3. «Математические модели проектирования боеприпасов на основе уравнений механики гетерогенных реагирующих сред», Русяк И.Г., «Вопросы оборонной техники», серия 14, выпуск 2, Москва, 2011, стр. 3-11.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБЛИЦОВОК В КОНСТРУКЦИЯХ КУМУЛЯТИВНЫХ И СНАРЯДОФОРМИРУЮЩИХ ЗАРЯДОВ

Деморецкий Д.А., Жученко Д.И.

Самарский Государственный Технический Университет
г.Самара, Zagzag1094@gmail.com

Статья посвящена применению многослойных облицовок в конструкциях кумулятивных и снарядоформирующих зарядов. В статье рассмотрены различные способы повышения эффективности зарядов типа «ударное ядро».

The article is devoted to the use of multilayer coatings in the construction of cumulative and projectile charges. The article describes various ways to improve the efficiency of charges such as "shock core".

С появлением новых типов защиты бронетанковой техники и ее постоянным совершенствованием, появилась необходимость создания более эффективных кумулятивных средств поражения, способных преодолевать защиту техники и оказывать высокое поражающее действие. Поиск нетрадиционных решений, повышающих бронепробивную способность, а, следовательно, и эффективность действия кумулятивных боеприпасов, формирующих «ударное ядро», является актуальной на сегодняшний день [1].

В настоящее время основными направлениями совершенствования кумулятивных облицовок (КО) являются улучшение физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств и структуры материала облицовки, оптимизация геометрической формы и размеров облицовки, разработка различных вариантов многослойных и комбинированных облицовок [2]. Возрастание пробивной способности также связывается с использованием КО из тугоплавких высокоплотных материалов (сплавы вольфрама, обедненный уран). Известны также разработки КЗ [3], у которых внутренний слой КО изготовлен из порошкового псевдосплава вольфрам-медь, полученного методом механического легирования и др.

С целью увеличения пробивной способности кумулятивных зарядов, формирующих «ударное ядро», в ФГБОУ ВО «СамГТУ» предлагается применять кумулятивные облицовки в многослойном исполнении. Многослойная облицовка состоит из наружного слоя, изготавливаемого из таких материалов, как медь, алюминий, сталь, и внутреннего слоя из высокоплотных материалов, таких как, вольфрам и молибден, изготавливаемая при помощи специально разработанного способа детонационного нанесения покрытий [4]. При помощи методов детонационного напыления возможно изготовление многослойных КО с использованием высокоплотных материалов. Достоинствами предлагаемого способа являются: низкая пористость формируемого покрытия, высокая адгезия с материалом подложки, незначительное термическое воздействие, позволяющее избегать нежелательных термонапряжений и коробления тонкостенных облицовок за счет импульсного характера процесса, быстрота процесса (напыляемый слой формируется за несколько секунд).

Так же, для повышения эффективности действия зарядов типа «ударное ядро» предлагается использовать многослойные облицовки, у которых один из слоев выполнен из реакционного материала. Задачами такого заряда становятся не только пробитие брони, но и занесение реакционного материала за броню, который обеспечивает дополнительное поражающее и зажигательное действие.

С целью определения наиболее рациональной формы комбинированной КО снарядоформирующего заряда, выполнено математическое моделирование процессов формирования «ударного ядра».

В результате математического моделирования установлена возможность значительного повышения пробивной способности КЗ типа «ударное ядро» за счет применения высокоплотного материала в конструкции многослойной КО. Определены геометрические характеристики КО: медной подложки и высокоплотного покрытия. Установлен наиболее эффективный режим формирования «ударного ядра».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бабкин А.В. Средства поражения и боеприпасы: Учебник [Текст] / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов. - М.: МГТУ, 2008. - 984 с.
2. Физика взрыва / под ред. Л.П. Орленко. – изд. 3-е, переработанное. – в 2т., т.1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, - 832с.
3. Пат. 2151362. Российская Федерация, МПК7 F 42 В 1/036. Кумулятивный заряд с биметаллической облицовкой и способ её изготовления / В.Г. Смеликов, В.М. Базилевич и др.; заявитель и патентообладатель ГНПП "Базальт". № 99109200/02; заявл. 23.04.99; опубл. 20.06.2000.
4. Калашников В.В. Теоретическая и экспериментальная оценка эффективности действия взрывных устройств с многослойными кумулятивными облицовками, сформированными детонационным методом [Текст] / В.В. Калашников, Д.А. Деморецкий, М.В. Ненашев, О.В. Трохин, П.В. Рогожин, Р.Р. Сулейманов // Известия Самарского научного центра РАН. – том 14. - №1(2). – 2012. – С. 610-614.

**ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДИФФУЗИОННОГО ГОРЕНИЯ В РАСЧЕТАХ
КОНЕЧНОЙ БАЛЛИСТИКИ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ, СОДЕРЖАЩИХ
РЕАКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

С.С. Ильин, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин, И.И. Вендер

**Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального
университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина
г. Нижний Тагил, khmelnikov7@gmail.com**

В связи с постоянной модернизацией производства средств поражения и боеприпасов, в настоящее время возникла необходимость в поиске новых видов снаряжения. В этой статье авторы рассматривают возможность использования фторопласта в качестве реакционного материала способного заменить взрывчатые вещества в боеприпасах, применяемых для поражения легкобронированных и легкоуязвимых целей. В статье отражены результаты экспериментов и математического моделирования процесса проникания фторопластового ударника в преграды из легких сплавов. Для учета дополнительной энергии выделяющейся в результате взаимодействия во время моделирования, был использован метод противоточного диффузионного пламени..

In connection with the continuous modernization of the production of weapons and ammunition, now there is a need to find new types of equipment. In this article, the authors consider the possibility of using fluoroplastic as a reactive material capable of replacing explosives in ammunition used to defeat lightly armored and easily vulnerable targets. The article reflects the results of experiments and mathematical modeling of the penetration process of fluoroplastic ammunition into targets from light alloys. To account for the additional energy released as a result of the interaction during the simulation, the counterflow diffusion flame method was used.

Основная масса целей, против которых, преимущественно, используются малокалиберные боеприпасы, расположена на переднем крае. Поражение легкобронированной техники происходит за счет следующих физических факторов: механического действия (экипаж, приборы, силовая установка, топливные баки); зажигательного действия (силовая установка, маслосистемы, топливопроводы и топливные баки) и иницирующего действия (детонация боекомплекта).

Применяемая, для поражения ЛБТ и легкоуязвимой техники (ЛУТ) боеприпасы (БП) и поражающие элементы (ПЭ) можно разделить на две группы (рис.1). Это пассивные (без энергоносителя) и активные (с энергоносителем). Цели поражаются пассивными БП за счет реализации диссипации кинетической энергии, а активными – в основном за счет энергии детонации взрывчатых веществ.

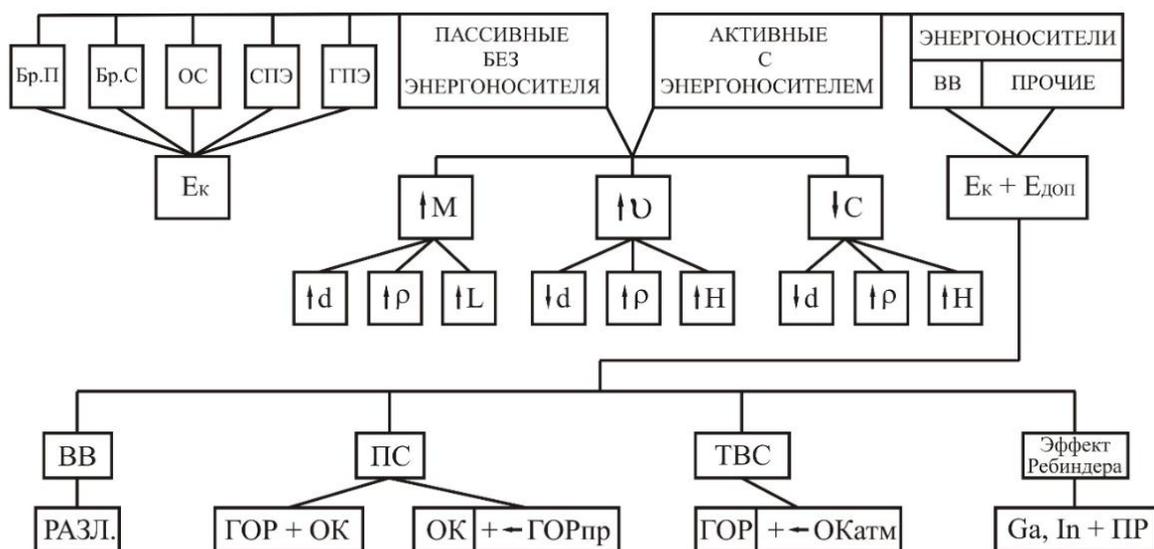


Рисунок 1. Типы боеприпасов и способы поражения целей с их применением

Активные боеприпасы весьма эффективны для поражения ЛБТ и ЛУТ. Однако, снаряженные ВВ боеприпасы сложны в изготовлении, небезопасны в обращении. В случае малокалиберного снаряда для реализации ВВ также необходимы средства инициирования.

Таким образом, возникает необходимость в замене энергоносителя на менее опасное в обращении вещество.

С середины 80 годов 20 века в Уральском федеральном университете ведутся исследования по применению реакционных материалов в качестве снаряжения малокалиберных боеприпасов и готовых ПЭ.

Для изучения процессов, проходящих при взаимодействии боеприпасов малого калибра, снаряженных РМ с преградами из легких сплавов, авторами был проведен ряд экспериментов и численное моделирование процесса проникания. При проведении исследований авторами была обнаружена химическая экзотермическая реакция, происходящая при ударе фторопластового ударника об алюминий содержащую преграду на скоростях встречи более 600 м/с. Для изучения данного феномена и его дальнейшего применения в конструировании новых типов боеприпасов авторами было проведено всестороннее исследование данного процесса.

Целью исследования является подбор физико-математической модели, адекватно отражающей условия динамического взаимодействия фторопластового ударника с преградами из алюминиевых сплавов.

Решение проблемы расчета кинематических и динамических характеристик проникания ударника из РМ в упругопластической постановке было выполнено с использованием ряда методов, реализованных в следующих программных продуктах: «Конечная баллистика», «ТИМ-2D», «ANSYS Autodyn».

Для сравнения результатов, полученных вышеперечисленными методами, численное моделирование проводилось с входными параметрами, соответствующими параметрам эксперимента. Расчеты были проведены без учета влияния дополнительной энергии, реализуемой химической экзотермической реакцией. В процессе расчета были выбраны модели, описывающие упругопластическое деформирование ударника (Мизес) и преграды (модели Джонсона – Кука, Глушака, Мизеса), и различные уравнения состояния материала ударника и преграды (УРС Забабахина и «баротропная зависимость») для адекватного описания упругопластических процессов. Для расчетов в программах ТИМ-2D и Конечная баллистика использовался метод крупных частиц [3]. Для расчета в программе ANSYS Autodyn использовался метод сглаженных частиц. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры объема каверны от взаимодействия фторопластового ударника с алюминиевой преградой ($\varnothing 13\text{mm}$, $m=8.6\text{гр}$)

Начальная скорость	Модель Мизеса, МКЧ, УРС Забабахина	Модель Глушака, МКЧ, УРС Забабахина	Модель Дж-Кука, МКЧ, УРС Забабахина	Модель Мизеса, МКЧ, баротропная зависимость	Модель Дж-Кука, МСЧ, УРС Мизеса, скорость эрозии -1	Модель Дж-Кука, МСЧ, УРС Мизеса, скорость эрозии -3	Экспериментальные результаты
м/с	см ³	см ³	см ³	см ³	см ³	см ³	см ³
507	0,065	0,077	0,015	0,073	0,756	0,269	1,200
685	0,537	0,682	0,064	0,693	1,859	1,182	1,450
930	3,270	3,147	0,620	2,607	2,723	4,259	4,000
1108	6,055	5,827	2,276	4,049	3,934	8,766	6,500
1406	13,010	11,742	6,369	7,050	6,904	17,309	11,500

Анализ результатов показывает, что модели Мизеса и Глушака дают явно завышенные результаты по объему каверны и не учитывает влияние химической реакции при расчете с УРС Забабахина для алюминия. С точки зрения авторов, процесс упругопластического взаимодействия ударника из РМ и преграды более точно описывается моделью Джонсона-Кука с УРС в форме баротропной зависимости.

Для учета влияния химической энергии на процесс проникания в метод крупных частиц введен блок расчета тепловыделения по модели CDF (рис.2). Напрямую программный комплекс ANSYS Autodyn не может сочетать процессы горения и проникания, т.о., была предпринята попытка представить проникающий боеприпас как многослойную конструкцию, в которой нечетные слои проникают как твердое тело, а четные слои горят (рис.3). Результат расчета объёма каверны с использованием методики CDF, реализованный в двух программных комплексах, (рис. 4), показывают, что результаты, полученные в программном комплексе ANSYS Autodyn, превышают экспериментальные.



Рисунок 2. Модель противоточного диффузионного пламени

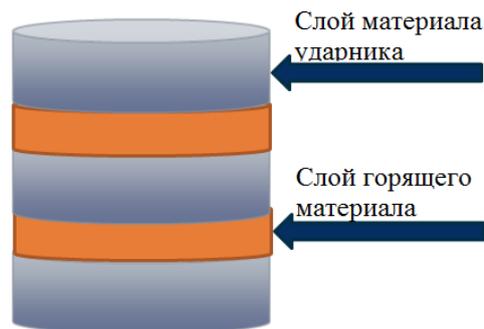
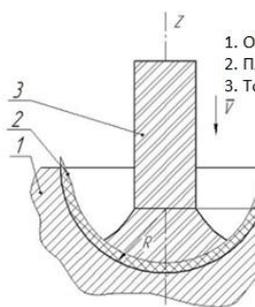


Рисунок 3. Модель послойного горения

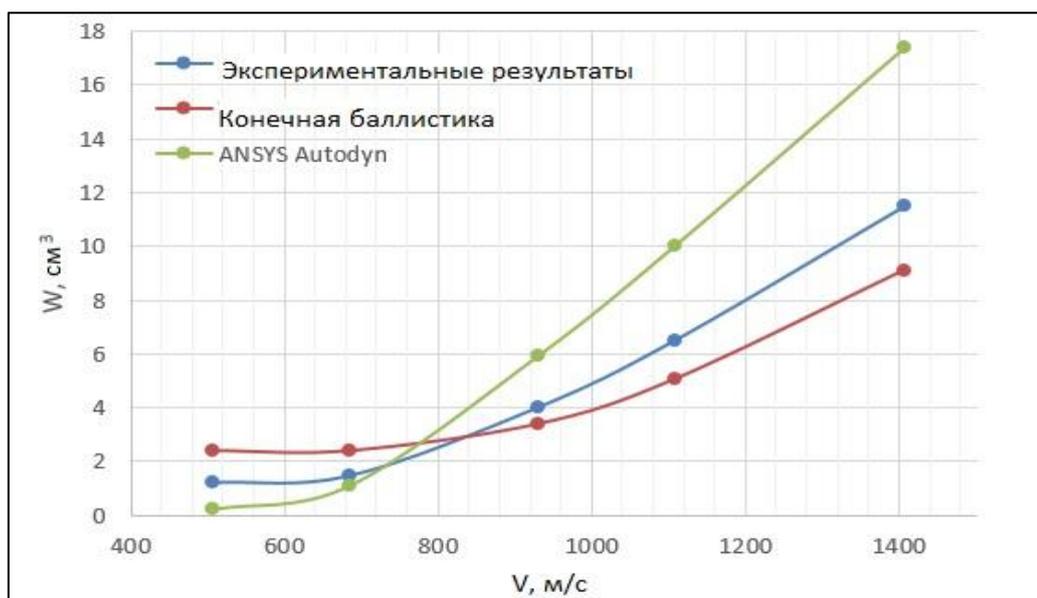


Рисунок 4. Зависимость объема каверны от начальной скорости соударения фторопластового ударника с алюминием содержащей преградой с использованием методики CDF

Выводы:

1. Предложенный метод позволяет оценить результаты взаимодействия фторопластового ударника с преградой на основе алюминия в широком диапазоне начальных скоростей со значительной степенью точности.
2. Предложенный метод расчета в программе «Конечная баллистика» позволяет рассчитывать кинетическую и химическую энергию проникающего боеприпаса одновременно.
3. Использование реакционных материалов, таких как фторопласт, в качестве энергоносителя делает возможным разработку новых типов малокалиберных боеприпасов (патенты №. 2582322, 2625991).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Khmelnikov, E.A.; Styrov, A.V.; Smagin, K.V.; Rudenko, V.L. etc.; 27th International Symposium on Ballistics, Vol.2, 2013, 1264. ISBN: 978-160595106-5
2. Khmelnikov, E.A.; Styrov, A.V.; Smagin, K.V.; Kravchenko, N.S etc.; Defence Technology, Vol. 11, Issue 1, 2015, 56. DOI: 10.1016/j.dt.2014.09.006.
3. Belotserkovsky, O.M.; Davidov, Y.M.; Method of large particles in the gas dynamics. - М.: Nauka. Home edition of Physical and mathematical literature, 1982. – 392.
4. Tsuji, Hiroshi; Counterflow diffusions flames. 1982. Institute of Interdisciplinary Research, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Komaba, Merguro-Ku, Tokyo 153, Japan.

ТРЕНАЖЕРНАЯ БАЗА И ЕЕ РОЛЬ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

Иньшин Юрий Юрьевич

Новосибирское высшее военное командное училище,
г. Новосибирск, inshin@list.ru

Данная статья отражает вопросы использования тренажерной базы по огневой подготовке и раскрывает направления и перспективы её развития, совершенствования, а также эффективного использования для качественного обучения слушателей в военном вузе.

This article reflects the use of the training base for fire training and reveals the direction and prospects of its development, improvement, as well as effective use for quality training of students in military University.

Для обеспечения многоуровневой и качественной подготовки военных специалистов необходимо наличие современной тренажерной базы, позволяющей повысить интенсивность учебного процесса, качество усвоения материала, способствовать приобретению и совершенствованию обучаемыми навыков в действиях при вооружении.

Тренажерная база должна отвечать следующим основным требованиям [1]:

- быть адаптированной к характеру будущей деятельности выпускников;
- способствовать интенсификации процесса привития профессиональных навыков;
- обеспечивать максимальную наглядность в обучении;
- быть простой в эксплуатации и безотказной в работе.

Для развития современной тренажерной базы необходимо всесторонне изучать опыт ее применения в армиях иностранных государств.

Последние годы в вооружённых силах армий ФРГ, США и ряда других стран большое внимание уделяется разработке и внедрению групповых учебно-тренировочных средств, для подготовки экипажей бронированных машин.

На первом этапе используют специальные тренажёры для обучения одной или нескольким операциям.

На втором этапе применяют более сложные устройства, с помощью которых отрабатывается комплекс функций того или иного специалиста, а также проводится обучение выполнению отдельных боевых задач в составе экипажа и подразделения в целом.

Накопленный зарубежный опыт показывает, что при логичном и последовательном повышении сложности учебных задач, использование учебно-тренировочных средств позволяет достичь целей обучения при существенном снижении общих затрат.

Анализ состояния и развития тренажерной базы в военном вузе показал необходимость в ее модернизации и обновлении.

Наиболее целесообразным направлением в решении данной проблемы может быть оснащение высших военно-учебных заведений групповыми унифицированными тренажёрами, позволяющими обучать слушателей управлению огнем боевых машин и подразделений.

Одной из наиболее важных и эффективных форм обучения слушателей с использованием тренажеров являются практические тренировки. Проведение огневых тренировок, условно можно поделить на два этапа.

Первый этап включает в себя подготовку занятия, в ходе которого осуществляется, в том числе, подготовка тренажерной базы.

Второй этап – непосредственно проведение занятия с максимально эффективным

использованием тренажеров.

На этапе подготовки решаются следующие задачи:

- восстановление и совершенствование навыков в действиях при вооружении;
- проверка уровня готовности обучаемых к занятиям.

Для чего в часы самостоятельной работы обучаемые выполняют упражнения на электронных тренажерах, а также тренируются в действиях при вооружении боевых машин на учебных башнях.

В настоящее время на кафедре с высокой эффективностью используется электронный тренажер для стрелкового оружия и средств ближнего боя 9Ф6014 [3].

Оборудование данного тренажёра обеспечивает выполнение следующих функций:

- создание виртуальной среды, отражающей силы и средства противника и имитацию их перемещения;

- имитацию стрельбы обучаемых и поражения огнем средств противника;

В соответствии с предназначением тренажёр позволяет:

- использовать имитаторы оружия, с характеристиками боевого;
- контролировать расход боеприпасов в бою;
- имитировать ведение огня и отдачу от выстрела;
- имитировать звуки боя;
- моделировать баллистику вооружения;
- воспроизводить обстановку режимах: «Стрелковая полоса», «3D».

Однако в ходе эксплуатации тренажёра наблюдались сбои:

- отказ некоторых образцов стрелкового оружия;
- сбой в работе зарядного устройства некоторых видов оружия;
- сбои в работе программы.

Выявленные недостатки и сбои в работе электронного тренажёра после устранения специалистом (представителем изготовителя), через некоторое время повторялись вновь, что позволило предположить, что тренажёрам данного типа требуется заводская доработка.

Однако необходимо помнить, что электронные тренажёры не заменяют боевую стрельбу, а выступают вспомогательным инструментом для:

- получения первоначальных навыков правильного прицеливания и отработки плавного спуска курка;

- формирования мышечной памяти у стрелка на правильное выполнение выстрела;
- дальнейшего повышения мастерства;
- отработки навыков интуитивной стрельбы (стрельба на вскидку, не целясь);
- отработки навыков стрельбы с оружием, оснащённым лазерным целеуказателем.

Основными направлениями развития и совершенствования тренажёров является разработка и внедрение следующих показателей и возможностей:

- возможность показать на экране монитора траекторию прицеливания и точку попадания выстрела;

- возможность проводить тренировку по появляющимся, движущимся и живым мишеням с помощью лазерного тренажёра;

- повышение надёжности работы аппаратуры;

- развитие программного обеспечения с целью организации полноценной базы данных по стрелкам;

- разработка автономных лазерных тренажёров с электронной регистрацией попадания в мишень.

Опыт работы с тренажёрами показывает высокую актуальность использования их при проведении занятий по огневой подготовке. Проведенный на кафедре эксперимент по использованию электронного тренажера для стрелкового оружия и средств ближнего боя показал, что учебные группы слушателей прошедшие накануне стрельбы тренажерную подготовку, непосредственно на стрельбе, при выполнении упражнений учебных

(контрольных) стрельб, имели более высокие результаты, а процент выполнения составил – 100%.

Положительным фактором в использовании тренажёров является возможность прививать обучаемым умения и навыки в действиях при вооружении без излишнего расхода боеприпасов и моторесурса.

Каковы же пути оптимизации применения тренажерной базы:

во-первых – содержание тренажеров в рабочем состоянии, постоянное их обслуживание и ремонт;

во-вторых – разработка методик проведения занятий позволяющей оптимально использовать тренажеры с максимальным охватом обучаемых;

в-третьих – использование дополнительных тренировок в часы самостоятельной работы накануне проведения стрельб и огневых тренировок.

Тем не менее наряду с централизованной поставкой тренажеров, необходимо предусмотреть создание различных тренировочных программ и средств силами обучаемых.

Например, в военном вузе одним из направлений в реализации этого вопроса является военно-научная работа слушателей.

Таким образом, использование тренажерной и базы, способствует повышению качества проведения огневых тренировок и стрельб.

Развитие и совершенствование учебно-материальной базы, а также массовое внедрение и применение современных тренажеров позволит:

- обеспечить более качественное обучение слушателей действиям при вооружении и меткой стрельбе;

- существенно снизить расход материальных ресурсов на учебный процесс;

- создать благоприятные условия для успешного функционирования тренажёрной базы, путём подбора и обучения обслуживающего персонала (инструкторов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Учебное пособие. «Обучение стрельбе из стрелкового оружия и вооружения БМ на учебно-тренировочных средствах». - М.: Воениздат, 1990 г.

2. Сборник материалов форума. V Всероссийский форум «Технологии и средства обеспечения огневой подготовки». - Москва, 2014 г.

3. Инструкция по эксплуатации электронного тренажера 9Ф6014. – Санкт-Петербург, 2015 г.

СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ БРОНЕЖИЛЕТА

В.Ю. Лобанов, А.Н. Горев, А.С. Нечаев

**Научный руководитель: к.т.н, доцент кафедры «Радиотехнические устройства»
А.С. Нечаев**

**Самарский государственный технический университет,
г. Самара, vladislav.lv1996@gmail.com**

Цель работы заключается в создании системы автоматического регулирования температуры внутренней стороны бронежилета для комфортного его использования. Рассмотрены вопросы, касающиеся особенностей разработки системы регулирования температуры бронежилета как автономной системы. Разработана структурная схема устройства. Произведен анализ основных блоков предлагаемой системы регулирования.

The purpose of the work is to create a system of automatic temperature control of the inner side of the vest for comfortable use. Questions concerning features of development of system of regulation of temperature of bullet-proof vest as autonomous system are considered. The structural scheme of the device is developed. The analysis of the main blocks of the proposed control system is made.

В летний период времени носитель бронежилета рискует получить тепловой удар вследствие длительного ношения бронежилета. Это связано с тем, что материал из которого изготавливаются бронежилеты имеет преимущественно темную расцветку, а также бронепластины не пропускают водяных поров, что способствует интенсивному нагреву в солнечную погоду и отсутствие естественного способа охлаждения организма. К тому же, повышение температуры тела значительно сказывается на активности и внимательности носителя. Слабые стороны ношения бронежилета схематично показаны на рисунке 1.

В качестве решения подобной проблемы предлагается разработать систему способную снизить температуру внутренней поверхности бронежилета, тем самым понижая температуру тела человека во время ношения бронежилета. Система охлаждения или нагрева осуществляется на элементах Пельтье, при подачи на них электрического сигнала, одна сторона охлаждается, вторая сторона нагревается. Сами элементы охлаждают водоблок, после чего охлажденная жидкость поступает в теплоносители, находящиеся с внутренней стороны бронежилета.



Рисунок 1 – Недостатки ношения бронежилета

Получаемый эффект терморегулирования достигается за счет применения эффекта Пельтье. Данный эффект был взят за основу благодаря множеству преимуществ перед аналогами. Элемент Пельтье позволяет совмещать в одной системе функцию нагрева и охлаждения. Так же данные элементы имеют длительный срок службы до 200 000 рабочих часов, что составляет примерно 10-12 лет эксплуатации, у них не имеется специальных требований для монтажа и условий эксплуатации.

Элементы Пельтье являются высокоэффективными при должном отводе тепла с горячей стороны элемента. Основными преимуществами модулей являются:

- экологическая чистота;
- отсутствие рабочих жидкостей и газов;
- бесшумность работы;
- малый размер и вес;
- высокая надежность - среднее время наработки на отказ не менее 200 000 часов;
- возможность плавного и точного регулирования холодопроизводительности и температурного режима;
- устойчивость к механическим воздействиям;
- возможность работы в любом пространственном положении;
- легкость перехода из режима охлаждения в режим нагрева;
- отсутствие движущихся и изнашивающихся частей.

В ходе решения рассматриваемой задачи была синтезирована структурная схема системы регулирования температуры бронезилета (рис. 2).

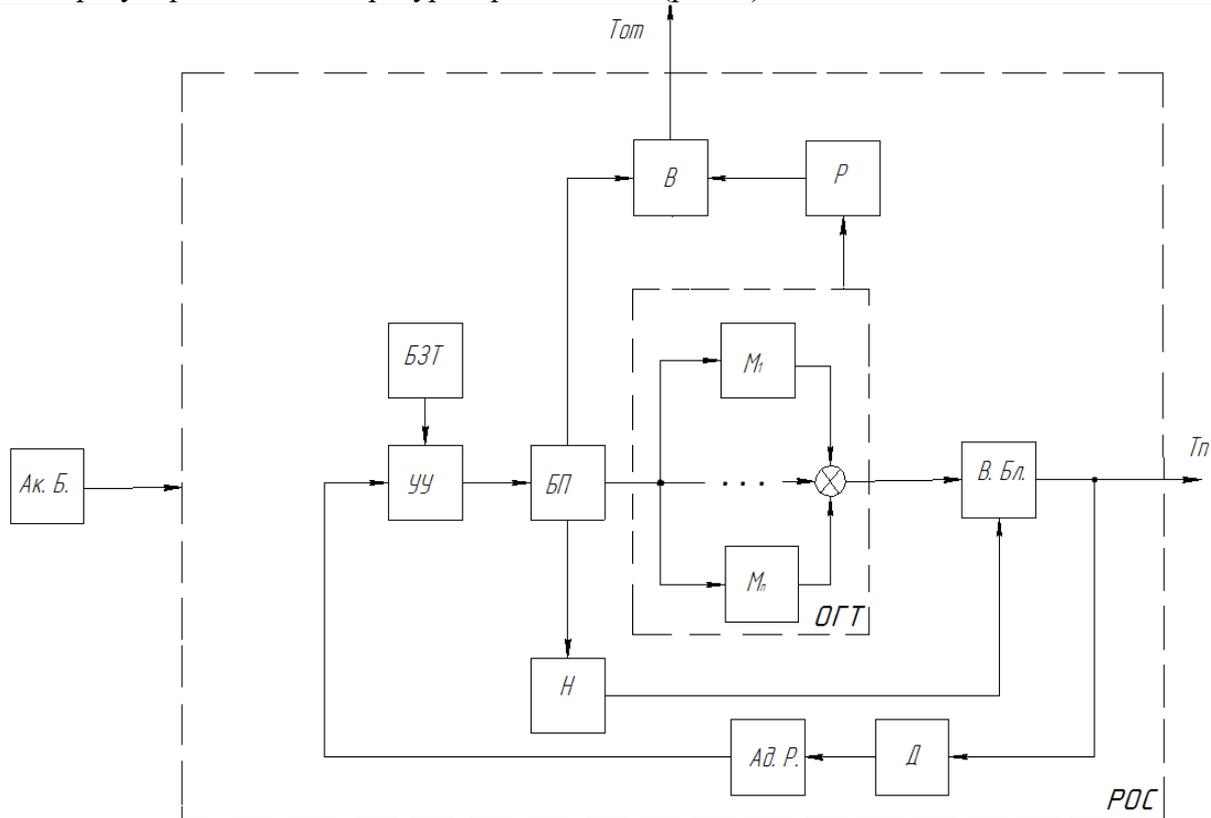


Рисунок 2 – Структурная схема системы

Система находится с внутренней стороны бронезилета и представляет собой следующую конструкцию: в нижней части бронезилета находится аккумуляторный блок (Ак.Б.) имеющий стандартное напряжение питания, составляющее 12 В, и малогабаритное управляющее устройство (УУ). С помощью элементов управления блока задания температуры (БЗТ), на панели управления носитель бронезилета устанавливает наиболее

подходящий для себя режим работы системы. Далее основную функцию выполняют термоэлектрические преобразователи (M_1, \dots, M_n), охлаждая или нагревая водяной блок (В.Бл.), из которого жидкость поступает в теплоносители расположенные с внутренней стороны бронезилета, тем самым снижая температуру тела. Количество модулей в системе зависит от модификации бронезилета. Движение жидкости по теплоносителям задает маломощный, подходящий для продолжительной и непрерывной работы, бесшумный насос (Н), например насос марки DC30A-1230 [1]. Отвод тепла от горячей стороны модуля осуществляется системой работающей на основе радиатора (Р) и мощного вентилятора (В), например марки Corsair AF120 Performance Edition [2], с задней стороны бронезилета. Охлажденная жидкость в теплоносителях снижает температуру тела.

В качестве теплоносителя была выбрана вода, она является нетоксичным и экологически чистым веществом, обладает высокой теплоемкостью, легко циркулирует, а также имеется возможность быстрой доливки в систему ввиду своей доступности. Так же в роли теплоносителя рассматривался антифриз из-за его высоких теплофизических свойств, низких показателей отложения солей и накипи, однако этиленгликоль входящий в состав большинства антифризов крайне токсичен, быстро всасывается в организм через кожу и в дыхательные пути. Так же теплоноситель на основе этиленгликоля представляет экологическую опасность.

В систему включен адаптивный регулятор (АД.Р.) позволяющий синтезировать систему управления температурного потока. Адаптивный регулятор изменяет параметры управляющего устройства в зависимости от изменения температуры внутри бронезилета, действующих на температурный датчик (Д). В качестве датчика может быть использован резистор сопротивления на основе гибкой пластины, удовлетворяющей механическим и конструктивным особенностям использования бронезилета, однако точность измерения температуры данным типом датчика довольно мала. В связи с этим нами был выбран датчик на основе термопары, обладающий большей чувствительностью к изменению температуры, а также простотой монтажа.

Система является устойчивой к механическим воздействиям и условиям внешней среды, благодаря соответствующей защите исполнительных элементов.

Область генерации температурного потока (ОГТ), входящая в рабочую область системы (РОС) построена на термоэлектрических элементах, способных генерировать как относительно низкие температуры (до 0 градусов Цельсия), так и высокие температуры (до 80 градусов Цельсия), что позволяет считать систему универсальной, а именно, позволяющей как охлаждать человека, так и согреть его.

Система предполагает 2 рабочих режима:

- Активный режим – благодаря встроенному датчику система автоматически выбирает мощность охлаждения или нагрева для поддержания комфортной температуры;
- Экстренный режим – система на максимальной мощности осуществляет охлаждение или нагрев до полной разрядки аккумуляторов.

В качестве материала водяного блока были выбраны алюминиевые сплавы имеющие ряд преимуществ:

- Высокая теплоотдача. Металл быстро нагревается и так же быстро отдает тепло в окружающую среду. Половина энергии передается через излучение, а остаток – в результате конвекции. Для этого установлены дополнительные ребра.
- Малый вес – что существенно упрощает монтажные работы.
- Низкая цена. По сравнению с биметаллическими и медными аналогами алюминиевые приборы более доступны и при этом весьма эффективны.
- Прочность. Рассчитывается на давление в 12 атмосфер.

В настоящее время была отработана система отвода тепла от горячей стороны модуля, разработана структурная схема системы, проведен анализ существующих аналогов. На данный момент, разрабатывается наиболее подходящая геометрическая форма радиатора, конструкция рабочей области системы и осуществляется подбор элементной базы

системы. Производство готовой системы планируется создать на базе производственных ресурсов заинтересованных в данном устройстве предприятий. Данная работа открывает целый ряд перспективных исследований по созданию самой разнообразной спецодежды с системой регулирования температуры.

Важной характеристикой бронежилета выступает его вес, следовательно одной из основных целей является минимизация габаритов системы, снижение веса за счет использования алюминиевых радиаторов.

Аналогом данной системы, является разработка швейцарских инженеров. В бронежилет встраиваются наполненные водой подушки, жидкость испаряется через мембраны, снижая температуру тела. Эффективность этой системы ниже, и имеет ряд недостатков: вода в подушках не только испаряется, но и имеется возможность протечки от воздействия внешнего бронированного слоя, требуется постоянная доливка жидкости в процессе эксплуатации, а так же система швейцарских инженеров не имеет функции нагрева. Последние упоминания этой системы относятся к 2012 году, так что есть основания полагать, что данная система не получила должного внимания из-за ее неэффективности [3].

Основными потребителями конечного продукта могут стать различные силовые структуры Российской Федерации (Министерство внутренних дел, Вооруженные силы, Федеральная служба безопасности, а так же частные организации: частные охранные предприятия, служба инкасации и т.п.). Для каждой структуры предусматривается различная модификация системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Насос 12 вольт циркуляционный 240 литров в час. DC30A-1230. – ООО "Юнитех" - Интернет-магазин "Автономка". Источник: <http://shzl.ru/catalog/?g=237-Nasos-12-volt-cirkuljacionnij-240-litrov-v-chas-DC30A-1230> (дата обращения: 12.12.2017).

2. 120-мм вентиляторы, часть II: 32 модели со скоростью выше 1350 об/мин. Лаборатория технологий. Источник: https://www.overclockers.ru/lab/print/60628/Test_i_obzor_chetyreh_effektivnyh_modelej_120_mm_ventilyatorov_AeroCool_Corsair_Lepa_i_NoiseBlocker.html#4 (Дата обращения: 12.01.2018).

3. Бронежилеты с системой охлаждения от ЕМРА. Источник: <https://www.gearshout.net/bronezhilet-yi-s-sistemoy-ohlazhdeniya-dlya-leta-ot-empa/> (Дата обращения 22.12.2017).

АНАЛИЗ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСОВ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ ОТ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ

Шелгинский Александр Юрьевич, Самойлов Леонид Александрович

Новосибирское высшее военное командное училище,
г. Новосибирск, lenya.samoylov.1958@mail.ru

Статья отражает вопросы решения защиты объектов бронетанкового вооружения от высокоточного оружия. Показаны пути комплексирования системы защиты объектов бронетанкового вооружения с целью эффективного их применения от высокоточного оружия

The article shows issues of development of armored items from high accuracy weapons. There are also shown the ways of complexing systems of development of armored items in the focus of protecting from high accuracy weapons.

Борьба с объектами бронетанкового вооружения (ОБТВ) является первоочередной задачей практически всех родов войск, при этом существенная, а порой и решающая роль на современном этапе отводится высокоточным боеприпасам. В связи с этим, одним из приоритетных вопросов при ведении боевых действий является решение задач подавления этих систем.

Успешное применение всех боевых возможностей ОБТВ невозможно без обеспечения достаточной защищённости. Для достижения этих целей разрабатываются и совершенствуются комплексы активной и пассивной защиты ОБТВ.

К комплексу активной защиты (КАЗ) относятся технические системы, предназначенные для силового воздействия на подлетающей к ОБТВ боеприпас с целью предотвратить его попадание в объект, или хотя бы ослабить последствия такого попадания. Эта цель достигается за счет разрушения, либо инициирования преждевременного срабатывания боевой части боеприпаса (ПТУР, снаряда, гранаты РПГ), а также в изменении кинематических параметров пенетратора (БПС, ПТУР типа LOSAT)

Добиться эффекта воздействия можно при выполнении двух условий. Во-первых, должна быть обеспечена жесткая синхронизация момента подлета атакующего боеприпаса со встречным запуском и подрывом защитного контрбоеприпаса. Во-вторых, сам уровень силового воздействия при подрыве контрбоеприпаса должен быть достаточен для достижения эффекта защиты.

Обеспечить выполнение первого условия помогает введение в состав КАЗ средств обнаружения, второго – конструкция боевой части контрбоеприпаса [1]

Первым известным серийным танковым КАЗ стал отечественный комплекс «Дрозд» [2]. Подрыв осколочной боевой части происходит на удалении 7м от танка. Сформировавшийся поток осколков повреждает атакующий боеприпас, разрушает кумулятивную воронку либо вызывает преждевременное срабатывание взрывателя боевой части. В результате совсем устраняется или хотя бы ослабляется действие кумулятивной струи.

Тот же принцип заложен в основу КАЗ «Арена», вокруг башни в кольцевом кронштейне установлены в специальных ПУ 26 контрбоеприпасов направленного действия. РЛС обнаруживает атакующий боеприпас на дальности около 50 м от ОБТВ и переходит в режим определения его траекторных параметров.

Процессор анализирует угрозу и выбирает контрбоеприпас, защищающий данный сектор атаки. При разрыве поток осколков с нижней стенки контейнера встречно сверху поражает атакующую ракету. Время от ее обнаружения до поражения не превышает 70 мс. Зона разлета осколков обеспечивает защиту не только своего, но и соседних секторов атаки, что увеличивает кратность защиты.

Примеры зарубежных разработок КАЗ могут быть упомянуты израильские комплексы Trophy фирмы Rafael и Iron Fist Active Protection фирмы IMI, европейские разработки AWISS германской фирмы Diehl Munition systems, SPATEM, французского концерна GIAT Industrie, SCUDO итальянской фирмы Oto Melara, а также американские программы опытно-конструкторских работ CIAPS, IAAPS, FCLAS

Конструктивно различаются и боеприпасы. В большинстве разработок из ПУ запускаются осколочно-фугасные гранаты, поражающие ракету осколками (Trophy, SPATEM, CARD). В отличие от них разработчиками КАЗ Iron Fist выбран способ безосколочного фугасного воздействия на снаряд, а в КАЗ SICM применена схема картечного выстрела, когда из ствола ПУ навстречу ракете выбрасывается поток из 55 стальных шаров. В состав КАЗ Quick Kill входит контейнер с установленными вертикально ракетами. После старта они совершают разворот в воздухе и при подрыве атакуют ракету направленным потоком осколков.

Комплекс SLID тоже использует противоракету, совершающую маневр и снабженную собственной головкой самонаведения (ГСН) [3].

Прецизионный быстрый разворот ПУ либо маневр противоракеты перед выстрелом приводят к значительному удлинению времени цикла защиты, существенно снижают эксплуатационную надежность комплекса и соответственно усложняют задачу РЛС, требуя увеличения до сотен метров дальности регистрации атакующего боеприпаса.

КАЗ «Заслон» представляет собой автономную систему, обеспечивающую двукратную защиту части проекции машины. Для защиты лба и кормы танка достаточно установить по одному модулю, для защиты бортовой проекции нужны два модуля. Плановая проекция тоже может быть прикрыта модулем от боеприпасов, делающих перед целью «горку» (ПТУР Javelin, Hellfire). Предполагается оснащение КАЗ «Заслон» украинских танков Т-84 и Т-64БН. Была предпринята попытка оснащения польской БМП Rosomak КАЗ Szerszen-украинско-польской модификацией КАЗ «Заслон».

Аналогичная разработка ААС (Active Armour Concept) германской фирмой IBD.

Роль пассивной защиты ОБТВ играет бронированные корпуса ОБТВ. Как правило броня композитная, то есть многослойная, состоящая из нескольких материалов различной плотности. Разница в плотности применяемых материалов заставляет снаряд или ПТУР как бы «завязнуть» в броне, не позволяет пробить броню напрямую.

Также применение динамической защиты (ДЗ) позволяет значительно повысить живучесть ОБТВ. В общем виде ДЗ состоит из металлических контейнеров, содержащих элементы ДЗ и размещаемых поверх основной брони

Она позволяет снизить пробивную способность боеприпаса, посредством метания ему навстречу направленным ему навстречу зарядом металлических пластин. При попадании ПТУР в ДЗ, она своим направленным действием сбивает кумулятивную струю ПТУР – главный его поражающий фактор.

Одним из основных методов борьбы с управляемым оружием является применение пассивных средств оптико-электронного противодействия, к которым относятся: ложные цели (ЛЦ), имитирующие характерные признаки защищаемого объекта; маскирующие и экранирующие завесы для прерывания оптического информационного канала «цель – приемное устройство»; и средства маскировки для снижения визуальной и тепловой заметности цели.

Для нарушения процесса наведения на ОБТВ управляемого боеприпаса в большинстве случаев требуется жесткая синхронизация момента его подлета и действия помехи. Чтобы ее обеспечить, нужно успеть за время атаки собрать достаточную информацию о противнике, идентифицировать атакующее ПТС, (противотанковое средство) выбрать способ защиты и после этого активизировать помеховые средства. Решить такую задачу может только система, в состав которой входят приборы регистрации атаки ПТС, блок автоматического управления и комплект средств постановки помех.

Качественная оценка степени важности использования различных средств подавления показывает, что наряду со снижением оптической и тепловой заметности конструктивными мерами, применение пассивных помех в виде ЛЦ и завес является наиболее простым, дешевым и эффективным средством защиты военной техники.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности индивидуальной защиты ОБТВ является модернизация боеприпасов постановщиков помех (БПП) за счет: минимизации массогабаритных параметров; использования новых высокоэффективных составов снаряжения (в т.ч. комбинированных); разработки унифицированных конструктивных схем БПП модульного (секционного) типа, расширяющих функциональные возможности и в полной мере реализующих потенциал используемого комбинированного помехового снаряжения.

Модульный (порционный) принцип формирования помех и компоновки снаряжения в унифицированных БПП различных калибров позволяет легко варьировать видами комбинированного снаряжения и, соответственно, легко адаптировать характеристики имитационных и маскирующих помех к требованиям по защите конкретных объектов с учетом особенностей их физических полей и тактики боевого применения. [4].

В настоящее время среди пассивных средств оптико-электронное противодействие (ОЭП) широкое распространение получили средства одноразового применения (сбрасываемые или выстреливаемые). Так, например, в последние годы за рубежом поступили на вооружение такие системы как: «GALIX» (Франция) и др. В этих системах в качестве ложных тепловых целей (ЛТЦ) используется пиротехнический ИК трассер, излучающий тепловую энергию, эквивалентную излучению военной техники.

Анализ характеристик ИК излучения пиротехнических ЛТЦ показывает, что они имитируют один из главных признаков защищаемого объекта – интегральную мощность ИК излучения в заданном спектральном диапазоне (в основном, в коротковолновом), благодаря чему они достаточно успешно применялись против ТГС первого поколения. Одним из эффективных методов пассивного противодействия является целенаправленное воздействие на оптические характеристики передающей среды «цель – ОЭЛ» путем постановки дымовых завес. Этот метод является в то же время наиболее обеспеченным техническими средствами постановки в виде различных дымогенераторов, артиллерийских снарядов и мин, специальных авиационных приборов и т.д.

В настоящее время разработке дымовых и аэрозольных средств защиты ОБТВ придается все большее значение. Как считают за рубежом, главное их достоинство – универсальность применения (скрытие как подвижных, так и стационарных объектов), высокая готовность к применению и незначительная стоимость.

Одно из главных требований к перспективным дымовым маскировочным средствам – расширение их возможностей по скрытию военных объектов в более широком спектральном диапазоне. Это требование уже реализуется в ряде новых разработок. Как сообщалось в зарубежной печати, в США создана дымовая 66-мм граната М76, которая предназначена для создания помех средствам наведения оружия, работающим в визуальном и во всех ИК диапазонах.

Таким образом, анализ имеющихся средств защиты позволяет сделать вывод:

- в целом КАЗ может рассматриваться как эффективное средство, способное сорвать атаку ПТС с кумулятивными боевыми частями, несколько снизить эффективность воздействия кинетических боеприпасов. В условиях локальных конфликтов КАЗ решает задачу защиты ОБТВ от ПТРК и ПТС ближнего боя;

- в то же время, надо отметить, что КАЗ в принципе не может защитить от боеприпасов типа «ударное ядро», срабатывание которых происходит на удалении более 50м от ОБТВ, а само ядро мало подвержено встречному защитному воздействию;

- по мнению зарубежных специалистов, дальнейшее развитие разведывательных систем приведет к расширению используемого ими электромагнитного диапазона. Поэтому перспективные дымовые средства должны быть многоспектральными, для них потребуются отработка новых способов и тактики применения;

- последнее десятилетие активная и пассивная защита становится обязательным элементом оснащения ОБТВ;

- задача сохранения боевых качеств отечественных ОБТВ, как основы сухопутных войск, может быть успешно решена только при условии понимания необходимости комплексного совершенствования индивидуальных и групповых систем их защиты;

- высокотехнологичные способы комплексирования систем защиты ОБТВ органично дополняют боевую информационно-управляющую систему и являются обязательным, а в ряде случаев и единственно возможным, ответом на разработку ПТС нового поколения.

- с точки зрения размещения все перечисленные виды защиты являются конкурентными из-за ограничений по массе и энергопотреблению, а также противоречивости требований совместной компоновки на ОБТВ. [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 Гуменюк Г.А., Евдокимов В.И., Андрущенко М.С. Неконтактная защита боевой техники // С-П. 2009 С.148

2. Танки. Минск: Попурри, 2000.С 410

3.Активная защита SLID БТВТ в XXI веке,2007. Ресурс Internet/ Код доступа: <http://btvt.narod.ru/3/slid/htm>

4. Вестник Академии военных наук, №3 (24), – М.2008, С.110

5. Самойлов Л.А. «Комплексирование способов защиты объектов бронетанковой техники от высокоточного оружия» // Труды XVII Всероссийской научно-технической конференции г. Новосибирск, 20-22 апреля 2016г. «Наука, Промышленность, Оборона». С.135

ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЯ

Сафронов Сергей Васильевич

Новосибирское высшее военное командное училище
г. Новосибирск, safronowS@mail.ru

Данная статья отражает внимания вопросам оценки дизелей по комплексным показателям выбросов вредных веществ с отработавшими газами на основании стендовых испытаний и возможность форсирования дизеля.

This article reflects the attention to the assessment of diesel engines for complex indicators of emissions of harmful substances with exhaust gases on the basis of bench tests and the possibility of forcing diesel.

В научно-технической литературе не уделено достаточного внимания вопросам оценки дизелей по комплексным показателям, таким как удельный приведенный нормообъем, критерий техногенной нагрузки. Обычно авторы ограничиваются или фактическими выбросами вредных веществ с отработавшими газами или показателями удельных выбросов, позволяющими производить только оценки соответствия установленным нормам. Такие вопросы рассмотрены в целом ряде работ отечественных и зарубежных авторов.

Вместе с тем, сведения, приводимые авторами разрознены, экспериментальные данные получены при различных регулировках, на различных двигателях, имеющих различные виды комплектации, в различных условиях окружающей среды. Для однозначной оценки мощностных и экологических показателей все испытания проведены с соблюдением требований стандартов в целях получения исходных данных для дальнейшего исследования на одном двигателе. Это дало возможность рассматривать не только возможности форсирования дизеля, но и последствия воздействия форсирования на экологические показатели и корректирование последних.

Для получения сравнительных данных были обработаны результаты испытаний, включающие измерения по ГОСТ Р 41.49-2003 и ГОСТ Р 41.24-2003 дымности отработавших газов и выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Дизель был собран согласно общим техническим условиям предприятия изготовителя. Методы испытаний соответствовали ГОСТ Р 41.83-99 для дизелей. Точность измерения контролируемых параметров соответствовали стандартам.

Результаты определения характеристик выбросов вредных веществ с отработавшими газами по 13-режимному циклу получены при испытании дизеля 8ЧН 12/13, оборудованного измерительной аппаратурой. Режимы по испытанному циклу имитировались путем установки частоты вращения коленчатого вала и измерения нагрузки тормозным устройством с корректировкой топливоподачи дизеля, отрегулированного на номинальную мощность 235 кВт при 2200 мин⁻¹, и имеющего удельный расход топлива 204 г/(кВт·ч).

Стенд оборудован согласно ГОСТ 21393-75, ГОСТ Р 41.49-2003, ГОСТ Р 41.24-2003. В результате проведения испытаний были установлены обобщенные закономерности изменения параметров дизеля по удельному эффективному расходу топлива и уровнем вредных выбросов. Создаваемое разрежение имитировалось за счет изменения положения заслонки, установленной в системе впуска, и контролировались по показателям пьезометра.

При этом максимальное разрежение на впуске составляло $\Delta P_{ВП} = 7$ кПа, на выпуске после турбокомпрессора поддерживалось $P_{ВП} = 10$ кПа, при частоте вращения 2200 мин⁻¹. Угол опережения подачи составляет $\theta = 31$ град, п.к.в. до ВМТ при регулировке по топливному насосу высокого давления модели 33720.03 ЯЗДА. Присадка в топливо не

добавлялась. Форсунки модели 27350 были отрегулированы на давление начала впрыска 23,34 МПа. Температуры охлаждающей жидкости и масла поддерживались соответственно $t_{охл} = 90 \pm 2^\circ\text{C}$, $t_M = 90 \pm 2^\circ\text{C}$.

Испытания проведены на топливе по ГОСТ 305-82 Л-0,2-40; использовалось масло Уфалюб ХД Экстра 15W 40. Условия испытаний были следующими: температура окружающей среды в боксе $T_0 = 295 \dots 298 \text{ K}$, атмосферное давление $B_0 = 757 \dots 762 \text{ мм рт. столба}$, влажность воздуха $W_0 = 75 \dots 80 \%$.

При испытаниях на установившихся режимах производился отбор отработавших газов на выходе из выпускного коллектора и после нейтрализатора на анализ состава вредных веществ и твердых частиц.

Изменение мощностных, экономических и экологических параметров было проведено по внешним скоростным и нагрузочным характеристикам.

Отдельно исследовалось влияние скоростного и нагрузочного режимов на уровне вредных выбросов и мощность дизеля 8ВЧ 12/13. Исследования по 13-режимному испытательному циклу без исследований по внешней скоростной и нагрузочной характеристикам не дают конкретных ответов, позволяющих связывать особенности изменения мощностных, экономических показателей с особенностями рабочего процесса дизеля.

Поэтому, наряду с исследованиями по 13-режимному циклу, проведены исследования и по скоростным и нагрузочным режимам.

В результате испытаний дизеля по внешней скоростной характеристике в диапазоне 1200...2200 мин⁻¹ обнаружены закономерности изменения выбросов оксидов азота, углеводородов, оксида углерода и твердых частиц. Как видно из результатов исследований, при увеличении частоты вращения коленчатого вала выбросы оксидов азота возрастают и имеют максимум при $n = 2100 \text{ мин}^{-1}$. Выбросы ТЧ возрастают и достигают максимума при $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$. Характер выбросов углеводородов таков, что при $n_M = 1200 \text{ мин}^{-1}$ их уровень максимален. Выбросы СО имеют min при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$.

В результате испытаний дизеля по нагрузочной характеристике 2200 мин⁻¹ также обнаружены закономерности выбросов NO_x, СО, С_xН_y и ТЧ. Обнаружено, что выбросы оксидов азота имеют возрастающий по параболе характер, изменяются при росте эффективного давления P_e в диапазоне от 0 до 1,05 МПа возрастают с 1,51 до 6,62 г/м³. Выбросы углеводородов при росте P_e в том же диапазоне с 4,72 г/м³ до 0,45 г/м³, а выбросы оксида углерода СО снижаются с 22,3 до 2,2 г/м³ при 70-процентной нагрузке. Имеют минимум при нагрузке 70-75 %, а затем, рост до 5,1 г/м³. Выбросы твердых частиц ТЧ возрастают с 0,012 до 0,18 г/м³. При этом минимумы выбросов продуктов неполного сгорания СО, С_xН_y, ТЧ не совпадают по нагрузке с максимумом выбросов оксидов азота NO_x. Проведена оценка распределения долей вредных в общей токсичности отработавших газов. Так на долю оксида азота NO_x приходится 97,36%, оксид углерода СО - 1,92 %, углеводороды С_xН_y - 0,35 %, твердых частиц ТЧ - 0,35 %. В результате оценки сделан вывод о том, что в первую очередь при любых изменениях в рабочем процессе следует обращать внимание на снижение выбросов с отработавшими газами оксидов азота и твердых частиц.

При решении задач настоящего исследования возникает необходимость оценки уровней вредных выбросов с отработавшими газами с точки зрения выполнения требований ЕЭК ООН, определение стадии выполнения ограничений. В этих целях проведены испытания дизеля 8ЧН 12/13 по 13-режимному испытательному циклу. После этого обнаруженные уровни вредных выбросов сравнивались с требованиями стандартов ЕВРО-3, ЕВРО-4, ЕВРО-5, ЕВРО-6.

Исходя из выше сказанного можно сделать вывод о том, что есть необходимость очистки отработавших газов, например, в каталитических нейтрализаторах. Учитывая результаты математического моделирования при обогащении свежего заряда кислородом на впуске, должно произойти значительное увеличение выбросов оксидов азота. Если обратиться к данным, можно обнаружить, что и так высокие уровни выбросов оксидов азота, превышающие требования стандартов ЕВРО-6, должны повыситься и лишь усугубить проблемную ситуацию.

Данные говорят о том, что без установки каталитического нейтрализатора и сажевого фильтра (фильтра твердых частиц) уровни выбросов в данной комплектации дизеля не соответствуют требованиям нормам ЕВРО-3, ЕВРО-4, ЕВРО-5, ЕВРО-6. При этом обращают на себя внимание кратности превышения норм даже при установке систем снижения вредных выбросов в указанной в данном разделе комплектации. Так наблюдается превышение норм выбросов оксидов азота: ЕВРО-4 - в 1,16 раза, ЕВРО-5 - в 2,2 раза; ЕВРО-6 - в 10,12 раз. Превышение норм выбросов твердых частиц с отработавшими газами составляет ЕВРО-4 - в 0,85 раза, ЕВРО-5 - в 0,85 раза; ЕВРО-6 - в 1,70 раз. Повышение норм выбросов углеводородов составляет: ЕВРО-3 - в 0,99 раза; ЕВРО-4 - в 1,30 раза, ЕВРО-5 - в 2,39 раза и ЕВРО-6 - в 4,61 раза. Превышение норм выбросов оксида углерода составляет: ЕВРО-3 - 1,87 раз; ЕВРО-4 - 4,90 раза, ЕВРО-5 - в 4,90 раза и ЕВРО-6 - 4,90 разов.

Такое состояние уровней вредных выбросов с отработавшими газами не дает возможности двигателю 8ЧН 12/13 в штатной комплектации быть конкурентоспособным на мировом рынке, а автомобилям с этими двигателями перемещаться свободно в странах ЕЭС. Применение систем впрыска «Common Rail» не дают полного эффекта по снижению вредных выбросов вредных веществ до уровней требований ЕВРО-6 и потребует дополнительной очистки отработавших газов в каталитических нейтрализаторах.

В результате анализа результатов выполненных работ, можно сделать следующие выводы:

1. Выявлено, что уровни вредных выбросов с отработавшими газами дизелей превышают требования стандарта ЕВРО-6;

2. Обнаружено, что в общей токсичности отработавших газов дизеля на отдельные нормируемые компоненты приходится: на долю NO_x - 98,33 %; на долю СО - 0,24 %; на долю углеводородов - 0,99 %; на долю твердых частиц - 0,17 %;

3. Определено, что изменение регулировки установочного угла опережения начала подачи топлива 27 до 35° п.к.в. до ВМТ приводит к изменению расхода топлива за цикл испытаний с 52,35 до 49,95 кг/цикл с минимумом при $\theta=31^\circ$ п.к.в. до ВМТ равном 47,94 кг/цикл;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новоселов, А.Л. Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов / А.Л. Новоселов, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов. - Новосибирск: Наука, 2002. - 96 с.

2. Мельберт, А.А. Повышение экологической безопасности поршневых двигателей. - Новосибирск: Наука, 2003. - 170 с.

НАУЧНЫЕ СПОСОБЫ КОРРЕКТИРОВКИ ДВИЖЕНИЯ СНАРЯДА

Серая Александра Александровна

Научный руководитель: Милевский Константин Евгеньевич к.т.н доцент

Новосибирский государственный технический университет

г. Новосибирск, seraya.2016@stud.nstu.ru

Поражающая способность осколочно-фугасных снарядов (ОФС) зависит от соотношения калибра орудия и бронирования цели. Так, снаряды калибром 50 мм и менее эффективны против самолетов и автомобильного транспорта, 75-85 мм — легких танков с противопульным бронированием, 122 мм - средних танков, таких как Т-34, 152 мм - всех видов бронированной техники.

Наносимые повреждения существенно зависят от удаленности цели до точки падения, поэтому даже на незначительной удаленности снаряд калибром 122—152 мм наносит весьма несущественные повреждения.

В работе обсуждается вопрос о корректировке движения снарядов класса ОФС.

The damaging ability of high-explosive fragmentation shells (OPS) depends on the ratio of the caliber of the gun and the reservation of the target. Thus, shells caliber of 50 mm and less effective against aircraft and road transport, 75-85 mm - light tanks with anti-bullet armor, 122 mm-medium tanks, such as T-34, 152 mm-all types of armored vehicles.

The damage caused essentially depends on the remoteness of the target to the point of incidence, so even at a small distance the projectile with a caliber of 122-152 mm inflicts very insignificant damages.

The paper discusses the issue of correcting the movement of shells of the class OFS.

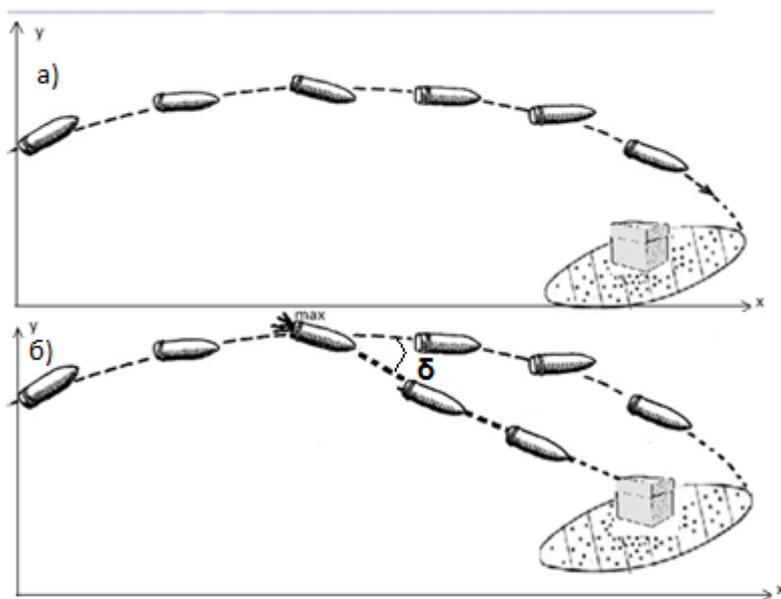
Существует большой спектр осколочно-фугасных снарядов. Для повышения точность стрельбы по направлению используются различные способы коррекции. Полученный результат достигается за счет усложнения конструкции снаряда, условий стрельбы, а отсюда следует увеличение стоимости на данный способ оснащения снарядов. Увеличение дальности полета снаряда влечет за собой увеличение эллипса рассеивания. А это та проблема, которую необходимо решать.

В данной работе используются научные подходы, основанные на импульсной и коррекции лазерным дальномером-целеуказателем, и предлагаются методы дистанционнозондированной импульсной коррекции.

Научные подходы импульсной и коррекции лазерным дальномером-целеуказателем корректировки повлекли за собой существенные изменения конструкции снаряда от изменения геометрических параметров самого корпуса, сборочных единиц, камеры, что и привело к изменению условий при стрельбе, хранении и транспортировке.

В предлагаемом подходе - дистанционнозондированной импульсной коррекции, ставиться задача, не изменяя условий заряжания, условий стрельбы, таблиц стрельб и тд., то есть использовать существующие и отработанные требования и условия проведения стрельб, разработать конструкцию снаряда, обеспечивающую коррекцию движения, то есть увеличение точности попадания в цель независимо от дальности.

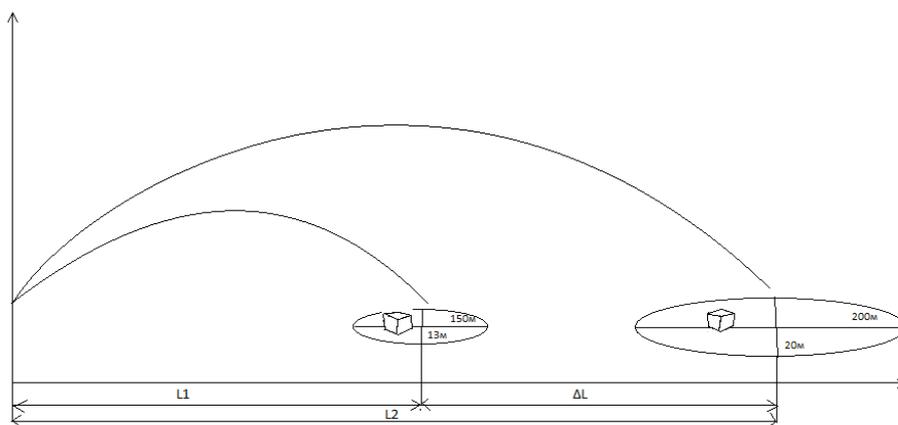
Предлагаемый подход состоит в том, что при выстреле снаряд движется по заданной траектории, которая создается углом бросания и давлением пороховых газов в корпусе ствола рис.а) В момент вылета снаряда, за счет технологических конструктивных погрешностей, снаряд начинает отклоняться от предполагаемой траектории, чем дальше находится цель, тем сильнее погрешность. Для способа удаления погрешности он сканирует участок земли, получает сигнал от цели о ее местоположении (координаты), продолжает движение и когда достигает максимальной верхней точки, производит коррекцию траектории (в этой точке скорость минимальна). Он имеет свою начальную траекторию и требуемую траекторию для поражения цели, в воздухе происходит коррекция его полета на полученную дельту δ (угол разницы между требуемой и имеющейся траекториями) рис.б). Вследствие этого уменьшается рассеивание и повышается кучность стрельбы.



а) Классическое движение снаряда

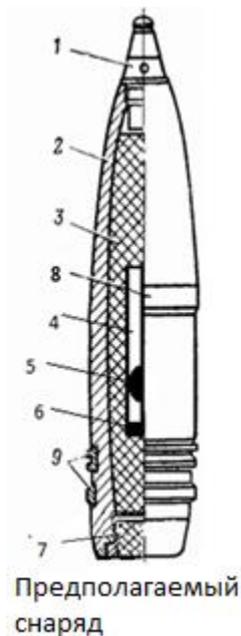
б) Изменённое движение снаряда

Второй способ состоит в том, что используем штатный снаряд на максимальных расстояниях и пытаемся повысить точность в его эллипсе рассеивания. Он может упасть на эллипс очень большой площадью и тогда поражающее действие минимально рис.3.



Зависимость эллипса рассеивания от дальности расположения цели

Чтобы увеличить точность необходимо увеличить кол-во снарядов, что не особо экономично. И тогда, поставленная перед нами задача это повышение точности стрельбы снарядов используемых на максимальной дальности.



Предполагаемый снаряд

Предполагаемое устройство рис.4. содержит 1-взрыватель, 2-корпус, 3-разрывной заряд, 9-ведущие пояски, 8-центрирующие утолщение, так же содержит в центре 4-колбу, внутри которой помещены 5-стальной шарик и 6-магнит, а так же 7-взрыватель.

Коррекция происходит следующим образом: после определения новой траектории, активируется 6-магнит, который приводит в движение 5-шарик, он смещается в 4-колбе на определенное расстояние, которое измеряет датчик, для нужного нам смещения на угол дельта снаряда в воздухе, происходит смещение центра масс. Идет нутац-прецессионное движение. Снаряд наклоняется и под нужным углом происходит взрыв 7-взрывателя в донной части снаряда, который и задает окончательное направление снаряда.

Вывод

Техническим результатом является создание снаряда, обеспечивающего улучшение точности попадания в цель на любых расстояния и как следствие, повышение кучности стрельбы, за счет то, что содержит в центре колбу, внутри которой помещены стальной шарик и магнит, что помогает шарикуну перемещаться и менять цент масс снаряда, а так же дополнительный взрыватель, который повышает скорость и задает точное попадание в цель на любых расстояниях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов-. Учебник. -Новосибирск: Изд-во НГТУ. - 2004. - 408 с. - (Серия «Учебники НГТУ»).
2. Боеприпасы : учебник : в 2 т. / под общей ред. В.В. Селиванова. – Б75 Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
3. Высокоэнергетические материалы: учебное пособие / В.В. Андреев, А.В. Гуськов, Е.Ю. Слесарева. – Новосибирск: Изд-то НГТУ, 2013. -326 с. – (Серия «Учебники НГТУ»).
4. Гуськов А. В. Внешняя баллистика : учеб. пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, А. В. Сотенко . - 2-е изд. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. - 188 с.
5. Соболев В.В. Технология и безопасность выполнения взрывных работ (краткий курс лекций): Учебник. – Д.: Национальный горный университет, 2008. – 164 с.

БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СТОЙКОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ БЫСТРОЛЕТЯЩЕГО ОСКОЛКА НА ШТАТНЫЕ И ФОРМОВАННЫЕ ПРОКАТКОЙ ЗАРЯДЫ

Ткаченко Екатерина Витальевна, Попов Александр Геннадьевич,
Нурмухаметов Андрей Тагирович, Рогожин Павел Викторович

Самарский Государственный Технический Университет,
г. Самара, Fastex2@yandex.ru

В работе представлено описание баллистического гладкоствольного артиллерийского ствола калибром 20 мм и длиной 3 метра 85 см для испытаний изделий с взрывчатыми материалами на параметры их эксплуатационной безопасности. Баллистическая установка способна разгонять метаемый элемент до скоростей, регламентированных системой STANAG 4496.

The paper presents a description of the ballistic smoothbore artillery barrel caliber of 20 mm and a length of 3 meters 85 cm for testing products with explosive materials on the parameters of their operational safety. The ballistic unit is able to accelerate the thrown element to speeds regulated by the STANAG 4496 system.

Отечественные боеприпасы испытываются на соответствие требованиям стандартов, разработанных в 1973 - 1981 г.г. В этих стандартах отражено понимание проблемы безопасности и уязвимости БП в конце 60-х годов прошлого века. Наиболее полный набор испытаний БП предусмотрен ОСТ В 84-756-73, который касается тестирования минно-подводного оружия (МПО) на безопасность в обращении и надежность функционирования.

Испытания для боеприпасов предусматривают подтверждение, в первую очередь, основания безопасной эксплуатации боеприпасов в условиях вероятных и потенциальных угроз.

Имеется в виду нагрев, воздействие быстролетающего осколка, кумулятивной струи и т.д. Все это привело к появлению нового класса боеприпасов – «боеприпасы пониженного риска» (БПР) или боеприпасов, стойких к опасным внешним воздействиям (БПСВВ) [1, 2].

Система STANAG 4496 регламентирует проведение испытаний при воздействии быстролетающего осколка на изделие с ВВ при массе метаемого стального осколка. 18,6 г и скорости его метания 1830 ± 60 м/с и 2530 ± 90 м/с [3-5].

Данные испытания проводят страны ООН и НАТО. В качестве метаемых объектов используют металлические массой 18,6 г с ведущим пояском, например из фторопласта.

В Самарском государственном техническом университете на кафедре ТТХВ разработана конструкция гладкоствольной артиллерийской установки калибром 20 мм с длиной ствола 3850 мм, со скоростями разгона метаемого фрагмента 1850 ± 50 – 2500 ± 50 м/с. Измерение скорости полета метаемого объекта осуществляется с помощью контактных датчиков на замыкание. В качестве систем измерения используются частотомеры, баллистический хронометр РУШ-МП и высокоскоростная цифровая камера.

За основу была взята пушка НН-30, длина которой была увеличена до 3850 мм. Общий вид баллистического стенда показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Баллистический стенд

Во внутрь нарезного ствола калибром 30 мм были установлены 19 вкладышей с внутренним отверстием диаметром 20 мм. Вкладыши плотно притягивались друг к другу, и затем ствол обрабатывался разверткой. Метаемый объект по массе и размерам соответствовал требованиям системы STANAG 4496. Затвор и система воспламенения показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Система инициирования

Два баллистических ствола калибром 30 мм были соединены специальной муфтой, в результате чего общая длина модернизированного ствола составила 3850 мм. Баллистический ствол, снабжен системой вакуумирования, показанной на рисунке 3.



Рисунок 3 – Система вакуумирования ствола

Таких стволов было изготовлено в количестве двух штук – один стационарный, другой – передвижной (для проведения испытаний на натуральных изделиях калибром от 85 до 152 мм в полевых условиях).

Таким образом, на кафедре ТТХВ СамГТУ изготовлена баллистическая установка, способная проводить испытания на воздействие быстролетящим осколком при скоростях соударения, регламентированных системой STANAG 4496.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Peter, R. Intensitive Munitions: Background and Technjlogy / R.Peter// Military Technology. – 1999. - №9/99/ - P. 49-60.
2. НИМИ для ВМФ России. Состояние и основные направления развития боеприпасной морской артиллерии [Электронный ресурс]// Журнал «Национальная оборона». - 2017. №9. – Режим доступа: <http://www.nationaldefense.ru/includes/periodics/defense/2013/0617/105611011/detail.shtml>. – (Дата обращения 14.12.2017)
3. Ernest L. Baker, Nausheen Al-Shehab , Ken Tomasello , Koby Kennison, David Hunter. Fragment Impact Gun Testing Technology and Issues / L. Ernest // Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium Rome, Italy 18-21 May 2015. – 7 p.
- 4 Emmanuel Schultz. An international review of the STANAG 4496, Fragment Impact Test / E. Schultz // Munitions Safety Information Analysis Center, NATO HQ, Brussels, Belgium, 2015 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium (IMEMTS) 18-21 May 2015, Rome, Italy. – 26 p.
5. STANAG 4496 Ed. 1 Fragment Impact, Munitions Test Procedure.

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ

**Я.В. Тюрин, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова,
К.В. Смагин, С.Ф. Дубинина, М.Ю. Семашко**

**Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина,
г. Нижний Тагил, khmelnikov7@gmail.com**

Разработан и проанализирован ряд вариантов конструкций радиопрозрачных боеприпасов (БП) с заменой материалов корпуса на композитные материалы. Проанализированы прочностные характеристики радиопрозрачных боеприпасов на основе решения задач внутренней и внешней баллистики в двумерной и пространственной постановке.

A number of variants of designs of radio-transparent ammunition were developed and analyzed with replacement of the shell materials with composite materials. Strength characteristics of radio-transparent ammunition are analyzed by setting up two-dimensional and three-dimensional problems of internal and external ballistics.

В настоящее время большая часть бронированной техники обеспечена активной защитой. В общем случае активная защита представляет собой систему, состоящую из разнесенных по периметру машины модулей, каждый из которых обладает собственной радиолокационной станцией (РЛС). РЛС обнаруживает подлетающий снаряд, после чего происходит разрушение его путем выстрела соответствующим противозарядом.

Существующие на данный момент боеприпасы никак не защищены от комплексов активной защиты, поскольку не обладают достаточной защитой от обнаружения РЛС. Была поставлена цель разработать и проанализировать ряд вариантов конструкций радиопрозрачных БП с заменой материала корпуса на радиопрозрачные.

Боеприпас решено было разрабатывать для артиллерийской системы калибра 57 мм. За основу берётся 57 мм унитарный боеприпас УОР-281У.

Для обеспечения радиопрозрачности боеприпасов необходимо использование композиционных материалов, наиболее подходящими из которых являются: базальтовое волокно, стекловолокно, углеродное волокно. Исходя из анализа (табл. 1), лучшими свойствами обладает базальтовое волокно, так как оно имеет наибольшую температуру плавления и прочность. Так же производство базальтового непрерывного волокна значительно дешевле других рассматриваемых материалов.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика волокон

Характеристики	Углеволокно	Стекловолокно	БНВ
Предел прочности при растяжении, ГПа	3,5	4,6	5,5
Модуль упругости при растяжении, ГПа	400	86	200
Плотность, 10 ³ кг/м ³	1,9	2,5	2,66
Температуростойкость, °С	600-700	500	800

Следующим этапом работы стала разработка конструкций БП в полимерном корпусе, на основе штатных 57-мм снарядов. Толщина стенок корпуса выбиралась при эскизном проектировании ориентировочно, так как нужно сохранить возможность размещения в

корпусе готовых поражающих элементов, залитых в компаунде. Наличие в конструкции внутренней осколочной рубашки способствует повышению прочности корпуса, испытывающего нагрузки, возникающие при движении боеприпаса по каналу ствола. При этом необходимо сохранить могущество боеприпаса для получения заданного поражающего осколочного действия.

«Южно-Уральским государственным университетом» был предложен вариант конструкции БП (рис.1). Конструкция состоит из корпуса, изготовленного из стекловолокна, базальтового непрерывного волокна или углеволокна. В корпус вкладывается рубашка, состоящая из шариков, изготовленных из алюмооксидной нанокерамики с наполнением компаундной смолы и стандартного взрывателя, выполненного в металлической оболочке.

К сожалению, прочностные, внешне- и внутрибаллистические расчеты показывают, что данная конструкция не проходит испытание на прочность и не обладает устойчивостью на полете, поэтому в качестве рассматриваемых расчетных моделей был предложен ряд модернизированных вариантов.

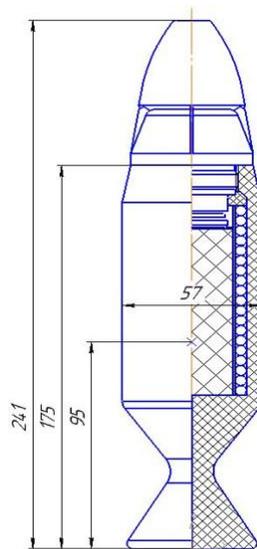


Рисунок 1. Конструкция радиопрозрачного боеприпаса, предложенного ФГАОУ ВО «ЮУрГУ».

Первый вариант: классическая компоновка с утолщённым дном, ГПЭ и ведущим устройством из материала корпуса (рис. 2а).

Второй вариант: отличается от предыдущего лишь гребенчатой формой ведущего устройства (рис. 2б).

Третий вариант: предложена конструкция с запрессованным ведущим пояском из поликарбоната. Отличается от 1 и 2 вариантов более толстым дном, во избежание разрушения корпуса под ведущим устройством (рис. 2в).

Четвёртый вариант: ведущее устройство гребенчатой формы выполнено в виде лейнера по всему корпусу (рис. 2г).

Поскольку в процессе проектирования был существенно изменен вес и конструкция БП, необходимо провести расчеты внутренней баллистики для предлагаемых вариантов конструкций радиопрозрачного БП. Основная задача, которая решалась на этом этапе - подбор навески пороха для получения необходимой дульной скорости. Предварительный расчет внутрибаллистических характеристик на основе термодинамического подхода проводился в программе OZVB разработанной на кафедре Специального машиностроения (СМ). В результате выяснили, что из ряда рассмотренных порохов могут подойти: СФ033 навеской 600 грамм; ВТ навеской 600 грамм; ВТХ-10 навеской 700 грамм; 4/1 навеской 600 грамм; 5/1 навеской 500 и 600 грамм.

Для более глубокого понимания процесса решено было провести расчет с газодинамическим подходом к решению основной задачи внутренней баллистики. В качестве основного пороха был выбран порох 6/7 разной навески. Результаты расчета внутрибаллистических параметров показали, что наиболее подходящим вариантом будет навеска пороха 400 грамм.

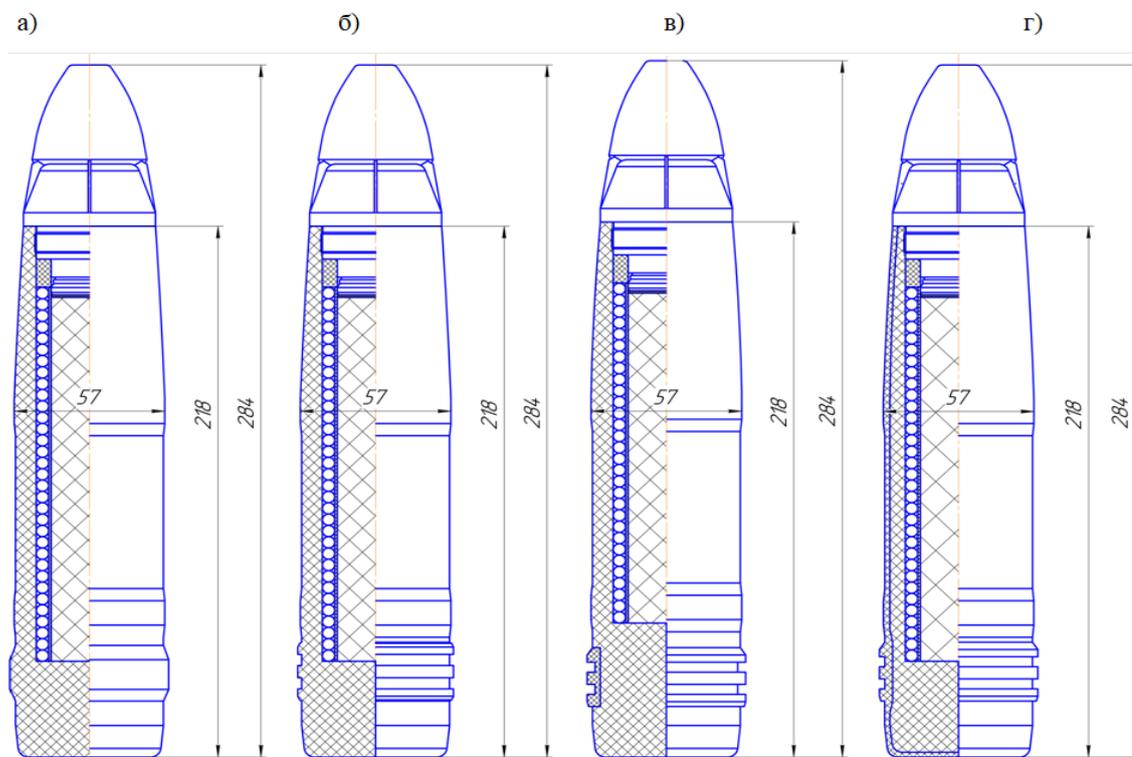


Рисунок 2. Предлагаемые варианты конструкций радиопрозрачного боеприпаса

В программе «Прочность», разработанной на кафедре СМ, были рассчитаны прочностные характеристики четырех предлагаемых конструкций боеприпаса на основе данных, полученных из кривых давлений, построенных при расчете внутрибаллистических характеристик, для навесок пороха 5/1 массой 500 грамм. По результатам расчета было установлено, что второй и четвертый вариант конструкции не выдерживают максимальных давлений, что приводит к разрушению ВУ и донной части боеприпасов, а первый и третий варианты конструкции удовлетворяют требованиям прочности – правильно формируются нарезы, напряжения не достигают пределов текучести, за исключением отдельных мест в зоне окончания ВУ, однако величина этих, напряжений не приводит к существенным пластическим деформациям запоясковой части.

Для первого варианта конструкции предлагаемого БП был проведен расчет внешнебаллистических характеристик. На дальности 4 000 метров будет иметь боковое отклонение 1,5 метром, а при предполагаемой прицельной дальности 6000 метров снаряд имеет боковое отклонение не более 4 метров (рис. 3).

Выводы:

1. Рассмотрен вариант конструкции радиопрозрачного БП «Южно-Уральского государственного университета». Прочностные и внешне баллистические расчеты которого показывают, что конструкция не выдерживает расчета прочности и устойчивости на полете.

2. Из 4 предложенных вариантов конституций лучшим вариантом с точки зрения прочности корпуса является 1 вариант конструкции.

Представленная работа носит начальный характер и будет иметь дальнейшее развитие в будущем.

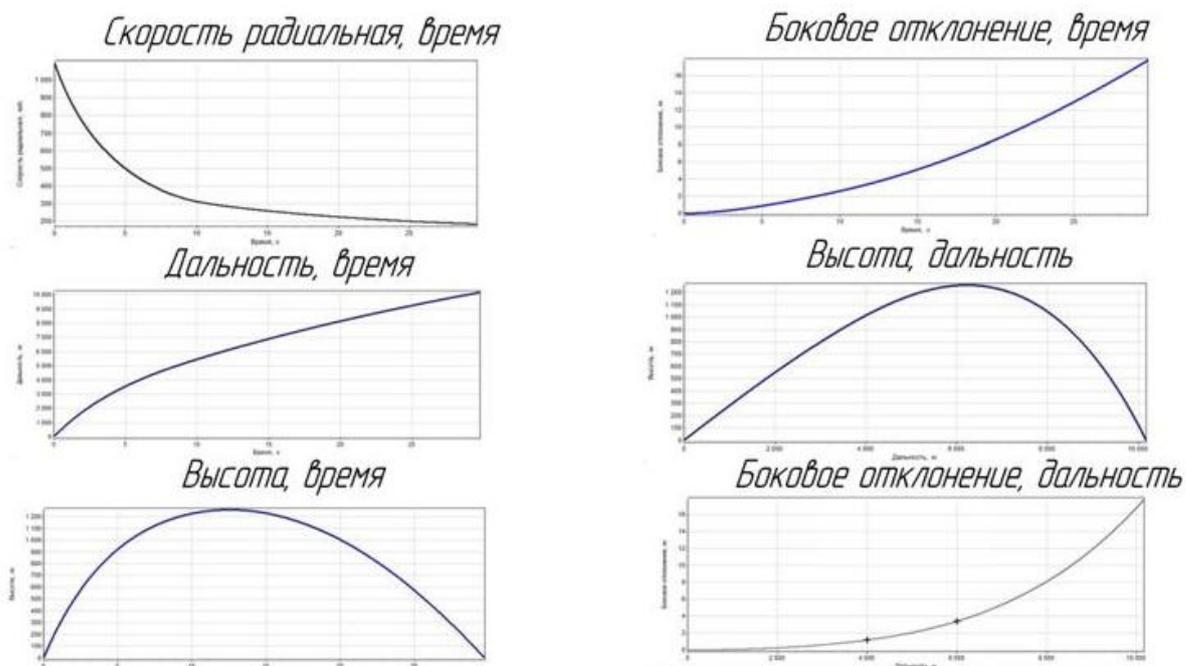


Рисунок 3. Расчет внешнебаллистических характеристик первого варианта конструкции предлагаемого радиопрозрачного БП

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Л. Баранов, В.Л. Руденко, В.И. Фалалеев, А.Е. Чванов, С.А. Швецов. Защита танков: анализ, ретро- и перспектива. Монография. Нижний Тагил – Тула: Гриф и К, 2011. – 190 с.
2. М. С Хребтова, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский. Новый тип ведущего пояска// Наука. Промышленность. Оборона: материалы XVII Всероссийской науч.-техн. конф., – Новосибирск: НГТУ, 2016. – С. 101-106.
3. Патент 157197 Россия, МПК F42В14/02. Оpubл. 27.11.15 (Авторы Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М.С.)
4. Е.А. Хмельников, А.В. Стыров. Решение основной задачи внутренней баллистики: Учеб. пособие по курсу «основы баллистики и аэродинамики». Нижний Тагил: ФКП «НТИИМ», 2017. 122с.
5. Баллистика ствольных систем/ РАРАН; В.В.Бурлов и др.; под ред. Л.Н.Лысенко и А.М. Липанова; редкол. серии: В.П.Киреев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.: ил. (Справ. б-ка разработчика-исследователя).
6. Суфиянов В.Г. «Решение задачи комплексного моделирования артиллерийского выстрела с применением визуальных технологий для проектирования и отработки артиллерийских систем»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.13.01, 05.13.18; защищена: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», Ижевск, 2017. – 315 с.
7. Правдин В.М., Шанин А.П. Баллистика неуправляемых летательных аппаратов. Снежинск, издательство РФЯЦ-ВНИИТФ, 1999. – 496с.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПУАНСОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИЛЬЗ

Е. А. Уванова, М.И. Уванов
Научный руководитель: А. В. Гуськов

**Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ignatovskya.2012@corp.nstu.ru**

В материалах работы обсуждается проблема износа формообразующего инструмента, возникающая при массовом производстве тонкостенных фасонных полых деталей – "гильз", ранее рассчитанного срока службы. Особенностью массового производства является изготовление однотипной продукции с низкой себестоимостью в больших объемах в течение длительного времени. Износ формообразующего инструмента листовой штамповки представляет собой изменение геометрических размеров, шероховатости, образование сколов и трещин. Все это ведет либо к браку продукции, либо к простоям производства, и, следовательно, к экономическим потерям. Для определения самых уязвимых мест инструмента проведен анализ напряжений в пуансоне, возникающих при протяжке гильзы через матрицы.

In the materials of the work is discussed the problem of wear of the forming tool, which arises in the mass production of thin-walled shaped hollow parts - "sleeves", previously calculated lifetime. A characteristic of mass production is the production of the same type of products with low prime cost in large volumes for a long time. Wear of the forming tool of sheet punching is a change in the geometric dimensions, roughness, the formation of chips and cracks. All this leads either to the marriage of products, or to production delays, and, consequently, to economic losses. For determining the most vulnerable places of the instrument, an analysis of the stresses in the punch that occur when the core is pushed through the matrix.

Введение

При производстве гильз существуют различные методы их изготовления, одним из которых является вытяжка с утонением. Вытяжка с утонением, относится к классу толстолистовой штамповки и представляет собой процесс формообразования полых детали преимущественно путём принудительного утонения стенки заготовки при её протягивании через одну или несколько матриц. В общей классификации способов штамповки можно выделить следующие основные способы вытяжки с утонением, применяемые в производстве:

- по форме исходной заготовки и штампуемой детали;
- по виду движения заготовки и рабочего инструмента;
- по схеме приложения дополнительных сил;
- по температурным условиям;
- по скоростным условиям;
- по условиям трения;
- по количеству матриц;
- по типу технологической оснастки и оборудования;

В патронном производстве преимущественно применяют вытяжку на прессах и инструментальных блоках, на АРЛ через одну или две матрицы из колпачков, полученных свёрткой с утонением, без их нагрева, в условиях статической и скоростной штамповки [3,4,5].

Основные требования, предъявляемые к штампу— стойкость в работе и точность. Стойкость штампа в работе определяется количеством деталей, изготовленных штампом до замены или до заточки. Пуансон считается изношенными, если он потеряли рабочие размеры настолько, что на них нельзя изготавливать детали, соответствующие

техническим условиям. Износ пуансона происходит на сложном профиле - месте перехода одной поверхности в другую. Места перехода показаны на рисунке 1.

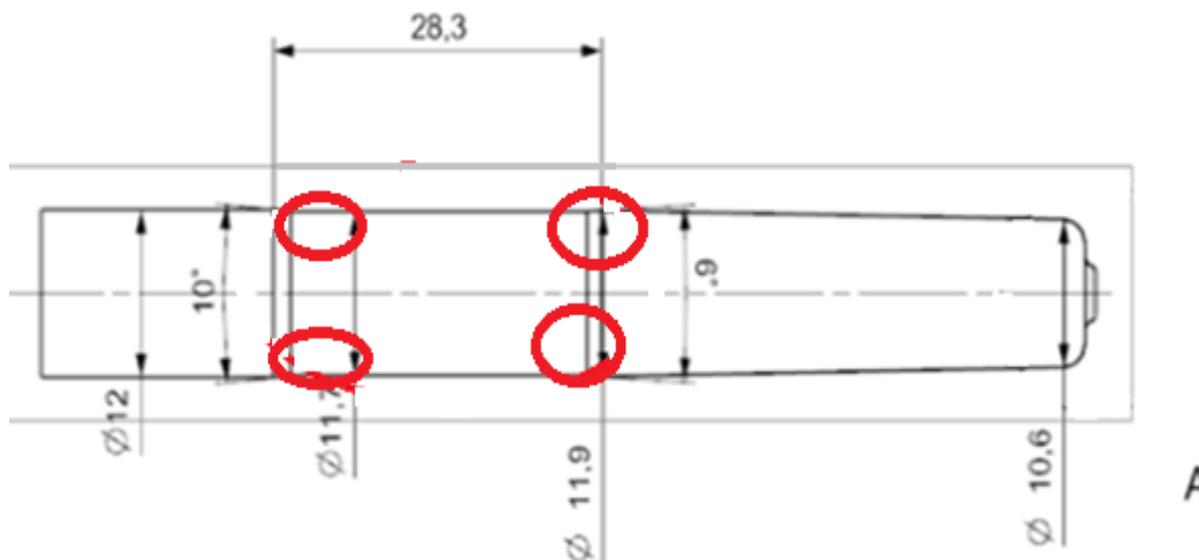


Рисунок 1. Пуансон

Стойкость штампа зависит от ряда причин: от материала пуансона гильзы, качества термической обработки, качества обработки рабочих поверхностей пуансона, точности изготовления и сборки штампа, соблюдения правил эксплуатации штампов, смазка штампа во время работы. Исходя из этого были сформированы следующие цели и задачи.

Цель:

- предложить возможные варианты модернизации пуансона.

Задачи:

- изучить материал, из которого изготавливается пуансон, а также рассмотреть аналоги;
- изучить материал, из которого изготавливаются гильзы;
- провести прочностной анализ конструкции;
- установить возможных причин поломки пуансона.

Прочностной анализ пуансона

Для решения проблемы необходимо проанализировать напряжения в пуансоне, возникающие при протяжке гильзы через матрицы. Для этого зададимся следующими исходными данными:

- материал гильзы – двойная (простая) латунь Л68, содержащая 68% меди, 32% цинка. Она является однофазной по структуре и отличается высокой пластичностью, достаточной прочностью и коррозионной стойкостью.

- материал пуансона - сталь инструментальная углеродистая сталь марки У10. Характеристики стали приведены, взяты из ГОСТ 1435-99 [1], и приведены в таблице 1. Аналогами стали У10 являются: У11, У12, У12А;

- нагрузкой действующей вдоль оси пуансона, является значение расчетного давления вытяжки и равняется, $F=50$ кН.

Таблица . Физико-механические характеристики.

Плотность ρ , кг/м ³	Предел прочности σ_B , МПа	Модуль Юнга E, ГПа	Коэффициент Пуансона ν
7810	750	210	0.28

Расчеты производились в программном комплексе ANSYS 17.2 AcademicResearch.

На рисунке 2 представлена геометрическая модель пуансона, со следующими граничными условиями: место закрепления(точка А)-жесткая заделка и место прикладываемой нагрузки F(точка В).

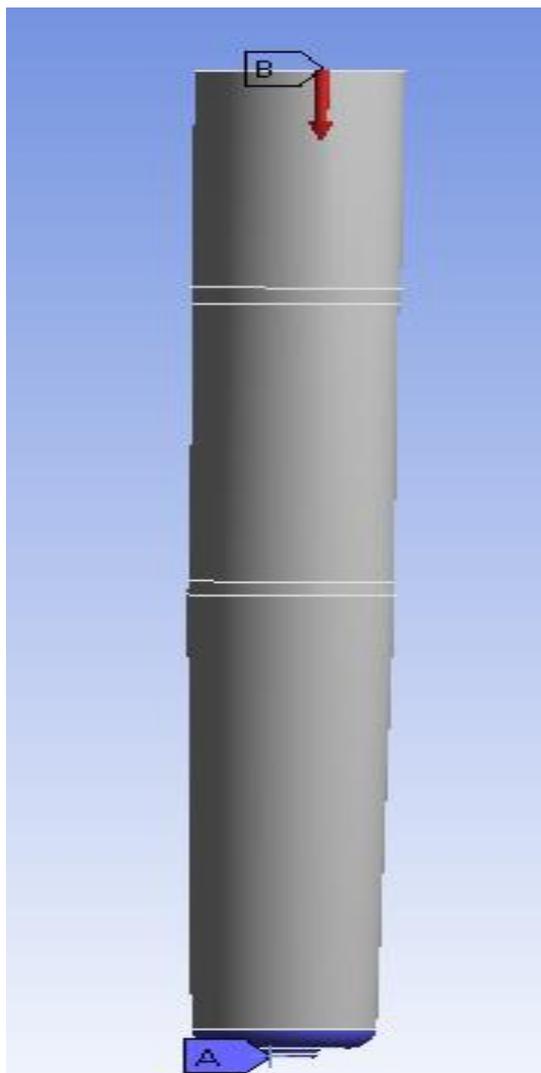


Рисунок 2. Геометрическая модель пуансона

Согласно конечному расчету (рисунок 3), напряжение в местах перехода достигает $\sigma=500$ МПа, что менее предела прочности материала $[\sigma_B]=750$ МПа [1]. Исходя из этого, коэффициент запаса прочности $n=1.5$, что менее требуемого запаса прочности $n=1.7$, согласно следующей формуле [2]:

$$n=F/\sigma_B=\frac{F \cdot S}{\sigma_B} = \frac{50 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2}{750 \cdot 10^6} = 1.7$$

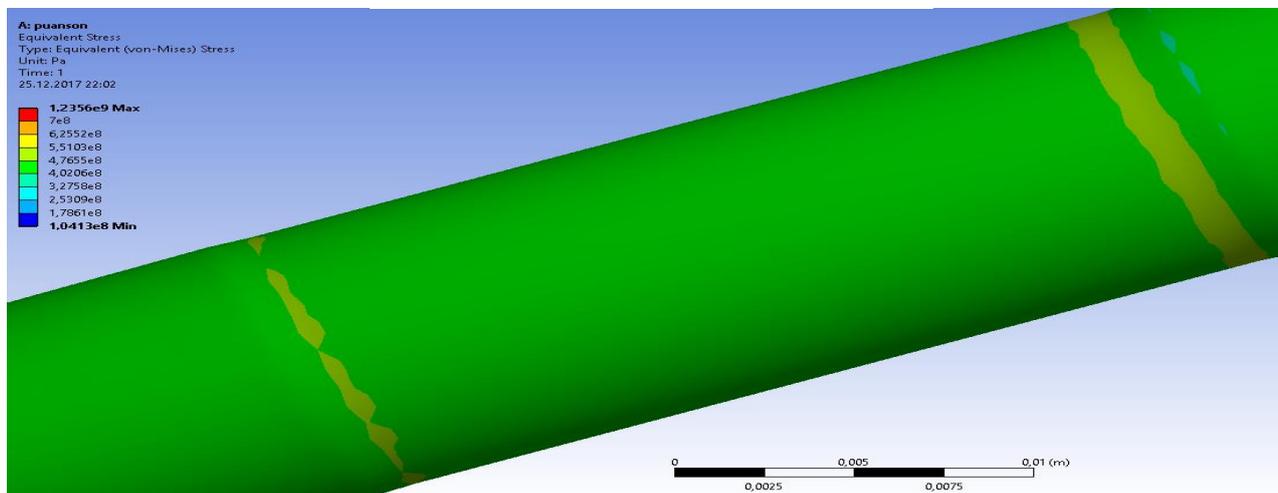


Рисунок 3. Напряжение в пуансоне по Мизесу, МПа.

Вывод

Согласно расчету, прочностные характеристики изделия необходимо повысить.

Это можно сделать, пойдя следующими путями:

- замена стали У10 на материал с более лучшими прочностными характеристиками;
- изменение конструкции пуансона.

В дальнейшем планируется провести более подробный анализ НДС пуансона с учетом внешних факторов, таких как: скорость работы, температура, трение, качество материала инструмента и штампуемого изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. ГОСТ 1435-99 Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали.
2. Сторожев М. В., Теория обработки металлов давлением: учеб. для вузов/ М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
3. Агеев, Н. П., Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч. 2. Процессы штамповки / Н. П. Агеев, Г. А. Данилин, В. П. Огородников; Балт. гос.техн. ун-т. – СПб., 2006. – 533 с.
4. Технологические процессы обработки металлов при производстве снарядов : учеб. пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский . - 2-е изд. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. - Ч. 2.
5. Теория обработки металлов давлением : учеб. пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015.

АНАЛИЗ БРОНЕВОЙ ЗАЩИТЫ ТАНКОВ

И.Д. Шадрин, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин, И.И. Вендер

**Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина,
г. Нижний Тагил, khmelnikov7@gmail.com**

В работе рассмотрена эволюция броневой защиты танков, от времени их появления и до наших дней. Приведены описание, особенности, недостатки и преимущества всех видов и типов защиты танков от различных противотанковых средств. Рассмотрены современные способы защиты танков. Показаны перспективные разработки в области защиты танков.

In this project, the evolution of armor protection of tanks was considered from the time of their appearance to our days. The description, features, disadvantages and advantages are described for all types and kinds of tank protection against various anti-tank weapons. The method of operation of various means against engagement for armored vehicles was described. Modern methods of tank protection was considered. Promising developments was shown for the field of tank protection.

Проблема «броня – снаряд» достаточно стара. Появление и бурное развитие бронебойно-подкалиберных снарядов (БПС) и кумулятивных снарядов (КС), дало толчок к качественному развитию броневой защиты. Произошёл переход от монолитной стальной брони к комбинированным броневым структурам, которые включают в себя помимо стальных броневых слоёв ряд других материалов и устройств, обеспечивающих защиту бронетехники в рамках приемлемой массы бронирования.

Бронебойные сердечники снарядов типа APFSDS (Armor Piercing Fin-stabilized Discarding Sabot) в настоящее время, и в обозримой перспективе, будут представлять для лобовой защиты танка наибольшую угрозу. Эти снаряды являются одними из самых передовых, находящихся на вооружении в странах НАТО. В последние годы бронебойно оперённые подкалиберные снаряды (БОПС) в значительной степени вытеснили из боекомплектов танков КС. Из всего спектра средств поражения танков, реальную конкуренцию БОПС могут составить только противотанковые управляемые ракеты (ПТУР) с тандемными кумулятивными боевыми частями (БЧ).

Целью работы являлось исследование истории создания и развития броневой защиты танков. Поиск перспектив её дальнейшего развития.

Основой, и начальной ступенью, при проектировании новых броневых преград и/или брони, для бронетехники, является выбор материала для них. Основу броневой стали составляют – высокопрочные стали.

По способу производства сталь подразделяется на катанную и литую.

- Катанная сталь (прокат) – это сталь, которая подвергается обработке на прокатном стане. Из-за этого её внешний слой становится твёрже, а сама она становится прочнее;

- Литая сталь – это сталь, которая отливается в формах для литья. Она менее устойчивая к воздействию снарядов чем катанная.

По принятой классификации стальная броня бывает двух видов: противопульная и противоснарядная (рис.1).

- Толщина противопульной брони, как правило, не превышает 30 мм. Она должна защищать от пуль, также от осколков снарядов, гранат и мин.

- Броня толщиной 40 мм и более, является противоснарядной, и в зависимости

от своей толщины должна служащей защитой от снаряда соответствующего калибра.

Противоснарядная стойкость в первую очередь связана с такими механическими свойствами, как прочность, упругость, вязкость, твёрдость.

Твёрдость является одним из главных параметров, определяющих сопротивление проникания средства поражения. Установлено, что наряду с высокой твёрдостью броневые стали должны обладать высокими пластичностью и вязкостью. Эти два свойства броневой стали являются основными.

Стальную броню по внутреннему строению и механическим свойствам подразделяют на два типа: гомогенную и гетерогенную. 1. Гомогенная броня – характеризуется относительной однородностью механических свойств и химического состава по толщине плит; 2. Гетерогенная броня – имеет различные механические свойства по толщине листа.

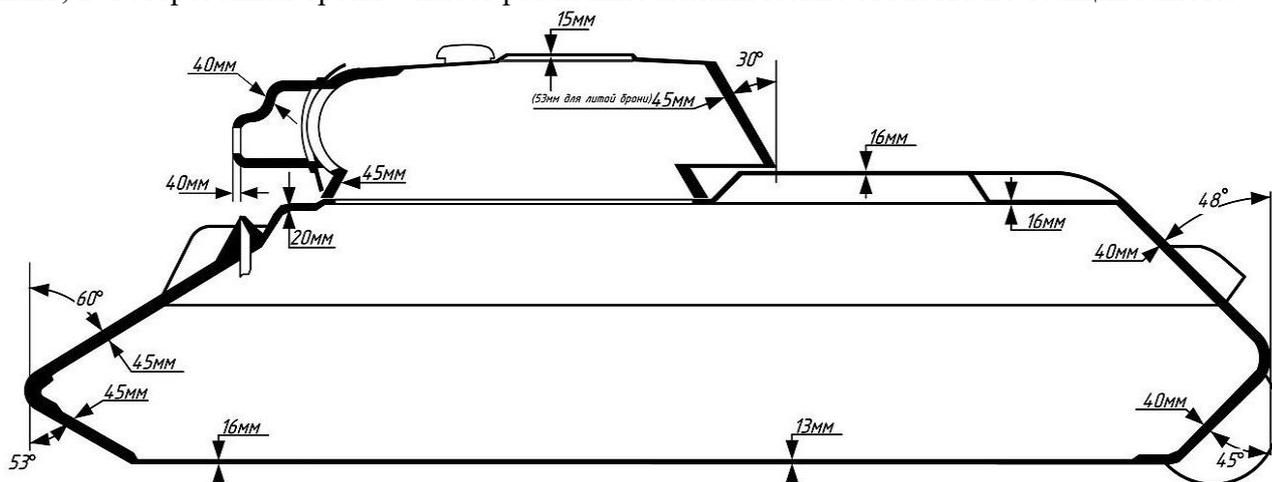


Рисунок 1. Схема бронирования танка Т-34 обр. 1940 года (главный вид)

В связи с улучшением конструкции и повышением прочности корпусов и сердечников пуль и бронебойных снарядов гетерогенная стальная броня потеряла своё преимущество по стойкости. Поэтому, основным типом современной танковой брони является стальная гомогенная броня.

Основные проблемы монолитного стального бронирования были выявлены на завершающей стадии Второй Мировой войны (ВМВ), когда бронирование танков прошло настоящее испытание. Так, к концу войны, Германия обзавелась сверхтяжёлым танком Panzerkampfwagen VIII «Maus». Он наглядно показал свою неуязвимость от любого существующего противотанкового средства (ПТС). Но полная беззащитность от воздушных атак, крайне низкие показатели мобильности, привели к полному принятию того факта, что монолитная стальная броня изжила себя. Требовалось новое средство броневой защиты техники.

Первыми разработками, призванными повысить стойкость броневых преград служили некоторые конструктивные приёмы. Одним из самых простых приёмов является придание угла наклона бронеплитам. То есть, броневые плиты получали угол отклонения от нормали. В результате этого на снаряд действуют асимметричные силы, которые могут вызвать рикошет снаряда от плиты или же при его проникании в преграду необходимо будет пробить значительно большую толщину брони. В случае, когда угол наклона брони превышает 65° , это может привести к рикошету снарядов или к их разрушению.

Первая комбинированная противоснарядная броня представляла собой комбинацию стальных плит разной твёрдости. Такой способ бронирования танков назывался – броня с твёрдым слоем. Данная броня имела форму навесных плит с твёрдым верхним слоем ($HV = 3924$ МПа), она была установлена на некоторых немецких танках времён ВМВ. Данный способ бронирования больше не используется.

Ещё одно новшество, которое было призвано для снижения бронепробиваемости кумулятивных зарядов было найдено в установке на танк, пакетов из разнесённых листов. Но, как оказалось, они также эффективно справлялись и с БОПС, типа APFSDF. Суть конструкции заключается в нескольких листах, разнесённых воздушными зазорами. Такие пакеты использовались в ряде конструкций зарубежных танков. Но впоследствии, от применения таких многослойных пакетов отказались. Это было связано с их высокой массой.

Но самым значимым прорывом в вопросе защиты танков от КС, является разработка комбинированных броневых преград. Суть комбинированной брони заключается в использовании двух или более слоёв металлических и/или неметаллических материалов. По сравнению с гомогенной стальной бронёй, комбинированная броня имеет лучшую противоккумулятивную стойкость. Первым серийным ОБТ, обладающим комбинированной бронёй был Т-64А.

Следующей ступенью защиты танка от КС явилась динамическая защита (рис. 2). Термину «динамическая защита» (ДЗ) дано следующее определение – это защитное устройство, принцип действия которого состоит в том, что направленный взрыв заряда ВВ воздействует на попавший в танк снаряд в целях резкого снижения его пробивной способности. Для установки ЭДЗ на танк и обеспечения их эффективного функционирования требуется создание специальной конструкции с соответствующими узлами её крепления к основной броне. Эту конструкцию называют комплексом динамической защиты (КДЗ). Заряды ВВ, образуют элементы динамической защиты (ЭДЗ). Они располагаются в специальных броневых контейнерах.

По расположению броневых контейнеров на танке, вся динамическая защита делится на навесную ДЗ (или противоккумулятивную; располагается на внешней поверхности танка, предназначена для снижения эффективности КС) и встроенную ДЗ (или универсальную, размещается внутри броневых узлов танка; действует против всех типов противотанковых снарядов).

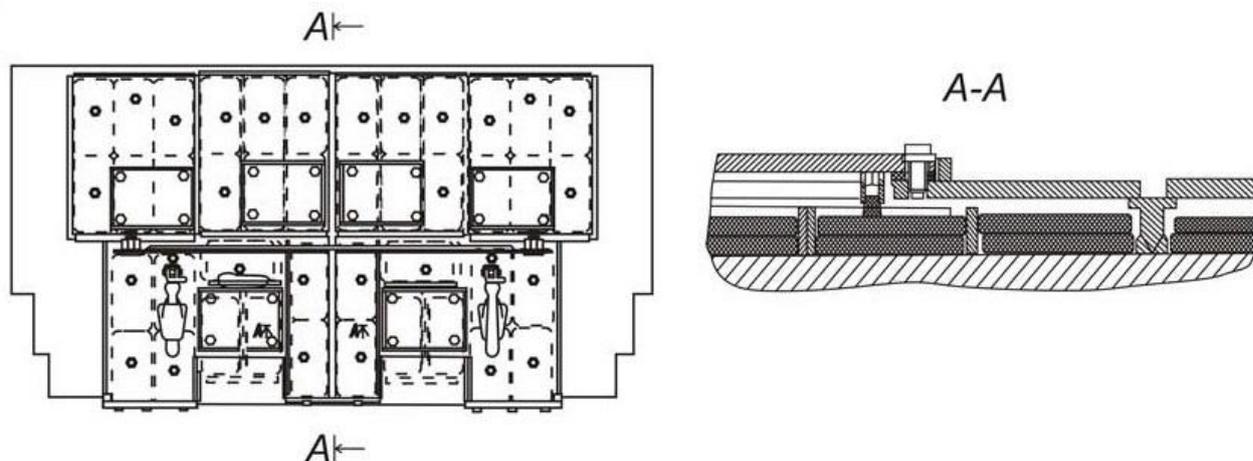


Рисунок 2. Универсальная ДЗ Контакт-5

Появление ПТУР с тандемными БЧ, подтолкнули к разработке активной защиты танка. Это система защиты, принцип действия которой состоит в том, что с помощью средств, установленных на танке, обнаруживается подлетающий к нему снаряд и на этот снаряд оказывается воздействие в целях его разрушения или, снижения его эффективности. Активная защита танков, появилась относительно недавно и является эффективным средством противодействия ПТС. По принципу воздействия КАЗ делится на систему оптоэлектронного подавления и систему с отстреливаемыми защитными зарядами.

Система оптоэлектронного противодействия (КОЭП) – это средство противодействия, предназначенное для нарушения нормальной работы технических средств наведения и прицеливания, прежде всего высокоточных. Это достигается ухудшением их

характеристики вплоть до полной нейтрализации, то есть обеспечением непопадания в танк снарядов, которые могут его поразить (срыв атаки противника).

Но несмотря на, всю развитость технологий в вопросе броневой защиты танков, разработки современных ПТС, тоже не стоят на месте. Поэтому, вопрос о бронировании техники будет всегда актуальным. Далее, представлены перспективные разработки в этой области. Некоторые из них уже начинают использоваться в танках.

Одним из перспективных броневых материалов, используемых для бронирования боевых машин, является керамика. Это связано с её уникальными физико-механическими свойствами. Для керамики характерно сочетание малой плотности, с чрезвычайно высокой прочностью, что позволяет использовать её в качестве одного из компонентов многослойной брони бронетанковой техники. Но, керамика – хрупкий материал, она деформируется только в упругой области и по достижению критических напряжений она разрушается, практически не переходя в пластическое состояние.

Но одним из самых перспективных, и малоизученных способов бронирования танков является электромагнитные способы защиты. В отличие от динамических и активных методов защиты, основанных на поражении боеприпасов полем осколков, продуктами взрыва и метаемыми им навстречу пластинами, при использовании электромагнитной защиты снижение бронепробиваемости снижается путём воздействия на поражающий элемент (кумулятивную струю, снаряд и др.) проникающий в комбинированную броню, сильных импульсных электромагнитных полей и токов. Преимущества данного способа защиты связаны с его быстродействие. широкими возможностями управления электромагнитной энергией и эксплуатационной безопасностью.

Различают три основных типа защиты, базирующихся на использовании сильных импульсных электромагнитных полей токов:

- Электродинамическая защита (ЭлДЗ) – воздействие мощным электромагнитным импульсом на средство поражения;
- Магнитодинамическая защита (МДЗ) – электромагнитное метание пластин на средство поражения. Сочетает в себе принципы активной и динамической защиты, с применением импульсных электромагнитных полей для разгона броневых пластин;
- Электротермическая защита (ЭТЗ) – использование мощных импульсов токов для образования газообразного рабочего тела, с помощью которого осуществляется метание поражающих пластин. На сегодняшний день является наименее изученным типом защиты.

В настоящее время разрабатываемые типы электромагнитной защиты уступают более простой и дешёвой ДЗ. Основным ограничителем при использовании электромагнитных способов защиты являются объём и масса накопителя электрической энергии, определяемые требуемой энергоёмкостью (до 20...30 Мдж/мЗ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Барятинский М. Б. Все современные танки – М.: Эксмо, 2013. – 464 с.: ил.
2. Григорян В. А., Белобородько А. Н., Дорохов Н. С. Частные вопросы конечной баллистики – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана., 2007. – 592 с.: ил.
3. Григорян В. А., Юдин Е. Г., Терехин И. И. Защита танков – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2006. – 327 с.: ил.
4. Бабкин А. В., Велданов В. А., Грязнов Е. Ф., учеб. пособие, Средства поражения и боеприпасы – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2008. – 984 с.: ил.
5. Бирюков В. М. Применение брони в военном деле – М.: Воениздат, 1961. – 267 с.
6. Григорян В. А. Нужна ли современному танку современная защита – М.: Издательский дом, 2013. – 32 с.

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ОРУЖИЯ НЕЛЕТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Шарков Александр Валерьевич

Научный руководитель: Милевский Константин Евгеньевич

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

Рассматриваются варианты снаряжения продуктов (оружия) нелетального действия, предназначенного для эффективного пресечения беспорядков и нейтрализации индивидуальных участников противостояния. В настоящее время актуально применение специальных средств, предназначенных для подавления живой силы условного противника без реальной угрозы для жизни. В статье рассмотрены разные варианты оружия нелетального действия.

Тема актуальна, так как участие вооруженных сил в миротворческих операциях породило повышенный спрос на специальные виды боеприпасов и средств вооружения не смертельного действия, которые могут использоваться для нейтрализации противоборствующих сил в зонах конфликтов для избегания человеческих жертв.

Заинтересованность в создании средств не летального воздействия сегодня активно проявляют и правоохранные органы. Их задачами является задержание и ликвидация хорошо вооруженных преступных групп в условиях города, что может вести к жертвам среди населения.

Отдельной проблемой для правоохранных органов является возможность использования не летального оружия при локализации массовых беспорядков, применения не смертельных специальных средств для задержания обычных преступников, подавления протестующих в окнах или автомобилях, дезориентация для задержания отдельных представителей массовых беспорядков на улицах городов или стадионах для успешного пленения.

В современных инженерно-технических и антитеррористических средствах защиты объектов, в вооружении служб безопасности и частных охранников, а также в лицензированных средствах для самообороны граждан и в числе создаваемых образцов, и в ведущихся в этом направлении опытно-конструкторских работах можно выделить следующие виды:

1. Контактное оружие пленения, используется на дистанциях до 5 метров. К нему относятся блоки транспортировки электроразряда и «электрошокеры» контактные [3–5]. Эффективно против невооруженных объектов в помещениях позволяет дезориентировать объект и совершить пленение. Имеет недостатки: не может быть применено в условиях удаления или физической защищённости биообъектов.

2. Оружие средней дальности действия, это дымовые гранаты, блоки метания гранат, светозумовые гранаты [6 – 8]. Имеют недостатки: поражают не один требуемый объект, а большую площадь. Объект имеет возможность отбросить гранату с химической смесью обратно к представителям правоохранных органов; не позволяют поражать объекты в окнах высотных зданий или быстро перемещающихся автомобилях; дальность действия недостаточна для безопасности представителей правоохранных органов.

3. Боеприпасы для гладкоствольного оружия, позволяющие вести прицельный огонь с достаточной дистанции, к которым относятся резиновые пули, миномётные мины с пластиковыми 32 мм поражающими элементами; пули с химической смесью, которые имеют главный недостаток – опасность повреждения биообъекта, а также не достаточная дезориентация в случае попадания [9 – 12].

В ходе исследований возможности технического совершенства анализируется патентная информация, запросы потребителей, тенденции совершенствованию данной группы однородной продукции передовыми зарубежными фирмами, индекс террористической угрозы.

В результате этих анализов устанавливается группа продукции, которая принадлежит стандартизации.

Рассматривают последний шестилетний период времени, который называют временем основания прогноза. Первый год (нулевой) берут в качестве исходного для формирования исходного уровня. Подсчитав число патентов, выданных в течении первого (нулевого) года, и приняв его за исходную величину, на основании сравнения полученной величины с числом патентов в каждый из последующих годов делают вывод о перспективности того или иного объекта стандартизации или направления развития техники [13].

Необходимость нелетального оружия начала расти с начала двадцать первого века, что обусловлено различными конфликтами с участием мирного населения. Индекс террористической угрозы по миру в целом очень высок, начиная от 0 (не определяется) и заканчивая на 10 (наивысший уровень).

Приводится индекс некоторых стран.

Иран (9,96)

Сирия (8,587)

Украина (7,132)

Китай (6,108)

Франция (5,603)

Россия (5,43)

США (4,877)

Италия (2,363)

Португалия (0,058)

Террористы берут мирных людей в заложники в целях прикрытия своих позиций и самих себя. Применение поражающего оружия стало затруднительно и опасно, ведь могли пострадать невинные люди, например средний радиус поражения гранат с хлорацетофеноном составляет 5 метров. Тогда правоохранительные органы начали использовать резиновые пули, что не убивали, но наносили огромный урон живым объектам, как и террористическим, так и мирным. Спрос на оружие не смертельного действия – так называемое нелетальное – в мире растет по мере активизации террористов. Количество разработок в этой области увеличивается.

Рекомендуется разрабатывать неконтактные боеприпасы для гладкоствольного оружия для точечной доставки поражающих компонентов к требуемым биообъектам, их дезориентации и дальнейшего успешного пленения, что позволяет полностью избежать любого поражения окружающих объектов [1, 2]. Известно немало случаев, когда бандгруппировки прикрываются мирными жителями. Прямое воздействие традиционными средствами поражения в этом случае невозможно, спасти ситуацию могут лишь средства, временно выводящие живую силу из строя.

Одним из корректных показателей эффективности применения ОНД, входящим в систему критериев и требований, можно считать уровень социальных последствий. Данный критерий в целом прост: при проектировании конкретного образца ОНД следует добиваться минимально возможного показателя этого уровня, особенно если говорить об отказе от обычных средств огневого поражения, которые по данному критерию являются неприемлемыми в силовых операциях невоенного характера из-за важности гуманитарных аспектов. Уровень социальных последствий можно определить, например, с помощью

социологического исследования путём опроса с последующей статистической обработкой и анализом полученных результатов.

Применение не летального оружия в противовес агрессивному поведению правонарушителей отражает гуманность и не противоречит международным нормам и соглашениям [14].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Патент 2329456, Российская Федерация. Патрон нелетального действия / Ю. Б. Абрамов, Ю. Н. Кириллов Юрий, А. А. Пристягин. - № 2006126239/02; заявл. 19.07.2006; опубл.: 20.07.2008, Бюл. № 20. – 11 с.
2. ОРУЖИЕ НЕЛЕТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ - СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ СИСТЕМЫ ВООРУЖЕНИЯ БУДУЩЕГО ВЕСТНИК АКАДЕМИИ ВОЕННЫХ НАУК № 4(21)/2007 ВООРУЖЕНИЕ, ВОЕННАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА Генерал-майор В.М. БУРЕНОК, начальник ФГУ «46 ЦНИИ Минобороны России», доктор технических наук, профессор, действительный член АВН; В.Ю. КОРЧАК, кандидат технических наук, старший научный сотрудник; С.С.СМИРНОВ.
3. Патент 2284440, Российская Федерация. Электрошокер / К.К. Ким. - № 2005109055/02; заявл. 29.03.2005; опубл. 27.09.2006, Бюл. № 27. – 5 с.: ил.
4. Патент 2486451, Российская Федерация. Снаряд дистанционного электрошокового оружия и способ его изготовления / Ю.О. Ладыгин. - № 2010150899/11; заявл. 14.12.2010; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18. – 12 с.
5. Средства поражения и боеприпасы (стр. 826) «Распылители высокого давления»: 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.
6. Патент 2376550, Российская Федерация. Боеприпас для создания аэрозольной маскирующей завесы / П.В. Андрейкин, А.В. Зезекало. -№ 2008117706/02; заявл. 04.05.2008; опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35. – 7 с.: ил.
7. Патент 2468331, Российская Федерация. Способ постановки протяжённой аэрозольной завесы индивидуальными комплексами / П. Е. Кулешов, Ю. Л. Козирацкий, А. Ю. Козирацкий, Т. М. Хакимов, В. Е. Хроликов, Д. В. Прохоров. - № 2010124793/28; заявл. 16.06.2010; опубл. 27.11.2012, Бюл. № 33. – 10 с.: ил.
8. Патент 2511562, Российская Федерация. Генератор аэрозоля / М. С. Резников, А. Ш. Мингазов, В. Л. Гинзбург, А. И. Сидоров, О. В. Локшин, М. В. Луценко, В. В. Воробьёв. - № 2012130672/11; заявл. 19.07.2012; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 10. – 8 с.: ил.
9. Патент РФ № 2506530, «Боеприпас раздражающего действия»;
10. Патент 2481537, Российское Федерация. Патрон для дистанционного электрошокового устройства с частично изолированным токопроводом / А. И. Михайлин, А. М. Сильников, К. С. Кулаков, О. Г. Немтышкин. - № 2011132531/11; заявл. 02.08.2011; опубл. 10.02.2013, Бюл. № 4. – 4 с.
11. Патент 2477442, Российская Федерация. Снаряд дистанционного электрошокового устройства повышенной устойчивости / А. И. Михайлин, М. В. Сильников, А. Г. Халявицкий, С. Л. Кулаков. - № 2011132537/11; заявл. 02.08.2011; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7. – 4 с.
12. Савин С.В. «Полицейский карабин КС-23» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sayga12.ru/карабин-специальный-кс-23-кс-23м-кс-23к/>. (дата обращения: 20.10.2017).
13. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Стандартизация и сертификация в машиностроении. Т. I-5 / Г.П. Воронин, Ж.Н. Будённая, И.А. Коровкин и др. Под общ. ред. Г.П. Воронина. 2-е изд., доп. 2002, 672 с., ил.
14. Конвенция о защите гражданского населения во время войны от 12 августа 1949 г. // СДД СССР. Вып. XVI. М. 1957. С. 204-280.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БРОНЕБОЙНО-ЗАЖИГАТЕЛЬНОГО СНАРЯДА К АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КАЛИБРА 57 мм

Ширяева В.Ю.; Хмельников Е.А.; Смагин К.В.

**Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина,
г. Нижний Тагил, khmelnikov7@gmail.com**

В статье рассматривается создание нового типа подкалиберного бронебойно-зажигательного боеприпаса для пушки калибра 57 мм. Производится сравнение характеристик предлагаемого боеприпаса с характеристиками штатного бронебойного боеприпаса калибра 57 мм. Рассматриваются преимущества предлагаемого боеприпаса.

The creation of a new type of sub-caliber armor-piercing incendiary ammunition for a 57 mm cannon is discussed in this article. The characteristics of the proposed ammunition are compared with the characteristics of the standard armor-piercing ammunition of 57 mm. The advantages of the proposed ammunition are considered.

Анализ развития современной броневой техники предполагает необходимость увеличения огневой мощи существующих и разрабатываемых образцов, например, на БМП предполагается установить более мощное вооружение – артиллерийскую систему калибра 57 мм вместо стоящей на БМП предыдущего поколения 30-мм артиллерийской системы. Предполагаемая артиллерийская система должна иметь увеличенную дальность прямого выстрела и повышенное могущество входящих в комплект боеприпасов. Следовательно, требуется спроектировать боеприпас, способный поражать бронированные цели, имеющие эквивалентную броневую защита толщиной порядка 100 мм.

Сегодня на вооружении находится бронебойно-трассирующий снаряд БР-281 (рис. 1).

По данным таблицы стрельб [1] такой снаряд при начальной скорости 1000 м/с и угле подхода к преграде 90° на дальности 1 км пробивает 100 мм брони. Недостатком такого боеприпаса является то, что с увеличением дальности стрельбы уменьшается скорость, и как следствие уменьшается глубина пробития.

В качестве альтернативы предлагается спроектированный на основе патента №2582322 от 18.11.2014 г. [5] подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд (рис. 2). Одним из преимуществ такого снаряда является его зажигательное действие, которое у штатного снаряда отсутствует. Зажигательное действие достигается путём применения nano смеси фторопласта с алюминием и титаном. Предлагаемая конструкция позволяет в процессе пробития брони занести за нее зажигательный состав и тем самым создать необходимый зажигательный эффект.

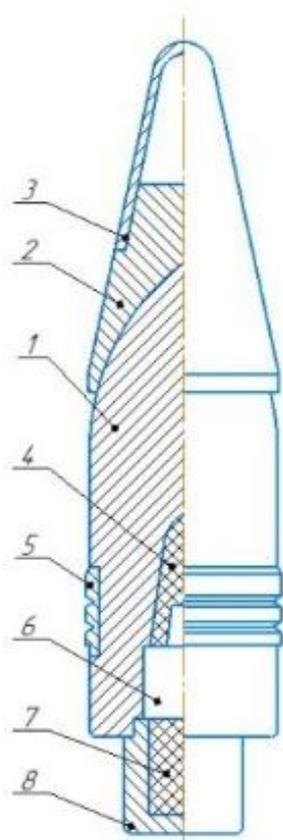


Рисунок 1 – Бронейно-трассирующий снаряд 57 мм БР-281; 1-корпус, 2-бронейный наконечник, 3-баллистический наконечник, 4-заряд ВВ, 5-ведущий поясок, 6-взрыватель, 7-пиротехнический состав трассера, 8-корпус трассера

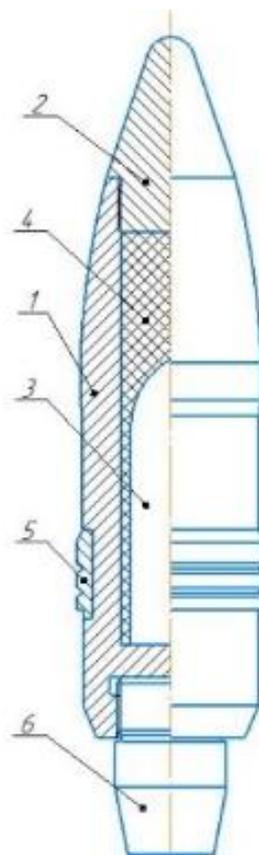


Рисунок 2 – Бронейно-зажигательный снаряд 57 мм; 1-корпус, 2-демпфер, 3-твердосплавный сердечник, 4-фторопласт, 5-ведущий поясок, 6-трассер

Основной задачей проведенных исследований является сравнение представленных конструкций. На первом этапе сравнения характеристик существующего и спроектированного боеприпасов проведен расчет параметров внешней баллистики обоих боеприпасов. Для расчета необходимо определить коэффициент аэродинамической формы (i) данного боеприпаса.

По закону сопротивления Ф. Сиаччи [3]:

$$i = c_1 \left(\frac{H}{d} \right)^5 + c_2 \left(\frac{H}{d} \right)^4 + c_3 \left(\frac{H}{d} \right)^3 + c_4 \left(\frac{H}{d} \right)^2 + c_5 \left(\frac{H}{d} \right) + c_6,$$

где $c_1 = 0,0049231$, $c_2 = -0,043823$, $c_3 = 0,097576$, $c_4 = 0,16973$, $c_5 = -1,0858$, $c_6 = 1,9086$, H – высота головной части снаряда, d – калибр снаряда.

Расчет внешней баллистики проводился в программном комплексе в «СПО РЛС ЛУЧ-83М ЛУЧ-88М» (СКБ измерительной аппаратуры ФКП НТИИМ). Начальные параметры расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1. Начальные параметры расчета внешнетраекторных параметров

	Штатный, 57-мм	Предлагаемый, 57-мм
Масса, кг	2,8	3,789
Длина, м	0,24	0,258
Длина головной части, м	0,105	0,101
Положение центра масс, м	0,07327	0,093522
Коэффициент формы	1,23	1,25

Анализ полученных результатов показывает, что предлагаемый снаряд на дальности 1 км при начальной скорости 960 м/с, имеет скорость больше, чем штатный бронебойный. Это связано с тем, что подкалиберный снаряд по массе превышает штатный за счёт наличия сердечника и демпфера, материалы которых имеют большую плотность (табл.2, рис.2.)

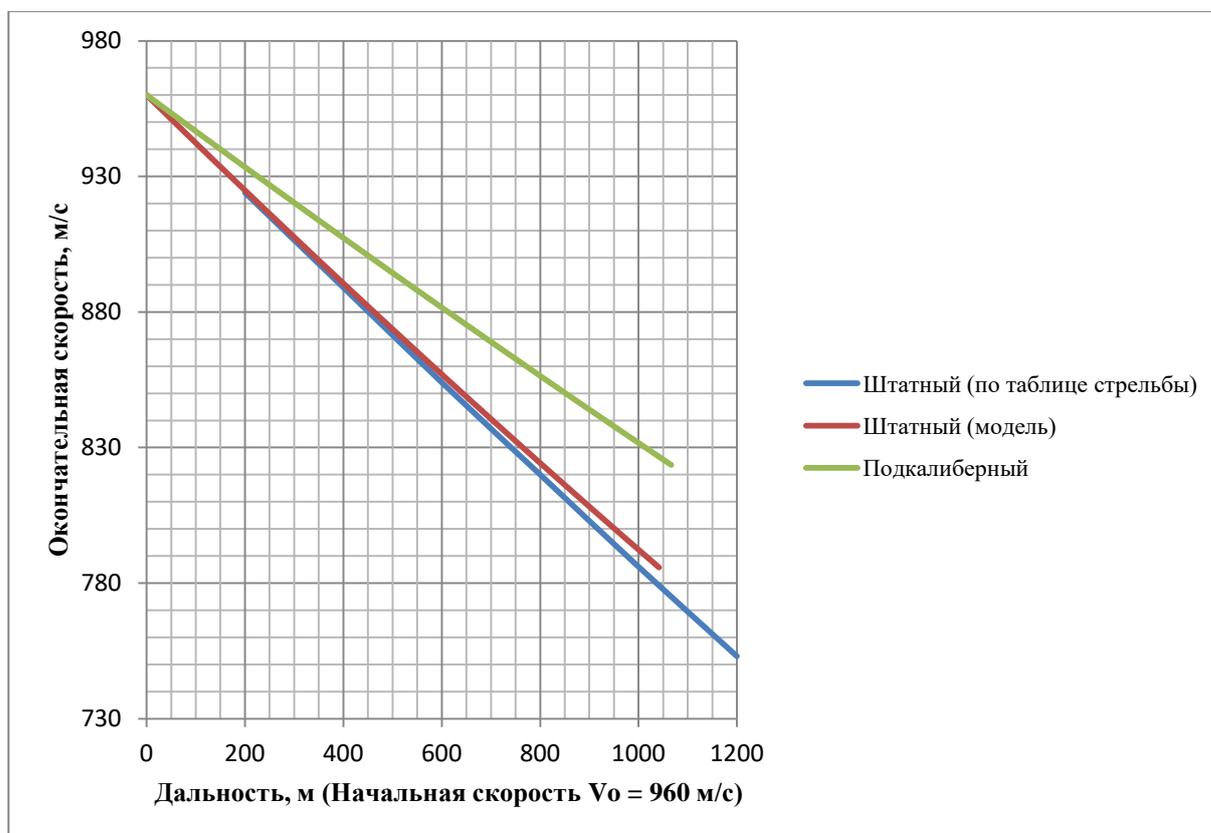


Рис. 2 График зависимости скорости снарядов от дальности полета

Таблица 2.
Изменение скорости от дальности полета

Время полёта, с	Штатный		Предлагаемый	
	Дальность, м	Скорость, м/с	Дальность, м	Скорость, м/с
0,2	188,65	926,82	189,46	934,8
0,4	370,85	895,48	373,99	910,68
0,6	546,95	865,82	553,8	887,54
0,8	717,28	837,73	729,07	865,36
1	882,14	811,08	900	844,06
1,2	1041,79	785,76	1066,74	823,6

Большая масса и скорость предлагаемого снаряда говорят о том, что кинетическая энергия при подходе к броне больше, чем энергия штатного. Следовательно, величина внедрения в преграду должна быть больше.

Вторым этапом оценки действия броневой-зажигательного боеприпаса является моделирование процесса проникания снаряда в броню в программном комплексе ANSYS AUTODYN, предназначенному для расчёта задач механики сплошных сред на лагранжевых сетках (рис. 3).

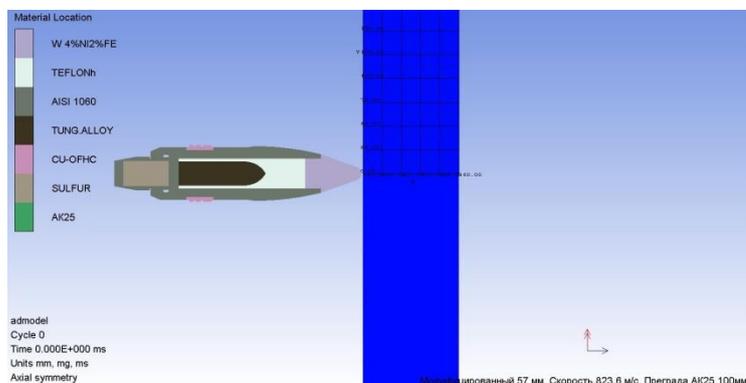


Рисунок 3. Постановка задачи

Модель брони задавалась полубесконечной преградой из стали марки АК-25 толщиной 100 мм.

Скорость подхода снарядов к преграде на дальности 1 км: штатный – 786 м/с, предлагаемый – 823,6 м/с. Конечный шаг расчетов представлен ниже (рис. 4, рис. 5).

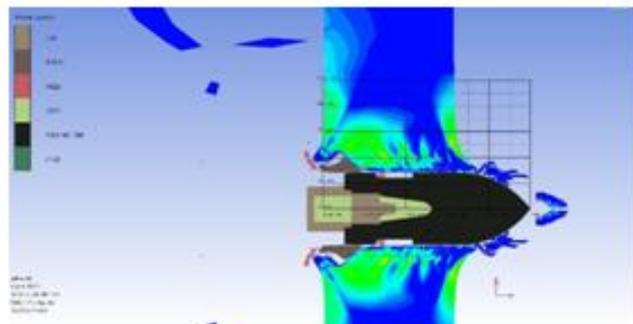


Рисунок 4. Внедрение в броню штатного броневой снаряда со скоростью 786 м/с на дальности 1000 м

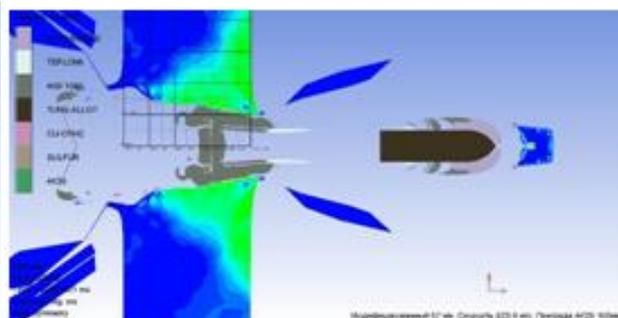


Рисунок 5. Внедрение в броню броневой-зажигательного снаряда со скоростью 823,6 м/с на дальности 1000 м

Адекватность постановки подтверждает то, что штатный боеприпас пробивает при соответствующей скорости подхода плиту толщиной 100 мм. Анализ картины пробития предлагаемым подкалиберным боеприпасом показывает, что:

- 1) Подкалиберный боеприпас имеет увеличенную толщину пробивания брони по сравнению со штатным;
- 2) Конструкция предлагаемого снаряда позволяет занести зажигательный состав за броневую преграду.

Выводы:

1. Предложен подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд к артиллерийской системе калибра 57 мм.
2. Проведенное сравнение внешней и конечной баллистики двух боеприпасов позволяет сделать вывод о преимуществе предлагаемого снаряда как в бронебойном, так и в зажигательном действии.
3. В предлагаемой конструкции исключен взрыватель и взрывчатое вещество, что делает подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд взрывопожаробезопасным, что является одним из важных критериев при проектировании современных боеприпасов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Таблицы стрельбы 57-мм автоматической зенитной пушки С-60 по наземным целям [Текст]: Осколочно-трассирующая граната бронебойно-трассирующий снаряд. ТС/ГРАУ № 225 / М-во обороны СССР. - 3-е изд. - Москва : Воениздат, 1970. - 45 с.; 20 см.
2. А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; Под общ. ред. В.В. Селиванова. – Средства поражения и боеприпасы: Учебник. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
3. Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. –Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 3. – 84 с.
4. LICENSE-ANSYS_hydryd_10-31-2012-4.39.12.
5. Бронебойный подкалиберный снаряд // Патент России №2014146315.2014/Хмельников Е.А., Стыров А.В. Смагин К.В. [и др.]

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЗАЖИГАТЕЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ ОТ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТРУБКИ И ЭЛЕКТРОВОСПЛАМЕНИТЕЛЯ В КАПСЮЛЕ-ДЕТОНАТОРЕ ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЗ ИВВ

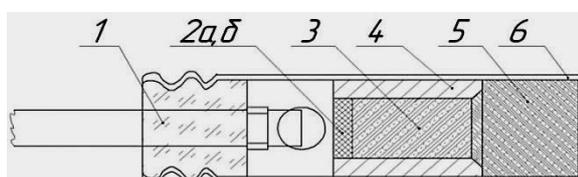
С.А. Янзин, Д.С. Игошин, Е.А. Кожевников
Научный руководитель: А.А. Гидаспов

**Самарский государственный технический университет,
 г. Самара, semenyanzin@outlook.com, xtoca@samgtu.ru**

Экспериментально изучена возможность замены электровоспламенителя (ЭВ) на ударно-волновую трубку (УВТ) в разработанном ранее электродетонаторе повышенной безопасности (ЭД-ПБ) без ИВВ. Испытания показали, что при иницировании с помощью УВТ не всегда наблюдается переход горения ТЭНа в металлической цилиндрической оболочке (МЦО) в детонацию. Была сопоставлена продолжительность импульса ЭВ и УВТ, составляющая от 300 до 316 мс (ЭВ) и менее 16 мс (УВТ). Установлено, что длительное воздействие начального импульса от ЭВ в ЭД-ПБ неизменно возбуждает процесс перехода горения ТЭНа в МЦО в детонацию. В условиях иницирования с помощью кратковременного импульса УВТ переход горения ТЭНа в МЦО в детонацию носит вероятностный характер.

The possibility of replacing the electric match (EM) with a shock wave tube (SWT) in the developed non-primary explosive high-safety electric blasting cap (BC-HS) was experimentally studied. The tests showed that the deflagration-to-detonation transaction (DDT) of PETN in metal cylindrical confinement (MCC) is not obtained every time. The firing signal duration of EM and SWT were compared. The value of firing signal duration for EM was in range from 300 to 316 ms, for SWT this value was less than 16 ms. It was established that the long-time firing signal from EM of BC-HS reliably initiates the DDT of PETN in the MCC. When the BC-HS is initiated by the short-time SWT impulse, the DDT is highly questionable.

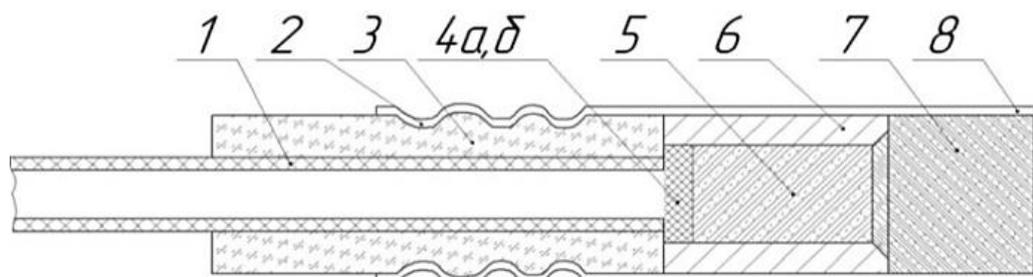
Вопросы повышения безопасности современных устройств возбуждения детонации, в частности: электродетонаторов (ЭД) и неэлектрических капсулей-детонаторов (НЭКД) являются актуальными. Высокая безопасность ЭД и НЭКД достигается исключением из их конструкции иницирующих взрывчатых веществ (ИВВ). Ранее описана конструкция (рис. 1) электродетонатора повышенной безопасности (ЭД-ПБ) без ИВВ [1-3].



1 – ЭВ, 2 – узел зажигания (а – ТСС; б – ТЭН),
 3 – ТЭН в МЦО, 4 – МЦО с фаской, 5 – основной заряд БВВ, 6 – гильза КД 8-С
 Рисунок 1 - Конструкция ЭД-ПБ мгновенного действия без ИВВ

Принцип действия ЭД-ПБ основан на переходе горения бризантного взрывчатого вещества (БВВ) ТЭНа 3 (рис. 1) в оболочке 4 в детонацию, которая вызывает детонацию основного заряда БВВ - гексогена 5. Горение БВВ возбуждается электровоспламенителем (ЭВ) 1, импульс которого передается в узел зажигания 2, состоящий из воспламенительного состава ТСС (титан и свинцовый сурик) 2а и ТЭНа 2б.

В разрабатываемой перспективной конструкции НЭКД повышенной безопасности (НЭКД-ПБ), приведенной на рис. 2, ЭВ был заменен на ударно-волновую трубку (УВТ).

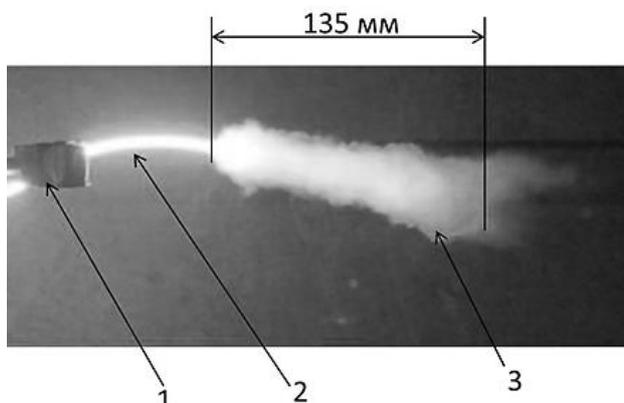


1 – УВТ, 2,3,4,5,6 см. рис 1

Рисунок 2 - Конструкция НЭКД-ПБ мгновенного действия без ИВВ

Иницирование УВТ проводилось ударным капсюлем-воспламенителем «Жевело-Н». Однако испытаниями, проведенными по ГОСТу [4] путем подрыва в подрывной кабине НЭКД-ПБ на свинцовой пластине, было показано, что частота срабатывания (пробитие отверстия в свинцовой пластине) составляет всего 20% из 20 опытов, а должна быть 100%. Это побудило авторов сопоставить зажигательные импульсы УВТ и ЭВ. Результаты экспериментов представлены на рис. 2 и 3.

Фиксация продуктов взрывчатого превращения истекающих в воздух от УВТ и ЭВ осуществлялась с помощью зеркальной камеры Sony SLT-A57 в режиме видеосъемки со скоростью 60 кадров в секунду с последующей раскадровкой видеозаписи. Импульс от УВТ укладывался в 1 кадр, длительность которого составляла 1/60 с, т.е. время действия импульса УВТ не превышала 16 мс. Импульс ЭВ укладывался в 19 кадров, т.е. время действия импульса ЭВ составляло не менее 300 мс и не более 316 мс. Следовательно, время действия ЭВ в 19 раз превосходило по продолжительности время действия импульса от УВТ.



1 – лапка штатива, 2 – УВТ, 3 – форс пламени

Рисунок 2 - начальный импульс УВТ



Рисунок 3 – начальный импульс ЭВ

Горячие продукты от сгорания ЭВ (в основном газообразные продукты и только 1 % K_2SO_4 (к)), которые воспламеняют ТСС в узле зажигания в МЦО в конструкции ЭД-ПБ, имеют расчетную температуру 1757,8 °С и, как «грелка», усиливают тепловой эффект от сгорания ТСС и ТЭНа в узле зажигания, который передается к чистому ТЭНу в МЦО. Температура и состав продуктов горения ЭВ была определена путем расчета по программе Terra [5]. При инициировании от УВТ в конструкции НЭКД-ПБ из-за кратковременности импульса (хотя расчетная температура продуктов работы УВТ составляет 3300 °С) такой «грелки» нет, и зажигание чистого ТЭНа в МЦО носит вероятностный характер.

Таким образом, для перспективной конструкции НЭКД-ПБ требуется разработка нового узла зажигания, которая в настоящее время и проводится авторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Пат. 2413166 РФ, МПК F42В3/10. Капсюль-детонатор на основе бризантного взрывчатого вещества. // С.И. Постнов, В.А. Рекшинский, А.А. Гидаспов, Е.А. Кожевников, О.В. Трохин (РФ).- #2006133556/11. Заяв. 07.09.2009; Оpubл. 27.02.2011. - 7с., ил.
2. Кожевников Е.А., Гидаспов А.А., Постнов С.И., Рекшинский В. А., Качкин А. Г. Эффективность действия электродетонатора повышенной безопасности при его снаряжении различными БВВ [Текст] // Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона», НГТУ, Новосибирск, 2013. - С. 253.
3. Кожевников Е. А., Гидаспов А. А., Постнов С. И., Янзин С. А. Усовершенствование металлической цилиндрической оболочки электродетонатора повышенной безопасности. [Текст] // Труды XVII Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона», НГТУ, Новосибирск, 2016. - С. 66.
4. ГОСТ 6254-85. Капсюли-детонаторы для взрывных работ. Технические условия [Текст]. – Введ. 1987-01-01. – М.: Изд. - во стандартов СССР, 29.11.85.
5. Трусов Б.Г. Компьютерное моделирование фазовых и химических равновесий [Текст] // Инженерный вестник Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова – 2012. №8. – С.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ЗАКОНЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СКУЛЬПТУРНОГО ПЛАСТИЛИНА

Л.С. Даутова, Е.А. Знаменский, Я.О. Павлов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,
г. Санкт-Петербург, 326s@list.ru

Статья посвящена определению коэффициентов закона сопротивления скульптурного пластилина прониканию сферического имитатора поражающего элемента. Закон сопротивления для скульптурного пластилина в общем виде записывается как функция скорости проникания. Если предположить доминирующее влияние прочностной, вязкой, либо динамической составляющей сопротивления, то можно представить закон сопротивления для степенной форме. Для определения закона сопротивления скульптурного пластилина проведен натурный эксперимент с использованием пневматической метательной установки. На основе обработки результатов натурального эксперимента методом наименьших квадратов найдены коэффициенты закона сопротивления скульптурного пластилина. Проведена проверка адекватности полученной аппроксимации с использованием коэффициента корреляции. Сильная корреляция между аппроксимирующей функцией и экспериментальными данными свидетельствует о правильном выборе ее вида и хорошем качестве аппроксимации.

The article considers determination the penetration resistance law coefficients of sculpture plasticine for spherical model of strike element. The sculptural plasticine resistance law is generally written as a function of penetration rate. If we assume the dominant influence of the strength, viscous, or dynamic component of the resistance, we can present the resistance law for the power form. To determine the sculptural plasticine resistance law, an experiment with the use of pneumatic throwing device was carried out. On the basis of processing results of the experiment using the least squares method the sculptural plasticine resistance law coefficients were determine. The adequacy of the obtained approximation was checked using the correlation coefficient. A strong correlation between the approximating function and the experimental data indicates a correct choice of its type and a good quality of approximation.

Скульптурный пластилин, наравне с баллистическим, используется при экспериментальном изучении воздействия поражающих элементов на мягкие ткани. Его способность сопротивляться прониканию сильно зависит от температуры окружающей среды и марки (твердый либо мягкий). Определение закона сопротивления пластилина позволяет установить соответствие между лабораторным экспериментом и реальным воздействием поражающего элемента на биообъект, а также найти наиболее подходящие условия проведения опыта.

Зависимость сопротивления пластилина от скорости проникания в классической форме (для стационарного режима внедрения) учитывает прочностное, вязкое и динамическое сопротивление и может быть записана в виде [1], [2]

$$p = K_0 v^0 + K_1 v^1 + K_2 v^2 = \sum_{i=0}^2 K_i v^i,$$

где K_i – коэффициенты в законе сопротивления; v – скорость проникания; i – принимает целые значения из диапазона от 0 до 2, включая концы. Если считать, что сопротивление преграды преимущественным образом формируется прочностным, вязким либо динамическим сопротивлением, а остальными составляющими можно пренебречь, то закон сопротивления преграды $p = f(v)$ можно представить степенной функцией

$$p = K_\alpha v^\alpha, \quad (1)$$

а уравнение движения ударника записать как

$$mv \cdot \frac{dv}{dx} = -sK_\alpha v^\alpha, \quad (2)$$

где m – масса ударника; x – координата, описывающая изменение пути ударника; s – площадь поперечного сечения ударника; K_α , α – коэффициенты в законе сопротивления преграды. Общий интеграл (2) при $\alpha < 2$ будет иметь вид

$$h = \frac{m}{sK_\alpha} \cdot \frac{1}{2-\alpha} \cdot v_c^{2-\alpha}. \quad (3)$$

Для определения коэффициентов в зависимости сопротивления преграды от скорости проникания необходимы экспериментальные данные (таблица).

Таблица – Результаты стрельбы по скульптурному пластилину

Скорость подлета, м/с	141	196	250
Глубина проникания, м	0,038	0,048	0,052

Эксперимент проводился с использованием лабораторной пневматической метательной установки. В качестве метаемого тела выступал стальной шарик массой 1г.

Наиболее удобным является поиск коэффициентов для зависимости (3), переписанной в полностью эквивалентной логарифмической форме:

$$\ln h = \ln A + (2 - \alpha) \ln v_c,$$

где $y = \ln h$; $x = \ln v_c$; $A = \frac{m}{sK_\alpha} \cdot \frac{1}{2-\alpha}$. Очевидно, что обозначив $b_0 = \ln A$ и $b_1 = 2 - \alpha$ мы получаем уравнение прямой вида $y = b_0 + b_1 x$. Воспользовавшись методом наименьших квадратов [3] для отыскания коэффициентов b_0 и b_1 получим

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i \cdot x_i - \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i}{\left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2 - N \cdot \sum_{i=1}^N x_i^2} = -6,011; \quad b_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2} = 0,557.$$

Теперь, с учетом введенных обозначений, найдем $\alpha = 2 - b_1 = 1,443$, $A = e^{b_0} = 2,451 \cdot 10^{-3}$, $K_\alpha = \frac{m}{sA(2 - \alpha)} = 25,91$, $\text{кг/м}^3 \cdot (\text{м/с})^{2-\alpha}$.

Оценим качество полученной аппроксимации и установим факт взаимосвязи величин, участвующих в опыте с использованием коэффициента корреляции. Полученное аппроксимирующее уравнение прямой регрессии, имеет угловой коэффициент (b_1) равный тангенсу угла наклона прямой к оси OX . Однако уравнение аппроксимирующей прямой может использоваться и в виде уравнения обратной регрессии:

$$x = b'_0 + b'_1 y, \quad (4)$$

где $y = \ln h$, $x = \ln v_c$, а параметры b'_0 и b'_1 уравнения обратной регрессии. При этом коэффициент обратной регрессии b'_1 определяет угол наклона прямой (4) к оси OY . Конкретное выражение для углового коэффициента обратной регрессии будет выглядеть как

$$b'_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N y_i\right)^2} = 1,732.$$

Коэффициент корреляции [4] введем как среднее геометрическое из угловых коэффициентов прямой и обратной регрессий:

$$r_{xy} = \sqrt{b'_1 b_1} = 0,982,$$

что соответствует коэффициенту детерминации $\eta_{xy} = 0,964$. Значение r_{xy} близко к единице, что свидетельствует о сильной связи экспериментальных данных с аппроксимацией формулой (1). Также можно отметить, что близость коэффициента детерминации к единице говорит о линейной связи рассматриваемых факторов, при этом 96 % общей дисперсии отклика определяются полученным уравнением регрессии.

Таким образом, определены коэффициенты и вид закона сопротивления, который в окончательном виде для скульптурного пластилина можно записать как

$$p(v) = 25,91 \cdot 10^3 \cdot v^{1,443}. \quad (5)$$

Близость показателя степени к 2 говорит об определяющем вкладе сил динамического (инерционного) сопротивления среды. Глубина проникания сферического имитатора поражающего элемента в этом случае может быть определена в соответствии с выражением (3), что после подстановки найденной функции аппроксимации (5) окончательно дает

$$h = 8,822 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{m}{d^2} \cdot v_c^{0,557}. \quad (6)$$

Зависимость (4) является исходной при определении толщины пластилиновых блоков, формируемых для испытаний, а также может применяться для оценки скорости встречи поражающего элемента, обеспечивающей заданную глубину проникания. Для адекватного переноса глубин проникания, получаемых в результате расчета по формуле (6), на проникание в мягкие ткани биообъектов, необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

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.
2. Балаганский И.А., Мержневский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов-. Учебник. -Новосибирск: Изд-во НГТУ. - 2004. - 408 с.
3. Метод наименьших квадратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_наименьших_квадратов (01.12.2017).
4. Запорожец, В.И. Теоретические основы испытаний и контроля качества боеприпасов: учебное пособие / В.И. Запорожец, Ф.П, Афанасенко; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2008. – 316 с.

ПОВЫШЕНИЕ СУММАРНОГО ИМПУЛЬСА ТЯГИ РДТТ ПУТЕМ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Владимир Викторович Романов¹, Геннадий Федорович Рыжков¹,
Егор Яковлевич Брагунцов^{1,2}, Марк Вадимович Кравец²,
Егор Алексеевич Кузнецов²

¹ АО Институт прикладной физики, г. Новосибирск,

² Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск

Работа посвящена решению актуальной задачи увеличения суммарного импульса тяги РДТТ. Предложено увеличение суммарного импульса тяги и обеспечение требуемых расходных характеристик РДТТ достигать за счет профилирования зарядов. Показано, что наиболее высокие показатели достигаются применением канально-щелевых зарядов.

The work is devoted to solving the actual problem of increasing the total thrust pulse of a rocket engine solid fuel by increasing the mass perfection of the engine. It is proposed to increase the total momentum due to charge profiling. It is shown that the highest values are achieved by channel-slot charges.

В РДТТ отсутствует система подачи топлива. Необходимое на все время работы двигателя топливо находится в камере сгорания, при этом секундная масса сгорающего топлива (расход топлива) определяется скоростью горения топлива и площадью поверхности горения заряда. Поэтому форма и размеры топливного заряда наряду с характеристиками топлива по скорости горения определяют основные параметры двигателя: давление в камере сгорания p_k , тягу P и время работы двигателя τ [1-4].

Наиболее распространенной в современных РДТТ является цилиндрическая форма топливного заряда со звездообразным внутренним центральным каналом. Выбором диаметра D и относительной длины заряда L/D на основе зарядов этой формы могут создаваться двигатели, различающиеся по величине тяги в большом диапазоне ($10^0 \dots 10^7$ Н) и по времени работы в пределах $10^0 \dots 10^2$ с.

В заряде со звездообразным центральным каналом наружная цилиндрическая поверхность может быть защищена бронировкой. Поверхность горения такого заряда образована внутренним каналом, имеющим поперечное сечение в форме многолучевой звезды. По сравнению с зарядом с центральным цилиндрическим каналом заряд со звездообразным каналом дает возможность в заданных габаритах (D, L) получить большую величину площади поверхности горения, но меньшее значение отношения толщины свода e_0 к диаметру заряда D : $e_0/D = 0,15 \dots 0,50$ и, следовательно, худший коэффициент массового совершенства двигателя а также более низкий суммарный импульс тяги РДТТ. Еще одним недостатком заряда со звездообразным каналом является наличие остатков топлива, дегрессивно догорающих при низких давлениях в камере сгорания и не дающих вклад в суммарный импульс тяги. В таком заряде наличие дегрессивно догорающих остатков топлива составляют 6... 10% от всей массы заряда [1-3].

В связи с вышеизложенным представляет практический интерес сравнение характеристик зарядов различных форм, с целью поиска форм зарядов, позволяющих устранить появление дегрессивно догорающих остатков топлива, улучшить коэффициент массового совершенства двигателя и увеличить суммарный импульс тяги РДТТ, но при этом позволяющих также регулировать поверхность горения и расходные характеристики в требуемых пределах значений.

В данной работе проведено сравнение характеристик звездообразных топливных зарядов с канально-щелевыми зарядами.

Канально-щелевой заряд получил широкое распространение в РДТТ различного назначения вследствие своей универсальности и технологичности, в частности при изготовлении вкладных зарядов из баллиститных топлив [1-3].

Канально-щелевой заряд имеет поверхность горения, образованную каналом и щелями. Достоинством этого типа зарядов является возможность обеспечить любой из законов выгорания: нейтральный, прогрессивный или дигрессивный. Полученный прессованием трубчатый заряд бронируется по наружной поверхности, после чего с торца пропиливаются или фрезеруются щели на нужную глубину в необходимом количестве.

Требуемое изменение площади поверхности горения по времени работы обеспечивается подбором соответствующего соотношения между длинами канального $L_{\text{к}}$ и щелевого $L_{\text{щ}}$ участков.

За основу для сравнения с канально-щелевым зарядом взят заряд твердого топлива для ракетного двигателя авиационной ракеты по патенту RU2459969 C1 F02K9/18 (2006.01) авторов Молчанова В.Ф., Прибыльского Р.Е., Рыжкова Г.Ф. и др. [5].

Этот заряд твердого топлива ракетного двигателя (рис.1) авиационной ракеты содержит забронированную по боковой поверхности и переднему торцу шашку твердого ракетного топлива со звездообразным каналом. Звездообразный канал шашки выполнен в виде 6-лучевой звезды с равномерно чередующимися выступами и впадинами с шириной (B) и высотой (H) выступов звездообразного канала $0,25...0,30e$, где

$$e = \frac{d_{\text{ш}} - d_{\text{вп}}}{2}, \quad (1)$$

$d_{\text{ш}}$ - диаметр по боковой поверхности шашки,

$d_{\text{вп}}$ - диаметр канала шашки по впадинам звездообразного профиля,

e - горящий свод.

Форма заряда обеспечивает двухрежимность расходной характеристики ракетного двигателя за счет соответствующих зависимостей $S(e)$, $p(\tau)$, где S - горящая поверхность заряда ТРТ, p - давление в камере сгорания (КС), в виде форсажного режима и последующего в основном прогрессивного маршевого режима (рис.2). Такая форма заряда потребовалась для снижения влияния факела РДТТ стартующих авиационных ракет в режиме залпа из-под фюзеляжа самолета на работоспособность двигателя самолета а именно: исключить помпаж АД, за счет «засасывания» факела РДТТ стартующих ракет в воздухозаборник АД.

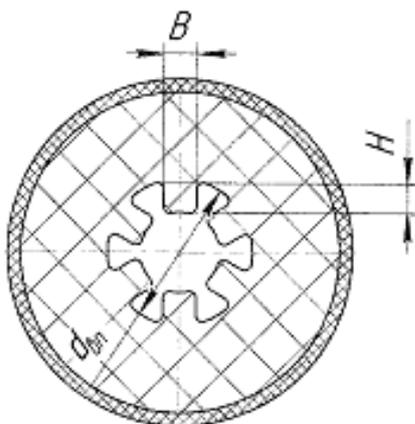


Рис.1. Заряд твердого топлива со звездообразным центральным каналом.

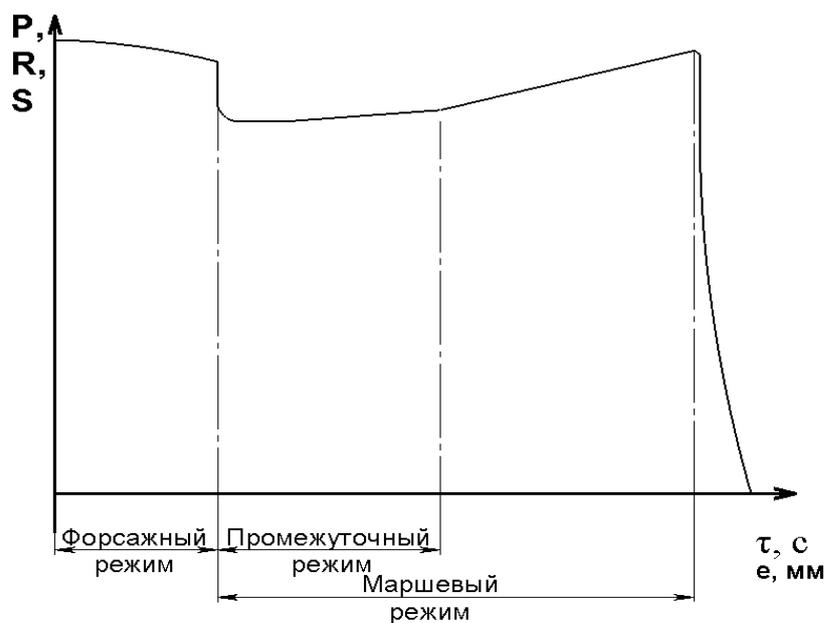


Рис.2. Расходная характеристика ракетного двигателя

Шашка твердого ракетного топлива со звездообразным каналом в виде 6-лучевой звезды приведена на рис.3.

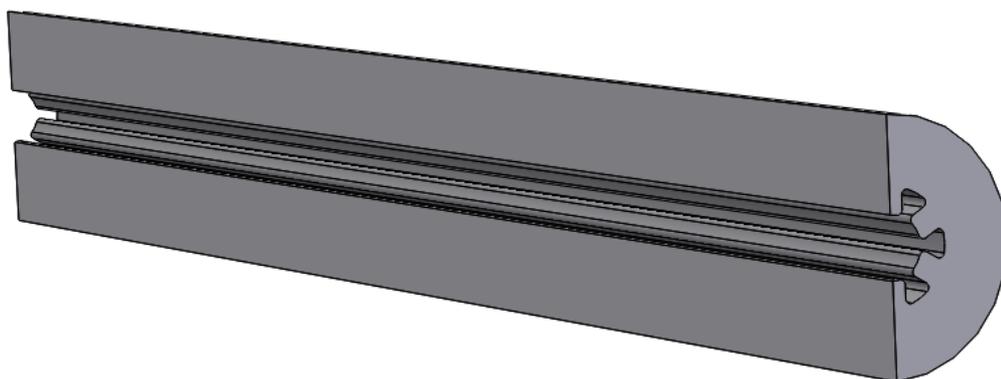


Рис.3. Шашка твердого ракетного топлива со звездообразным каналом в виде 6-лучевой звезды

Размеры шашки заряда взяты: длина $L_{ш}=685$ мм, диаметр шашки $d_{ш}=72,5$ мм, диаметр канала $d_k=18$ мм, диаметр впадин канала $d_{вп}=33$ мм, $B=7,5$ мм, $H=7,5$ мм. Масса шашки составила 3,35 кг. Время работы двигателя 0,79 с. Суммарный импульс тяги равен $8375H \cdot c$.

Канально-щелевая шашка твердого топлива приведена на рис.4. Габариты (длина, наружный диаметр и диаметр внутреннего канала) канально-щелевой шашки взяты такими же как и у шашки со звездообразным каналом: длина $L_{ш}=685$ мм, $d_{ш}=72,5$ мм, $d_k=18$ мм. Размеры щелей подобраны из условия обеспечения коэффициента Победоносцева для давления в камере РДТТ 260 кгс/см^2 и расходной характеристики РДТТ, приведенной на рис. 1, в части форсажного режима.

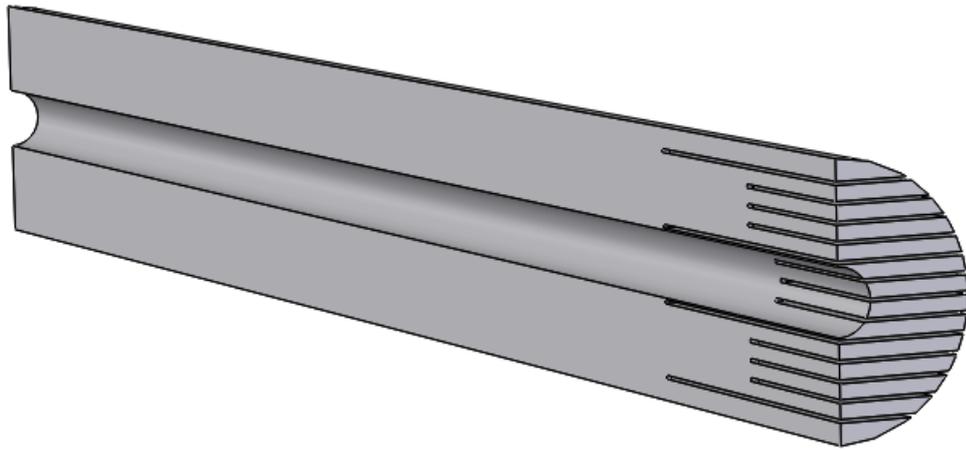


Рис.4. Канально-щелевая шашка твердого ракетного топлива

Масса канально-щелевой шашки составила 3,75 кг. Время работы двигателя 1,09 с. Суммарный импульс тяги равен 9250 Н·с.

Применение канально-щелевого заряда позволило увеличить массу топлива на 0,4 кг и получить увеличение суммарного импульса тяги РДТТ на 12%, при этом обеспечить закон горения твердого топлива в части формирования форсажного режима работы РДТТ такой же, как при использовании звездообразного заряда.

Выводы

Использование канально-щелевого заряда позволяет:

- получить увеличение суммарного импульса тяги РДТТ;
- избавиться от дегрессивно догорающих при низких давлениях остатков твердого топлива;
- вследствие своей универсальности и технологичности обеспечивать любые расходные характеристики ракетного двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абугов Д. И., Бобылев В. М. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.: ил.
2. Фахрутдинов И. Х., Котельников А. В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.: ил.
3. Алемасов В. Е. и др. Теория ракетных двигателей: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов/ В. Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А. П. Тишин; Под ред. В. П. Глушко – М.: Машиностроение, 1980. – 533 с.: ил.
4. Соркин Р. Е. Теория внутри камерных процессов в ракетных системах на твердом топливе. – М.: Наука, 1983. – 288 с.: ил.
5. RU2459969 С1 F02K9/18 (01.2006) авторов Молчанова В.Ф., Прибыльского Р.Е., Рыжкова Г.Ф. и др.

УЛУЧШЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НАР С-8

Романов¹ Владимир Викторович, Демин¹ Роман Владимирович,
Брагунов^{1,2} Егор Яковлевич, Головки² Кристина Сергеевна,
Шальнев² Владимир Андреевич, Дюднев² Денис Сергеевич

¹АО Институт прикладной физики, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

В данной работе показано, что улучшение аэродинамической формы НАР С-8, путем применения баллистического обтекателя головной части осивальной формы увеличивает дальность ракет на 20%.

In this job, it is shown that the improvement of the aerodynamic shape of the uncontrolled aircraft missile S-8, by using the ballistic tip of the circular arc from increases the range by 20%.

В настоящее время на вооружении находятся ракеты С-8КОМ, С-8БМ, С-8ДМ, С-8Т, С-8ДФ, С-8-ОМ, С-8ПМ, С-8ЦМ, которые показаны на рисунке 1, а основные технические характеристики приведены в [1].



Рис. 1. Типы ракет С-8

Широкая номенклатура разработанных в АО "Институт прикладной физики" и освоенных в производстве НАР позволяет авиации решать стоящие перед ней задачи по поражению наземных целей самого различного типа. Неуправляемые авиационные ракеты широко применялись во всех локальных конфликтах с участием Советского Союза, в настоящее время применяются в горячих точках, где действует российская армия или авиация российского производства.

Учитывая тенденции развития вооружения и военной техники, в особенности самолетов и вертолетов, в настоящее время стала актуальной задача дальнейшего совершенствования и модернизации систем авиационного ракетного вооружения, в том числе и НАР. Опыт военных конфликтов показывает, что для авиации решающее значение приобретает преодоление средств ПВО. Безусловно, радикальное решение проблемы это нахождение ракетносителей (самолетов, вертолетов) при пуске на расстояниях не доступных для средств противовоздушной обороны (ПВО). При этом дальности действия авиационных ракет должны превышать дальность действия ракет средств ПВО для осуществления возможности поражения этих средств ПВО без необходимости захода ракетносителей (самолетов, вертолетов) в зону действия ПВО.

В связи с этим, в целях расширения боевых и тактических возможностей авиационных носителей (самолетов, вертолетов) целесообразно предпринять дополнительные меры по увеличению дальности стрельбы НАР.

Решение проблемы увеличение дальности стрельбы для НАР представляет особенно большую трудность по следующим причинам:

Существуют жесткие ограничения массогабаритных характеристик НАР;

Существуют ограничения на состав топлив.

В данной работе рассматриваются возможности увеличения дальности стрельбы НАР С-8 за счет улучшения аэродинамической формы головной части (ГЧ). Ракеты С-8 существенно отличаются друг от друга по форме ГЧ. Несмотря на то, что в научно-технической литературе хорошо описаны методы увеличения дальности снарядов и ракет за счет улучшения аэродинамической формы, оптимизация формы головной части НАР С-8 не проводилась, поскольку требования по дальности пуска на момент их разработки были невысокие и легко выполнялись. Кроме того определение коэффициентов и сил аэродинамического сопротивления на тот момент проводилось экспериментальными методами и было дорогостоящей, длительной по времени операцией.

В работе [2] проведен анализ перспективных методов увеличения дальности в том числе и за счет улучшения аэродинамических характеристик ГЧ. Показано, что лучшей формой ГЧ снарядов является коническая или оживальная (радиус оживала 5...15 клб.). Типичные формы ГЧ представлены на рисунке 2.

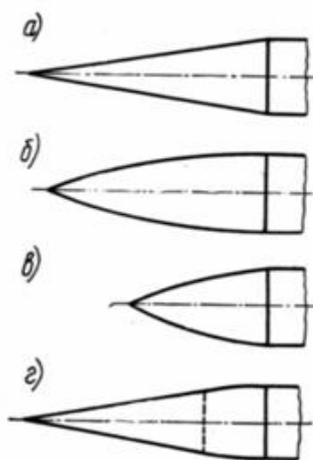


Рис. 2. Типичные формы заостренных головных частей а) – конус; б) – оживальная (параболическая) касательная головная часть; в) - оживальная (параболическая) секущая головная часть; г) – комбинированная головная часть (конус с оживалом)

В данной работе форма ГЧ принята оживальной, сопрягаемой по касательной с цилиндрической частью ракеты. Предложен баллистический обтекатель с радиусом оживала 5 клб, по габаритам не выходящий за пределы обтекателей существующих головных частей

НАР С-8. В работе проведено сравнение аэродинамических коэффициентов сопротивления штатного изделия и изделия с обтекателем улучшенной аэродинамической формы. Работа выполнена расчетным методом с помощью программы Flow Simulation встроенной в Solid Works. Расчет проведен на примере ракеты С-8ДФ с использованием ее 3-D модели. Определялась сила сопротивления и рассчитывался коэффициент аэродинамического сопротивления ракеты при разных скоростях полета. По полученным данным коэффициентов аэродинамического сопротивления проводился траекторный расчет для типовых условий пуска НАР С-8 с вертолетов. На рисунках 3 и 4 показано обтекание НАР С-8 с различной формой ГЧ при скоростях обтекания 1,3М. Для приведенного случая рассчитанные коэффициенты аэродинамического сопротивления составляли $C_x = 1.02$ для штатной ракеты и $C_x = 0.72$ для ракеты с аэродинамическим обтекателем.

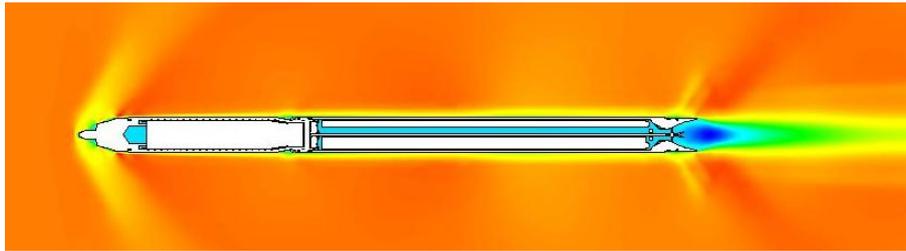


Рис. 3. Обтекание штатной ракеты С-8 ДФ потоком воздуха со скоростью 1,3М

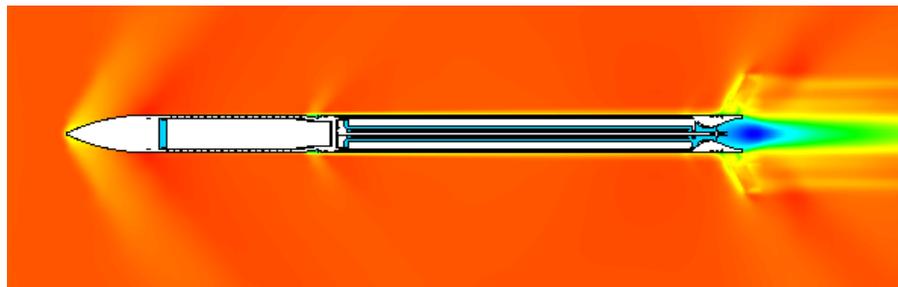


Рис. 4. Обтекание штатной ракеты С-8 ДФ с баллистическим обтекателем потоком воздуха со скоростью 1,3М

Сравнительные характеристики траекторий для НАР С-8 определялись при решении системы уравнений движения ЛА в вертикальной плоскости.

Расчёты траекторий движения НАР и их скоростей производились на ЭВМ в среде *Microsoft Excel* для условий стрельбы НАР с вертолетов на наибольшую дальность.

Условия пуска НАР с вертолета: скорость вертолета 50 м/с; угол кабрирования 20^0 ; высота полета 20м. Значения аэродинамических коэффициентов сопротивления при различных скоростях полета взяты из предварительных расчетов.

Результаты расчета траектории полета штатной НАР приведена на рисунке 5, траектории полета штатной НАР с аэродинамическим обтекателем приведена на рисунке 6.

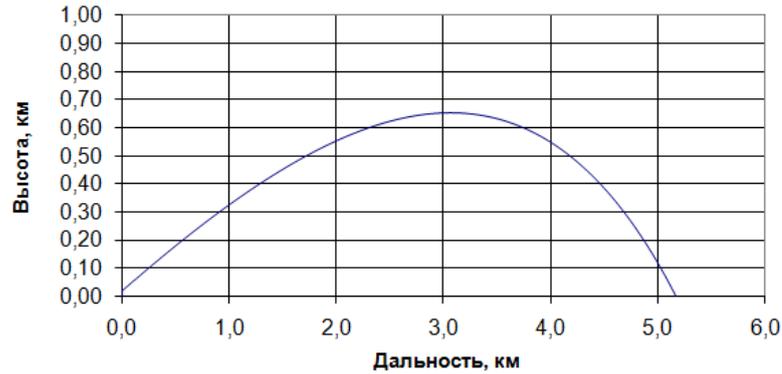


Рис. 5. Траектория полета штатной ракеты С-8 ДФ

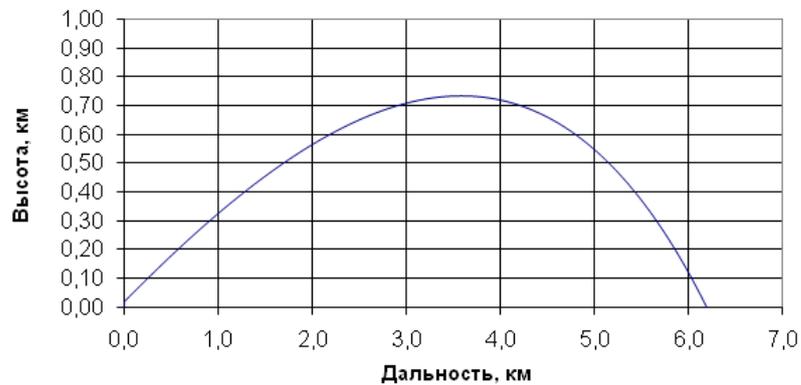


Рис. 6. Траектория полета штатной ракеты С-8 ДФ с баллистическим обтекателем

Из рисунков 5 и 6 видно, что применение обтекателя повышает дальность полета штатной НАР на 20%.

Проведено также исследование влияния баллистического наконечника на дальность пуска дальнобойных НАР с модернизированным РДТТ повышенной энергетики.

Результаты расчета траектории полета НАР, с модернизированным РДТТ повышенной энергетики без обтекателя, приведены на рисунке 7. Траектории полета НАР, с аэродинамическим обтекателем и с модернизированным РДТТ повышенной энергетики, приведены на рисунке 8. Получено повышение дальности полета также на 20%.

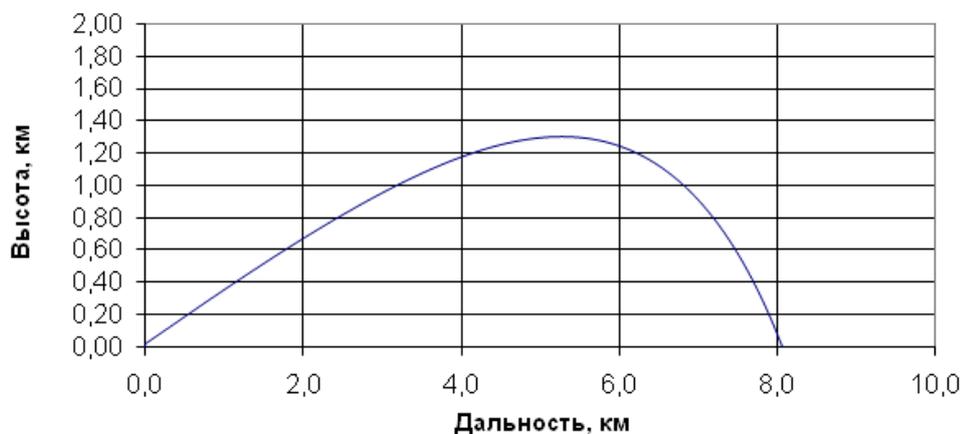


Рис. 7. Траектория полета ракеты С-8 ДФ без обтекателя с модернизированным РДТТ

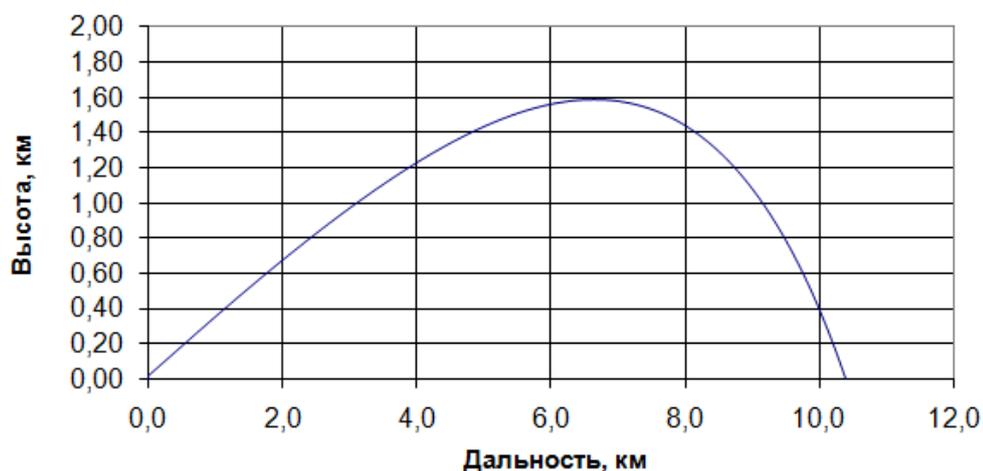


Рис. 8. Траектория полета ракеты С-8 ДФ с модернизированным РДТТ и обтекателем

Выводы

Применение аэродинамического обтекателя позволяет повысить на 20% дальность НАР С-8ДФ при типовых условиях пуска.

Данная работа показывает влияние оптимизации аэродинамических параметров на характеристики НАР, что в дальнейшем должно учитываться при модернизации старых и проектировании перспективных НАР (габариты, центр масс и аэродинамические параметры на всех новых НАР должны быть оптимизированы и идентичны).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Оружие России. М.: Изд. ООО «Военный парад», 2006г.
2. Современное состояние и перспективы развития артиллерийских систем. (Обзор по материалам открытой печати). М.: НТЦ «Информтехника», Оборонная техника, №10-11, 2005 г.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК

Романов Владимир Викторович¹, Рыжков Геннадий Федорович¹,
Брагунцов Егор Яковлевич^{1,2}, Зубашевский Константин Михайлович²

¹АО Институт прикладной физики, Россия, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

В данной работе обосновывается способ изготовления тонкостенных высокопрочных стальных оболочек, сущность которого заключается в ротационной вытяжке (РВ) оболочек из стальных закаленных заготовок. Показано, что при применении этого способа упрочнение материала происходит последовательно сначала в процессе закалки заготовок, а затем в результате деформационного упрочнения в процессе РВ. Изготовление предлагаемым способом позволяет получить дополнительное увеличение прочности и изготавливать изделия меньшей массы за счет уменьшения толщины стенки. Способ может быть использован для изготовления газовых баллонов и труб высокого давления, легких огнетушителей, корпусов гидроцилиндров и ракетных двигателей, гильз снарядов и цилиндров двигателей внутреннего сгорания.

In this work is proposed a method of manufacturing thin-walled high-strength steel shells, the essence of which lies in the rotary drawing of shells of tempered steel billets. It is shown that when applying this method, the hardening of the material occurs sequentially: first, in the process of hardening the blanks, and then as a result of the deformation hardening in the process of rotary drawing. Production in the offered way allows to obtain an additional gain of strength and to make products with a smaller weight at the expense of reduction of wall thickness. The method can be used for the manufacture of gas cylinders and high pressure pipes, light fire extinguishers, hydraulic cylinder and rocket engines housings, projectiles shells and cylinders of internal combustion engines.

Для изготовления высокопрочных тонкостенных стальных оболочек типа труб, баллонов высокого давления, корпусов перспективных ракетных двигателей используются высокопроизводительные методы обработки давлением. Наиболее широкое распространение получили горячая и холодная штамповка, ротационное выдавливание (РВ) оболочек из стальных трубчатых заготовок .

Деформационное упрочнение, возникающее при обработке металлов давлением, не обеспечивает необходимых механических свойств даже при больших, близких к предельным степеням деформации. Поэтому высокие значения прочности обычно получают окончательной термической обработкой стальных оболочек по режимам: закалка + отпуск.

Реализация технологических процессов с использованием таких способов упрочнения при изготовлении тонкостенных высокопрочных оболочек наталкивается на ряд трудностей:

- * закалка требует разработки специальных приспособлений для предотвращения поводок при закалке;
- * образующуюся при закалке окалину внутри обечаек сложно удалять;
- * образование окалины вызывает изменение геометрических размеров тонкостенной обечайки;
- * при закалке обезуглероживается поверхностный слой, что для тонкостенных оболочек вызывает изменение свойств.

Таким образом необходима разработка новых способов изготовления легких тонкостенных высокопрочных стальных оболочек.

В данной работе обосновывается способ изготовления тонкостенных высокопрочных

стальных оболочек сущность которого заключается в ротационной вытяжке (РВ) оболочек из стальных заготовок имеющих высокую прочность, полученную закалкой и отпуском металла на бейнит или мартенсит отпуска. В этом способе упрочнение материала происходит последовательно сначала в процессе закалки а затем в результате наклепа в процессе деформационного упрочнения. Хорошо известно, что невозможно просуммировать в полной мере прочность возникающая в материале при закалке и прочность от наклепа. Так, например, в научно-технической литературе описана обработка по схеме закалка на мартенсит + малая пластическая деформация + низкий отпуск (отжиг) называемая марформингом [1]. Если создать высокую прочность в заготовке с помощью закалки и отпуска на мартенсит, как при марформинге, то возможности дальнейшей обработки невелики из-за малой пластичности мартенсита 3-5%. Деформация на 3-5% не позволит получить геометрические размеры детали. Поэтому считалось, что марформинг при ротационной вытяжке, где металл деформируется на 30%-80%, невозможен и поэтому не осуществлялся поиск условий, при выполнении которых такая обработка осуществима.

Способность материалов к обработке давлением обычно характеризуется предельной степенью деформации ($E_{пр}$) при которой разрушение не наблюдается. При разработке технологического процесса рекомендуется назначать максимальную степень деформации (E_{max}) на 10-15% ниже предельной степени деформации ($E_{пр}$). Учитывая, что РВ, как правило, осуществляется с максимальной деформацией 60-65% за один переход, то предельная деформация составит 70-75%. Возникает вопрос: выдержат ли такую предельную степень деформации закаленные материалы без разрушения?

Предложено для оценки предельной степени деформации материала при РВ высокопрочных тонкостенных стальных оболочек использовать зависимость

$$E_{пр} = \psi / (0,17 + \psi / 100), \quad (1)$$

определяющей связь между предельной степенью деформации $E_{пр}$ и относительным сужением образца ψ при испытании материала на растяжение как это сделано фирмой «Цинцинати» (США) для определения предельной деформации при РВ конических деталей. Расчеты показывают, что такую предельную степень деформации выдержат материалы в том числе и закаленные, у которых относительное сужение ψ не ниже 30%, при этом пластичность сталей не лимитируется.

Это условие не только ограничивает круг используемых материалов, но и накладывает требование к их структурному состоянию, которое с одной стороны должно обеспечивать максимально возможную удельную прочность материала (σ_v/ρ), а с другой должно обеспечивать выполнение условия (1).

При выборе материала целесообразно также руководствоваться и следующими общими требованиями [2]:

- ◆ технологичность, недефицитность и дешевизна исходных материалов;
- ◆ сохранение в течение всего периода эксплуатации характеристик в требуемом диапазоне.

Анализ свойств сталей в различном структурном состоянии исходя из указанных критериев показал, что наиболее приемлемыми материалами являются:

- среднеуглеродистые конструкционные качественные стали типа сталь 40, сталь 45 после закалки и отпуска имеющие механические свойства $\Psi > 40\%$;
- низколегированные конструкционные стали типа 30ХГСА, 30ХГСН2А после закалки и отпуска имеющие механические свойства $\Psi > 40\%$;
- низколегированные инструментальные стали типа 4ХС, 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХМФС, имеющие механические свойства после закалки и отпуска $\Psi > 40\%$.

Обработка технологии изготовления производилась на корпусах РДТТ. Корпуса ракетного двигателя изготавливались из стали 30ХГСН2А, 30ХГСА, стали 40 ротационным выдавливанием за один переход заготовок, закаленных и отпущенных до получения разных механических свойств. Механические свойства заготовок и корпусов составляли:

- 1) 30ХГСА без т.о., после РВ один переход $\sigma_B=1060$ Мпа;
- 2) 30ХГСА после закалки и отпуска $\sigma_B=960$ Мпа, $\Psi \geq 50\%$, после РВ один переход $\sigma_B=1300$ Мпа ;
- 3) 30ХГСА после закалки и отпуска $\sigma_B=1100$ Мпа, $\Psi \geq 50\%$, после РВ один переход $\sigma_B=1600$ Мпа ;
- 4) 30ХГСН2А после закалки и отпуска, $\sigma_B=1500$ Мпа, $\Psi \geq 50\%$, после РВ один переход $\sigma_B=1800$ Мпа ;
- 5) 30ХГСН2А после закалки и отпуска, $\sigma_B=1800$ Мпа, $\Psi \geq 50\%$, после РВ один переход $\sigma_B=2200$ Мпа;
- 6) сталь 40 после закалки и отпуска, $\sigma_B=1500$ Мпа, $\Psi \geq 40\%$, после РВ один переход $\sigma_B=1800$ Мпа;

Механические свойства определялись испытанием образцов на разрывной машины РМ-105.

Температура закалки и отпуска обеспечивала формирование в металле структур бейнита и мартенсита.

Снятие окалины и обезуглероженного слоя осуществлялось на заготовках снятием припуска механической обработкой. Ротационное выдавливание корпусов осуществлялось на давяльно-вытяжном станке модели DW 560-1/2-9/1 фирмы "Leifeld". Ротационное выдавливание осуществлялось тремя роликами с рабочими углами $\alpha_1=15^\circ$, $\alpha_2=20^\circ$, $\alpha_3=33^\circ$, задним углом 10° , шириной калибрующего пояса 3,5мм.

Режимы ротационного выдавливания: число оборотов оправки $N=380$ об/мин., продольная подача $S=380$ мм/мин.

Ротационное выдавливание заготовок за один переход проводилось со степенью деформации $\varepsilon \approx 65\%$. При этом разрушение материала корпуса после ротационного выдавливания не наблюдалось. Геометрические размеры корпуса соответствовали чертежу. Контроль диаметральных размеров осуществлялся микрометром типа МК 75-100-0,01 ГОСТ 6507-60 и нутромером индикаторного типа НИ 75-100-0,01 ГОСТ 868-63.

Определение механических свойств изделия показало, что в результате ротационного выдавливания прочность материала корпуса во всех случаях дополнительно увеличилась на не менее чем 300МПа. На сталях достигнуты максимальные значения прочности, которые невозможно получить с помощью закалки или деформационным упрочнением отдельно. Минимальные толщины стенок корпусов, полученные указанным способом, составляли 0,4 мм.

Для снятия внутренних напряжений применялся низкотемпературный отжиг, не изменяющий механические свойства (при температуре не выше 450°C). При таком отжиге окалина не образуется, поверхностный слой не обезуглероживается.

Таким образом, предлагаемый способ может быть использован для изготовления стальных тонкостенных высокопрочных корпусов ракетного двигателя. Способ может быть использован также для изготовления газовых баллонов и труб высокого давления, легких огнетушителей, корпусов гидроцилиндров, гильз снарядов и цилиндров двигателей внутреннего сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гуляев А.П. Металловедение.-М.: Металлургия, 1978г.
2. Брагунцов Е.Я., Куракин А.П., Рыжков Г.Ф. Выбор материалов для корпусов перспективных РДТТ. - Современные проблемы машиностроения. Труды II Международной научно-технической конференции.-Томск. Изд-во ТПУ, 2004.-594с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ СНАРЯЖЕНИЯ БРОНЗОВОЙ ПУДРОЙ ИЗДЕЛИЙ ПОСТАНОВЩИКОВ ХМЗ НА ФОРМУ, РАЗМЕРЫ И МАСКИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Владимир Викторович Романов¹, Александр Викторович Зорин¹,
Егор Яковлевич Брагунцов^{1,2}, Евгений Александрович Корнаков^{1,2},
Андрей Сергеевич Иванов³, Игорь Дмитриевич Поникарев³

¹ АО Институт прикладной физики, г. Новосибирск

² Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск

³ АО "НМЗ "Искра" г. Новосибирск-Пашино

В данной работе проведен анализ влияния плотности снаряжения бронзовой пудрой изделий постановщиков ХМЗ на маскирующие характеристики аэрозольных образований, полученных взрывным методом диспергирования. Показано что увеличение плотности снаряжения пропорционально увеличивает максимальный объем непрозрачности аэрозольных образований.

In this work, an analysis is made of the influence of the density of brass powder IR munitions on the masking characteristics of aerosol formations obtained by the explosive dispersion method. It is shown that an increase in the density of the filling proportionately increases the maximum opacity of aerosol formations.

Для обеспечения работоспособности изделий постановщиков холодных маскирующих завес (ХМЗ) снаряженных металлической пудрой необходимо образовывать непрозрачную маскирующую завесу (МЗ) с достаточными для маскирования объектов геометрическими размерами. Постановка аэрозольных образований необходимых размеров может осуществляться за счет использования взрывного метода диспергирования, который позволяет уменьшить время постановки завесы, а также обеспечивает увеличение поперечных размеров МЗ в 1,5...2 раза по сравнению с завесами, поставленными центробежным или аэродинамическим методом [1]. Следовательно, при использовании взрывного метода диспергирования, необходимо снаряжать изделие большим количеством аэрозолеобразующего состава (АОС). Это достигается путем снаряжения в контейнеры металлической пудры до более высоких плотностей. При этом при использовании взрывного диспергирования можно ожидать проявления таких эффектов как слипание, сваривание, частичное компактирование частиц пудры. Поэтому существует необходимость проведения исследования влияния плотности снаряжения бронзовой пудры на форму, размеры и маскирующие свойства аэрозольных образований.

В данной работе объектом испытаний являлись стендовые изделия кассеты (см. рисунок 1). Изделия предназначены для испытаний в статических условиях (без отстрела из пускового устройства).

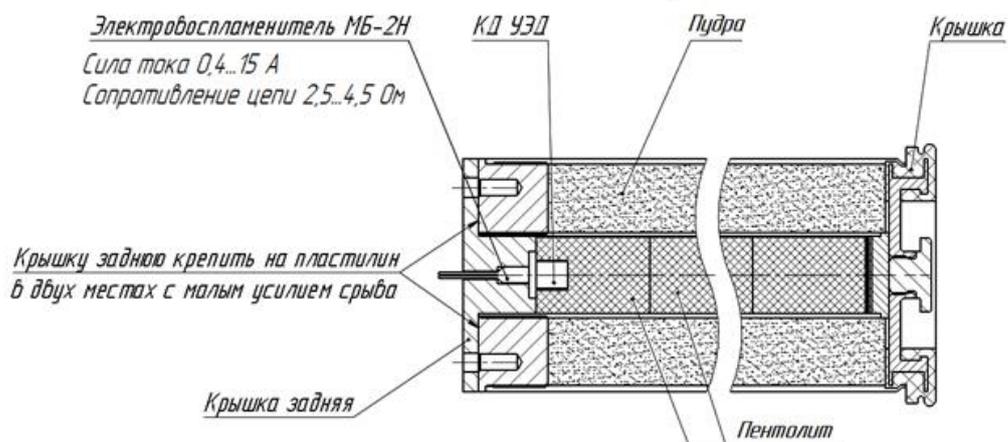


Рис.1. Конструктивная схема испытуемого стендового изделия
Особенности снаряжения стендового изделия приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ изделия	Особенности сборки изделий					
	Снаряжение	Плотность снаряжения, $\rho, \text{г/см}^3$ ($V=320\text{см}^3$)	Масса пудры, г	ВВ	Масса ВВ, г	$\beta=M_{\text{ВВ}}/M_{\text{пудры}}$
1	Эксперимент №1	1,31	420	пентолит	35	1/12
2	Эксперимент №2	3,20	1022	пентолит	35	1/29.2

Примечания:

- В экспериментах №1 использовалась бронзовая пудра насыпной плотности $\rho=1,31\text{г/см}^3$. Снаряжение контейнеров пудрой осуществлялось усилием руки.
- В экспериментах №2 снаряжение контейнеров пудрой осуществлялось прессованием на гидравлическом прессе усилием 1 500 000 Н до плотности $\rho=3,2\text{ г/см}^3$.
- Во всех экспериментах использовалось ВВ пентолит марки 90/10 ТУ 7511903-598-92 состава 90% ТЭН, 10% тротил насыпной плотности. Снаряжение контейнеров осуществлялось усилием руки.
- Во всех экспериментах масса ВВ была одинаковой и составляла 35г.

Испытания проводились на полигоне АО «НМЗ «Искра». Подрыв происходил на высоте 2м. Съемка с помощью камер видеорегистрации происходила в двух ракурсных перпендикулярных плоскостях: фронтальной и профильной. По результатам видеосъемки определялись геометрические размеры и продолжительность существования аэрозольных образований в видимом диапазоне электромагнитного излучения при временах разлета 0.033с, 0.067с, 0.100с, 3.000с, 11.000с. Результаты испытаний приведены в [2].

В данной работе проведен анализ влияния плотности снаряжения бронзовой пудры на маскирующие характеристики аэрозольных образований.

На рисунках 2.1 - 2.2, в качестве примера, приведено сравнение размеров, формы и маскирующих свойств аэрозольных образований из бронзовой пудры, снаряженной в стендовые изделия по двум вариантам (см. рис.1, табл.1) в моменты времени 0,067с и 11с.

Проведенные исследования показывают, что форма аэрозольных образований во всех опытах в начальный момент до $\approx 3\text{с}$ близка к дискообразной с пилообразной боковой поверхностью. Интенсивное формообразование происходит в пределах 1с. Размеры аэрозольных образований после третьей секунды достигают 13-15 м. Под действием ветра и земной поверхности форма аэрозольных образований искажается.

Обнаружены особенности влияния снаряжения на маскирующие свойства аэрозольных образований.

Аэрозольное образование от контейнеров с плотностью снаряжения бронзовой пудры $\rho=1,31\text{г/см}^3$ прозрачно в видимом диапазоне начиная с момента образования $\approx 0.067\text{с}$ (см.рис.2.1а, 2.2а).

Аэрозольное образование от контейнеров с плотностью снаряжения бронзовой пудры $\rho=3,2\text{ г/см}^3$ непрозрачно в видимом диапазоне электромагнитного излучения в течении времени наблюдения ($\approx 11\text{с}$), его размеры составляли $\approx 13\text{-}15\text{м}$ (см. рис. 2б).

Маскирующая способность бронзовой пудры обеспечивается тем, что, будучи взвешенной в воздухе, она образует несферический аэрозоль, который ослабляет излучение, на него попадающее.



Рис.2.1. Сравнение размеров и формы аэрозольных образований из бронзовой пудры, ВВ пенталит 35г, вид спереди, момент времени 0.067с
 а) масса снаряжения 420 г, $\rho=1,31\text{ г/см}^3$
 б) масса снаряжения 1022 г, $\rho=3,2\text{ г/см}^3$

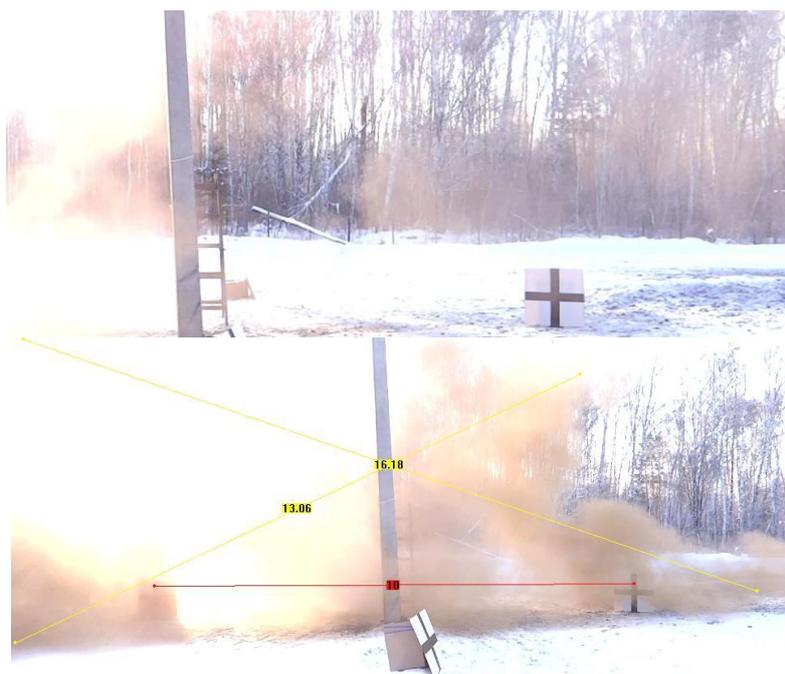


Рис.2.2. Размер и форма аэрозольных образований из бронзовой пудры, ВВ пенталит 35г, вид спереди, момент времени 11с
 а) масса снаряжения 420 г, $\rho=1,31\text{ г/см}^3$
 б) масса снаряжения 1022 г, $\rho=3,2\text{ г/см}^3$

Для прогнозирования требуемой минимальной плотности аэрозолеобразующего состава $\rho_{ло}$, обеспечивающей непрозрачность аэрозольных образований, используем критерий [3]:

$$\rho_{ло} = \frac{1 \cdot k}{(\sqrt{S_{кр}})^3} \quad (1)$$

где k - коэффициент несферичности частиц, при равновероятном распределении частиц $k = 2$. С учетом непрямоугольности частиц коэффициент k увеличивается в 1,25 раз и равен 2.5; $S_{кр}$, $см^2/г$ - кроющая способность бронзовой пудры.

Рассчитаны плотности непрозрачности $\rho_{ло}$ аэрозольных образований из бронзовой пудры, обеспечивающие их непрозрачность (см.табл. 2).

Максимально (предельно) допустимый объем аэрозольных образований при превышении которого аэрозольное образование становится прозрачным определяется как

$$V_{пр} = M / \rho_{ло}, \quad (2)$$

где M - масса снаряжения (пудры) в изделии;

$\rho_{ло}$ - плотность непрозрачности аэрозолеобразующего состава в (см. табл. 2);

$V_{пр}$ - предельный объем непрозрачности маскирующей завесы (МЗ) для конкретной массы снаряжения.

В таблице 2 приведены рассчитанные для массы снаряжения 420г и 1020 г предельные объемы $V_{пр}$ МЗ, непрозрачных для света и ИК-излучения.

Таблица 2

Плотности непрозрачности аэрозольных образований снаряженных бронзовой пудрой (БП) с различной плотностью снаряжения

Наименование БП	$S_{кр}, см^2/г$	Плотность снаряжения ρ , г/см ³	Плотность непрозрачности $\rho_{ло}$, г/м ³	Предельный объем непрозрачности $V_{пр}$, м ³ расчет
Эксперимент №1	9000	1,31	2,93	143,3
Эксперимент №2	9000	3,2	2,93	348,8

Из таблицы видно, что увеличение плотности снаряжения пропорционально увеличивает максимальный объем непрозрачных аэрозольных образований $V_{пр}$, м³. Если при взрывном диспергировании образуются аэрозольные образования таких больших размеров, что они превышают по объему приведенные в таблице максимальные (предельные) объемы непрозрачных аэрозольных образований, то такие аэрозольные образования прозрачны.

Сопоставление расчетных значений максимальных объемов непрозрачных аэрозольных образований и размеров полученных при взрывном диспергировании показывает что:

1. при использовании снаряжения из бронзовой пудры с плотностью $\rho = 3,2$ г/см³ взрывное диспергирование обеспечивает размеры аэрозольных образований, не превосходящие максимальные размеры (объемы) непрозрачных аэрозольных образований, поэтому аэрозольные образования образуются непрозрачными.
2. при снаряжения изделий бронзовой пудрой с плотностью $\rho = 1,31$ г/см³ взрывное диспергирование обеспечивает размеры аэрозольных образований, значительно превосходящих максимальные размеры (объемы) непрозрачных аэрозольных образований, поэтому аэрозольные образования становятся прозрачными уже в момент их формирования.

Выводы

1 Увеличение плотности снаряжения пропорционально увеличивает максимальный объем непрозрачности аэрозольных образований $V_{пр}$, м³.

2 Размеры аэрозольных образований при взрывном диспергировании изделий калибра 60 мм достигают 13-15 м.

3 Аэрозольные образования от изделий с плотностью снаряжения бронзовой пудры $\rho = 1,31$ г/см³ прозрачны в видимом диапазоне начиная с момента образования $\approx 0,067$ с.

4 Аэрозольные образования от изделий с плотностью снаряжения бронзовой пудры марки $\rho = 3,2$ г/см³ непрозрачны в видимом диапазоне электромагнитного излучения в течении времени наблюдения (≈ 11 с).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Юровский Е.К., Ивания С.П., Боеприпасы пассивных помех для противодействия высокоточному оружию: Учебное пособие. — Новосибирск: НГТУ, 2002 г. — 56 с.
2. Протокол испытаний № 39-04-18 «Стендовые испытания изделий постановщиков ХМЗ калибра 60 мм при выполнении работ по разработке перспективных схем диспергирования порошковых составов», АО ИПФ, Новосибирск, 2018 г.
3. Брагунцов Е.Я., Романов В.В., Хребтова М.С., Прогнозирование маскирующей способности аэрозолеобразующих составов для изделий постановщиков маскирующих завес в ИК-диапазоне длин волн. НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ //Сборник научных трудов в 10 ч. / под ред. д.т.н. Гуськова А.В. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – Часть 10. – 171 с.

УВЕЛИЧЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ПОЛЕТА НАР С-8.

Владимир Викторович Романов¹, Геннадий Федорович Рыжков¹,
Егор Яковлевич Брагунцов^{1,2}, Марк Вадимович Кравец²,
Егор Алексеевич Кузнецов²

¹ АО Институт прикладной физики, г. Новосибирск

² Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск

Данная работа посвящена увеличению дальности полета неуправляемых авиационных ракет С-8 за счет улучшения коэффициента массового совершенства двигателя. Показано, что использование канально-целевого заряда твердого топлива и стальных высокопрочных тонкостенных корпусов позволило без изменения массогабаритных характеристик РДТТ улучшить коэффициент массового совершенства с 1,26 до 0,62, вдвое увеличить суммарный импульс тяги РДТТ НАР С-8 с 6100 Н·с до 14250 Н·с и при этом увеличить дальность полета в 1,6 раз.

This work is devoted to increasing the range of unguided S-8 air missiles, due to the improvement of the mass-perfection coefficient of the engine. The increase of the total impulse is proposed to be achieved by profiling the charges. It is shown that the highest indices are achieved by using channel-slot charges.

Ввиду низкой боевой эффективности неуправляемых авиационных ракет (НАР), обусловленной:

- недостаточной дальностью полета;
- высоким площадным рассеянием и расходом боеприпасов;
- недостаточной результативностью стрельбы по мобильным целям,

целесообразно предпринять дополнительные меры по увеличению прицельной дальности стрельбы НАР. Причем дополнительные тактические возможности авиационным носителям открываются при стрельбе только с высот не менее 3500м (дальности более 6500м), поскольку действия авиации в условиях действия средств ПВО (ПЗРК) на высотах менее 3500м без специальных мер защиты становятся недопустимыми.

В данной работе рассматриваются возможности увеличения дальности стрельбы НАР С-8 за счет улучшения коэффициента массового совершенства двигателя. В этом случае появляются возможности не только для увеличения энергетики двигателя но также открываются дополнительные массогабаритные резервы, необходимые для оснащения ракеты в корректируемый вариант.

В настоящее время на вооружении находятся ракеты С-8КОМ, С-8БМ, С-8ДМ, С-8Т, С-8ДФ, С-8ОМ, С-8ПМ, С-8ЦМ [1]. Все ракеты базируются на едином ракетном двигателе твердого топлива (РДТТ), разработанном в АО "Институт прикладной физики". В конструкции двигателя используются прогрессивные методы формообразования корпуса из готового алюминиевого проката методом изотермической штамповки, применены оригинальные технические решения по очистке корпуса от пригаров, при нанесении теплозащитных и декоративно-защитных покрытий, существенно уменьшена трудоемкость изготовления, что позволило резко увеличить производство неуправляемых авиационных ракет. В 2007 году в связи с утерей качества производства высокопрочных алюминиевых труб была произведена замена алюминиевого корпуса на корпус из высокопрочной стали 30ХГСА, при этом характеристики РДТТ остались прежними. Основные характеристики РДТТ С-8 приведены в табл.1.

Заряд твердого топлива представляет собой цилиндрическую шашку со звездообразным 3- лучевым каналом. Заряд свободно вложенный, всестороннего горения. Заряд со звездообразным каналом дает возможность в заданных габаритах (D, L) получить

большую величину площади поверхности горения, но меньшее значение отношения толщины свода e_0 к диаметру заряда D e_0/D и, следовательно, худший коэффициент массового совершенства двигателя, а также более низкий суммарный импульс тяги РДТТ.

Таблица 1

Калибр, мм	80
Длина РДТТ без стакана, мм	1055
Масса двигателя, кг	7
Масса заряда ТТ, кг	3,1
Суммарный импульс тяги в диапазоне температур от 60° до -60°С, Н*С	5450- 6100
Время работы, с	0,45-1,3

Еще одним недостатком заряда со звездообразным каналом является наличие остатков топлива, дегрессивно догорающих при низких давлениях в камере сгорания и не дающих вклад в суммарный импульс тяги. Для устранения вылета из РДТТ дегрессивно догорающих остатков твердого топлива наружная форма заряда выполнена не цилиндрической а с выточками выполненными по форме догорающих остатков. Это приводит к уменьшению массы заряда на 6...10%. Применение свободно вложенного заряда также ограничивает возможности по улучшению коэффициента массового совершенства, поскольку требует больших зазоров между корпусом и зарядом для обеспечения выполнения требований по величине коэффициента Победоносцева для давления в камере РДТТ 260 кгс/см².



Рис.1. Заряд твердого топлива со звездообразным 3-лучевым центральным каналом.



Рис.2. Штатный РДТТ для НАР С-8 со звездообразным 3-х лучевым зарядом твердого топлива.

Уменьшить недостатки и повысить коэффициент массового совершенства РДТТ позволяет заряд твердого топлива для ракетного двигателя авиационной ракеты по патенту RU2459969 С1 F02К9/18 (2006.01) авторов Молчанова В.Ф., Прибыльского Р.Е., Рыжкова Г.Ф. и др. [2]. Этот заряд твердого топлива ракетного двигателя авиационной ракеты содержит бронированную по боковой поверхности и переднему торцу шашку твердого ракетного топлива со звездообразным каналом. Звездообразный канал шашки выполнен в виде 6-лучевой звезды с равномерно чередующимися выступами и впадинами.

Спроектирован РДТТ такой же длины как и штатный РДТТ с шашкой твердого ракетного топлива, бронированной по наружной поверхности, со звездообразным 6-лучевым каналом, подобно шашке по патенту [2]. При этом заряд имеет длину 885 мм, массу

5 кг. При использовании твердого топлива с удельным импульсом 2500 м/с суммарный импульс составил 12500 Н·с. Масса стального корпуса РДТТ составила 2,25 кг, масса РДТТ 9,2 кг. При максимальной массе БЧ 7,5 кг масса ракеты не превысила максимально допустимую массу 16,7 кг. Коэффициент массового совершенства двигателя изменился с 1,26 (у штатного) до 0,84.

Заряд для НАР С-8 с шашкой твердого ракетного топлива забронированной по наружной поверхности и со звездообразным 6-лучевым каналом приведен на рис. 3, а РДТТ с таким зарядом приведен на рис. 4.

Еще большее увеличение характеристик РДТТ достигается применением канально-щелевого заряда [4,5]. Спроектирован РДТТ такой же длины как и штатный РДТТ с канально-щелевым зарядом. При этом заряд при длине 885 мм имеет массу 5,7 кг. При использовании твердого топлива с удельным импульсом 2500 м/с суммарный импульс составил 14250 Н·с. Масса РДТТ 9,9 кг. Учитывая, что максимально допустимая масса ракеты 16,7 кг а БЧ 7,5 кг возникла необходимость общую массу РДТТ уменьшить до 9,2 кг. Это достигнуто за счет использования стальных высокопрочных тонкостенных корпусов изготовленных по способу с применением ротационной вытяжки закаленных заготовок [3]. Коэффициент массового совершенства двигателя изменился до 0,62.



Рис.3. Заряд твердого топлива со звездообразным 6-лучевым центральным каналом.

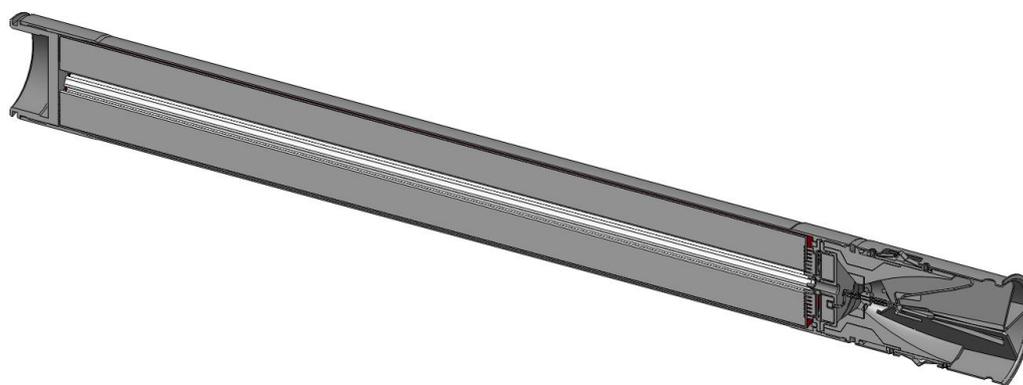


Рис.4. РДТТ для НАР С-8 со звездообразным 6-лучевым зарядом твердого топлива.

Канально-щелевой заряд для НАР С-8 приведен на рис. 5, а РДТТ с таким зарядом приведен на рис. 6.

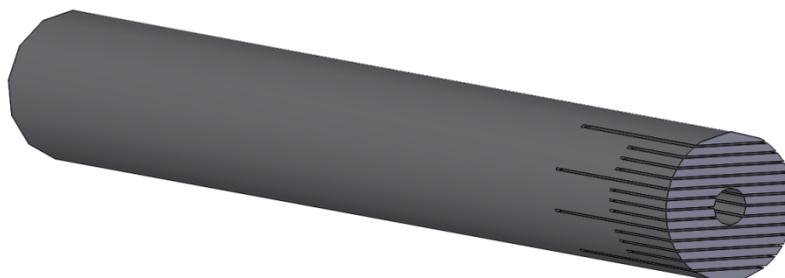


Рис.5. Канально-щелевой заряд твердого топлива.

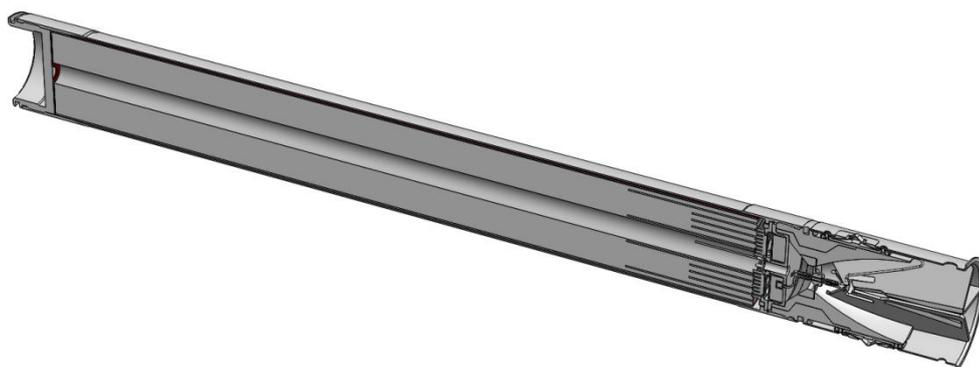


Рис.6. РДТТ для НАР С-8 с канално-щелевым зарядом твердого топлива.

Таким образом использование канално-щелевого заряда твердого топлива и стальных высокопрочных корпусов позволило вдвое увеличить суммарный импульс тяги РДТТ НАР С-8 с 6100 Н·с до 14250 Н·с, улучшить коэффициент массового совершенства с 1,26 до 0,62 и при этом сохранить длину РДТТ как штатного РДТТ.

Сравнительные характеристики траекторий для НАР С-8 с различными РДТТ определялись при решении системы уравнений движения ЛА в вертикальной плоскости. В проекции на оси скоростной системы координат уравнения движения в поле сил тяжести принимают вид:

$$\begin{aligned} m \frac{dV}{dt} &= P \cos(\alpha + \varphi_{\text{дв}}) - X - mg \sin \theta, \\ mV \frac{d\theta}{dt} &= P \sin(\alpha + \varphi_{\text{дв}}) + Y - mg \cos \theta + m \frac{V^2 \cos \theta}{R_3 + H} \end{aligned} \quad (1)$$

где m – переменная масса аппарата, V – скорость полета, t – время, P – сила тяги двигателя, X, Y – сила сопротивления и подъемная сила соответственно, θ – угол наклона траектории полета, g – ускорение свободного падения, R_3 – радиус Земли, H – высота полета, α – угол атаки аппарата, $\varphi_{\text{дв}}$ – угол установки двигателя относительно продольной оси аппарата. В расчетах принималось, что $\varphi_{\text{дв}} = 0$, направление силы тяги P совпадает с направлением оси двигателя.

Член $m \frac{V^2 \cos \theta}{R_3 + H}$ учитывает изменение центростремительного ускорения, обусловленное кривизной земной поверхности.

Процедура расчета учитывает изменение таких параметров атмосферы как плотность, ускорение свободного падения и скорость звука в зависимости от высоты.

К уравнениям движения (1) добавляются кинематические уравнения, связывающие дальность L и высоту полета H со скоростью и углом наклона траектории:

$$\begin{aligned} \frac{dL}{dt} = \frac{dx}{dt} &= V \cos \theta \frac{R_3}{R_3 + H}, \\ \frac{dH}{dt} = \frac{dy}{dt} &= V \sin \theta, \end{aligned} \quad (2)$$

а также уравнение изменения массы летательного аппарата вследствие сгорания топлива

$$m(t) = m_0 - \int_0^t G_c dt, \quad (3)$$

где G_c – секундный расход топлива, m_0 – начальная масса аппарата.

Интегрирование системы уравнений (1)-(3) проводилось численно методом Рунге-Кутты второго порядка с постоянным шагом по времени.

Расчёты траекторий движения НАР и их скоростей производились на ЭВМ в среде *Microsoft Excel* для условий стрельбы НАР с вертолетов на наибольшую дальность. Значения аэродинамических коэффициентов сопротивления при различных скоростях полета взяты из предварительных расчетов.

Условия пуска НАР с вертолета: скорость вертолета 50 м/с; угол кабрирования 20° ; высота полета 20м. Результаты расчета траекторий полета НАР с различными РДТТ приведены на рисунках 7-8. Максимальная скорость ракет при использовании модернизированного РДТТ увеличилась с 440 м/с до 1000 м/с.

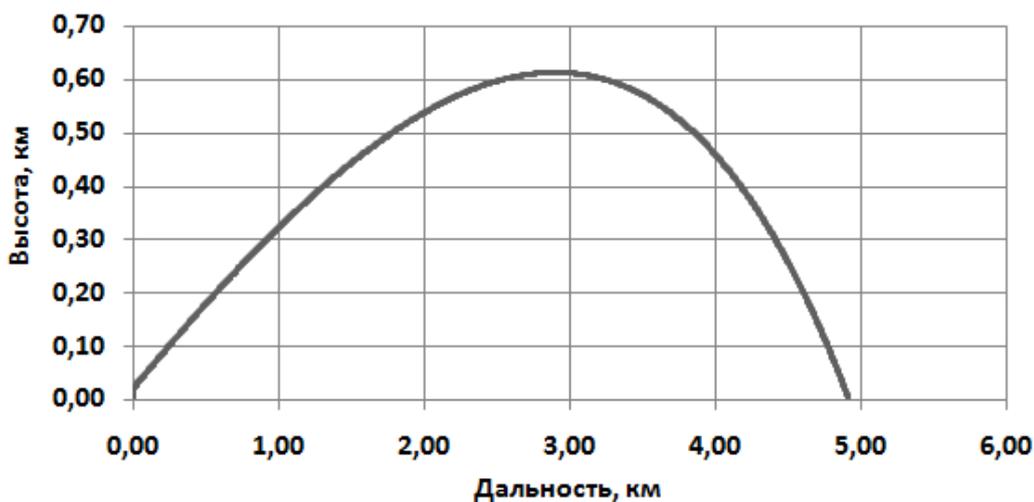


Рис. 7.Траектория полета ракеты со штатным РДТТ

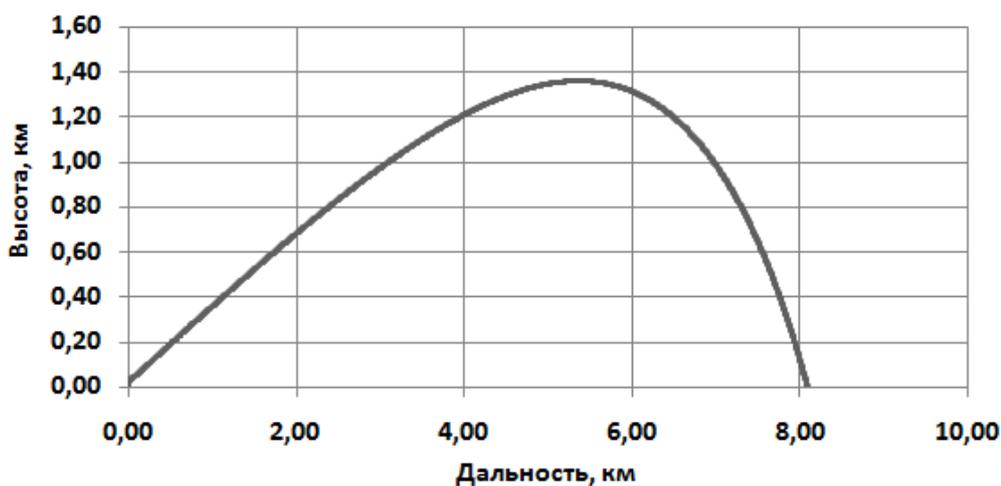


Рис. 8.Траектория полета ракеты с модернизированным РДТТ

Из результатов расчета представленных на рисунках 7-8 видно, что при использовании модернизированного РДТТ дальности пуска ракет увеличиваются от 5 км (штатный РДТТ) до 8 км, при этом обеспечивается возможность ведения боевых действий в условиях применения противником средств ПВО (переносных ПЗРК).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Оружие России. М.: Изд. ООО «Военный парад», 2006г.
2. Патент RU2459969 C1 *F02K9/18* (01.2006) авторов Молчанова В.Ф., Прибыльского Р.Е., Рыжкова Г.Ф. и др.
3. Брагунцов Е.Я., Куракин А.П., Рыжков Г.Ф. Выбор материалов для корпусов перспективных РДТТ. - Современные проблемы машиностроения. Труды II Международной научно-технической конференции.-Томск. Изд-во ТПУ, 2004.-594с.
4. Абугов Д. И., Бобылев В. М. Теория и расчет ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов. – М .: Машиностроение, 1987. – 272 с.: ил.
5. Фахрутдинов И. Х., Котельников А. В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов. – М .: Машиностроение, 1987. – 328 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАСКИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ СПЕЦИЗДЕЛИЙ

Демлер Александр Иванович; Еттянов Василий Николаевич;
Хребтова Мария Сергеевна

АО «Институт прикладной физики»,
г. Новосибирск, maria.khrebtova@yandex.ru

В работе рассмотрен метод и результаты измерений маскирующих характеристик металлических порошков, применяемых для специзделий. Указана технология производства порошков, обозначены основные параметры, по которым они оцениваются, а также способы, которыми проводится оценка. Представлены результаты сравнительных измерений маскирующих характеристик и коэффициентов пропускания металлических порошков различных марок и стран-изготовителей в видимом диапазоне длин волн, проведен анализ полученных данных. Показана возможность снижения трудоемкости, материальных затрат и времени на проведение сравнительных исследований аэродисперсных систем в натуральных условиях.

The paper contains the method and the results of measuring metal powders masking abilities, which are used for ammunition. There is shown production technology for metal powders, it's main characteristics and features, methods of evaluation, e.t.c. The results of comparative measurements of masking abilities and extinction coefficients for different types of metal powders are presented, the analysis of the obtained data is shown. The possibilities of reducing labor intensity, material costs, researching process time and string time are shown.

Введение

Одной из актуальных проблем в области исследования характеристик металлических порошков, применяемых в специзделиях, является определение их параметров в лабораторных условиях. Это позволяет значительно ускорить исследовательские работы, обеспечить более корректные результаты натурных испытаний, а также подбирать материалы, наиболее удовлетворяющие выполнению поставленных задач.

Целью данной работы является сравнительное исследование маскирующей способности (МС) различных марок металлических порошков, а также обеспечение входного контроля поставляемых компонент для специзделий.

Объект и методы исследования

Исследованию подвергались металлические порошки, применяемые также и в полиграфической печати, а именно – бронзовые пудры (БП) различных марок. Данные материалы, несмотря на устоявшееся название, как правило состоят из латуни ($\text{Cu} \approx 80\%$, $\text{Zn} \approx 20\%$). БП применяются для формирования аэродисперсных систем (АДС)[5-9].

Сырьем для производства БП служит крупный порошок (мелкая стружка), полученный фрезерованием слитков необходимого материала [1]. Порошок смешивают с различными пленкообразующими добавками, а затем производится измельчение в молотковых дробилках или шаровых мельницах. Размол до состояния пудры производится в несколько этапов (до 4-5) с постепенным снижением диаметра размалывающих шаров от 38-45 мм на начальном этапе до 10-15 мм на завершающем при окончательном размоле. Форма частиц готовых пудр чешуйчатой или лепестковой формы.

Эффективность бронзовых пудр можно оценить по нескольким параметрам. Одним из самых значимых является маскирующая способность, которая представляет собой

коэффициент ослабления излучения аэрозольным облаком, полученный при расходе 1 г аэрозолеобразующего вещества для получения 1 м³ аэрозоля. Оценке подвергается массовая маскирующая способность (ММС), рассчитываемая из соотношения[2]:

$$\gamma = -k \frac{S}{m} \ln \tau, \text{ м}^2/\text{г} \quad (1)$$

где: S – площадь ПЭТФ пленки, м²;

m – масса напыленного на пленку порошка, г;

k – коэффициент, учитывающий равновероятное положение частицы БП в пространстве, k=0,5.

МС, рассчитанная по формуле (1), соответствует диспергированию частиц БП в трехмерном пространстве.

По сравнению с известными методами, предложенный в работе [2] метод измерения ММС, базирующийся на плёночном слое плоских металлических частиц:

- является менее трудоёмким и требовательным по аппаратурному и финансовому обеспечению;

- обеспечивает меньшую погрешность измерения, связанную с определением массовой концентрации аэрозоля в АДС и с учетом динамических характеристик источника аэрозоля, АДС и атмосферы;

- позволяет проводить оперативные лабораторные исследования с малым количеством дефицитного аэрозольного вещества.

Этот метод проверен путем сравнения результатов экспериментальных исследований с исследованиями зарубежных авторов в аэрозольной камере и в натуральных условиях для марок БП, имеющих близкие значения микроструктурных характеристик, химического состава и плотности материала пудр [2].

Другой важный параметр - кроющая способность $S_{кр}$, характеризующая площадь, которую полностью одним слоем покрывает 1 г порошка. Способ установления кроющей способности БП определяется документацией на неё. Например, для бронзовой пудры для офсетной печати (БПО) – в соответствии с ТУ 48-21-5-72[3, 4].

Определение кроющей способности осуществляют в прямоугольном сосуде, установленном на трех регулировочных винтах. Поперек сосуда на его борта кладут две стеклянные полоски шириной 2-3 см. Борта сосуда и полоски предварительно натирают парафином и полируют мягкой тканью. Горизонтально установленный сосуд заполняют дистиллированной водой до тех пор, пока уровень её не будет несколько выше бортовых кромок сосуда.

На чистую поверхность воды, ограниченную по длине двумя стеклянными полосками, распыляют равномерно навеску пудры 0,05 – 0,1 г. Затем полоски сдвигают так, чтобы поверхность воды, покрытая пудрой, не имела свободных просветов, при необходимости пудру распыляют на поверхности воды мягкой кисточкой.

Кисточкой собирают излишние слои пудры, которые расправляют раздвижением ограничивающих поверхность полосок. Корректировку производят до тех пор, пока вся ограниченная поверхность не будет покрыта ровным слоем, и два последовательных измерения, проведенные после повторного сдвигания и раздвижения полосок, не дадут совпадающих результатов (расхождение не более 5% отн.). Соответственно, кроющая способность – отношение площади воды, покрытой пудрой, к массе навески. За результат испытания принимают среднеарифметическую величину двух параллельных определений.

Подробное описание методики определения ММС БП, реализованной в данной работе, изложено в [2]. Для проведения измерений были изготовлены экспериментальные образцы размером 100x100 мм² в виде полиэтилентерефталатной пленки, прозрачной в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн, с нанесенным на неё относительно равномерным слоем пудры.

Измерения МС и коэффициента пропускания производились с помощью фотометра в видимом диапазоне длин волн ($\Delta\lambda=0,4-0,7$ мкм).

Сравнению подвергались БП различных марок, основные характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Общие характеристики бронзовых пудр

№ п/п	Наименование продукта	Химический состав, %		Кроющая способность, $S_{кр}$, см ² /г	Производитель (поставщик) продукта
		Cu	Zn		
1	Пудра бронзовая БПО, ТУ48-21-5-72	83-87	11-15	1870	ОАО «Каменск-Уральский завод ОЦМ», Россия
2	Пудра бронзовая Brilliant 2500 RPG	80	20	2400-3400	AVLMETALPOWDERS, Бельгия
3	Пудра бронзовая 9000 RPG	80	20	5500-9500	
4	Пудра бронзовая Grade 800 RG	70	30	4000-5200	Shenzhen Yu Mingjie Pigments Co, Китай
5	Пудра бронзовая Grade 1200 RG	70	30	6500-11000	Shenzhen Yu Mingjie Pigments Co, Китай
6	Пудра бронзовая Grade 1500 RG			7800-13000	

Результаты

Результаты измерений коэффициента пропускания БП представлены в таблице 2. Измерения проводились на нескольких образцах с различными массами пудр.

В таблице 3 приведены результаты определения МС БП по формуле (1). Значения МС на плоскости отличаются от МС в пространстве, поэтому в соответствии с (1) значения были усреднены и пересчитаны с учетом коэффициента $k=0,5$.

Таблица 2. Результаты измерений коэффициента пропускания бронзовых пудр

Тип БП	Масса БП, нанесенной на пленку, мг	Коэффициенты пропускания БП, отн. ед.
БПО	40	0,22
	10	0,69
Brilliant 2500 RPG	16	0,18
	13	0,34
	16	0,23
9000 RPG	40	0,002
	10	0,22
Grade 800 RG	9,5	0,14
	12	0,11
	11	0,15
Grade 1200 RG	8	0,19
	8	0,14
	9	0,09
Grade 1500 RG	8	0,13
	5,5	0,16
	7	0,16

Таблица 3. Маскирующая способность бронзовых пудр в видимом диапазоне длин волн ($\Delta\lambda=0,4-0,7$ мкм)

Тип БП	ММС на плоскости, м ² /г	Трёхмерная ММС, γ_m (БП), м ² /г
БПО	0,63±0,08	0,31±0,04
Brilliant 2500 RPG	0,86±0,08	0,43±0,04
9000 RPG	2,48±0,18	1,24±0,09
Grade 800 RG	1,7±0,12	0,85±0,06
Grade 1200 RG	2,2±0,19	1,1±0,09
Grade 1500 RG	2,62±0,3	1,31±0,15

Обсуждение

Анализ представленной в таблице 3 информации показывает, что в видимом диапазоне длин волн зарубежные марки БП имеют массовую МС, превышающую МС отечественной марки БПО. А именно: для Brilliant 2500 RPG превышение в 1,4 раза, для 9000 RPG – в 4 раза, для Grade 800 RG – в 2,7 раз, для Grade 1200 RG – в 3,5 раз, для Grade 1500 RG – в 4,2 раз. Наблюдается близкая к линейной зависимость ММС БП от её заводской характеристики – кроющей способности.

Проведенные исследования позволяют требования, заданные к комплектующим изделиям в виде ММС, сформулировать с помощью характеристик, контролируемых в заводских условиях, а также с помощью микроструктурных характеристик плоских металлических частиц, проведя исследования зарубежных образцов БП с помощью электронного микроскопа.

Заключение

Представленная в статье методика позволяет проводить большой объем лабораторных исследований характеристик БП и осуществлять входной контроль материалов на соответствие заранее установленным требованиям, что, в конечном счёте, существенно снижает трудоёмкость, материальные затраты и время на проведение сравнительных исследований АДС в натуральных условиях.

Поскольку в специзделиях предпочтительно использовать материалы отечественного производства, возникает проблема усовершенствования существующих технологий изготовления отечественных пудр (БПО) с целью повышения их характеристик. Кроме того, с применением представленной методики становится возможным исследование иных металлических порошков и подбор составов, обеспечивающих необходимые МС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник/ Б.Н. Бабиц, Е.В. Вершинина, В.А. Глебов и др.; под ред. Ю.В. Левинского – М.: ЭКОМЕТ, 2005 – 520с.
2. Демлер А.И., Етжанов В.Н., Истомина А.В., Коблев В.Д., Романов В.В., «Оптимальный метод измерения маскирующих характеристик аэрозольных составов на основе несферических аэрозолей» // сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции «Современная радиоэлектронная борьба: этапы, методология, направления развития» 22-23 декабря 2015 г., Воронеж.
3. Пудра бронзовая для офсетной печати: Технические условия. ТУ 48-21-5-72/ ОАО «Каменск-Уральский завод ОЦМ».
4. Либенсон Г.А., Лопатин В.Ю., Комарницкий Г.В., Процессы порошковой металлургии. Том 1: Производство металлических порошков. – М.: МИСИС, 2001. – 368 с.
5. Infrared Extinction Coefficients of Aerosolized Conductive Flake Powders and Flake Suspensions...: Report ECBC – TR – 993/ECBC (USA Army); Authors: Delacy B.G., Embury J.F. – 2012.- 24p.
6. Appleyard P.G., Infrared Extinction and Attenuation Performance of Atmospherically Disseminated High Aspect Ratio Metal Nanoparticles. – «J. Opt. A: Pure Appl. Optic», 2007, v.9, p.278-300.
7. Appleyard P.G., Infrared Extinction Performance of High Aspect Ratio Carbon Nanoparticles. – «J. Opt. A: Pure Appl. Optic», 2006, v.8, p.101-113.
8. Pjesky S.C. Aerodynamic, Infrared Extinction and Tribocharging Properties of Nanostructured and Conventional Particles: An Abstract of a Dissertation for the Degree Doctor of Philosophy. Department of Biological and Agricultural Engineering College of Engineering, Kansas State University, Manhattan, Kansas. 2008. – 12 p.
9. Bi-spectral (Visible and Infrared) Material for Smoke/Obscurant Minitions: Army SBIR 2008, Topic A08-T025/Eagewood Chemical and Biological Center (USA Army). 2008. – 1p.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В УСОВЕРШЕНСТВОВАННОМ МАТЕРИАЛЕ УЗЛА ТРЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ В ВЫСОКОСКОРОСТНОМ РАЗГОННОМ БЛОКЕ

Кормушкин Михаил Алексеевич, Гуськов Анатолий Васильевич,
Милевский Константин Евгеньевич

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, kormushkinmikhail@gmail.com

В работе описано численное моделирование физического процесса при движении метаемого устройства, используемого в высокоскоростной баллистической установке. Применена методика численного моделирования при изучении усовершенствованного материала узла трения метаемого устройства. Проведено исследование процесса изменения температуры при формировании узла трения метаемого устройства, изготовленного из высокоуглеродистой стали. Произведены расчеты температурного распределения при формировании профиля узла трения. На основе теоретических расчетов сделаны выводы о влиянии физических, механических свойств материала узла трения на распределение температуры при движении в блоке.

In the paper describes the numerical simulation of the physical process during the motion of a device being thrown in a ballistic installation moved. The technique of numerical modeling in studying the improved material of the friction unit of the device being thrown is applied. A study was made of the process of temperature change during the formation of a friction unit of a device being thrown, made of high-carbon steel. Calculations of the heat distribution during the formation of the profile of the friction unit are made. On the basis of theoretical calculations, conclusions are drawn about the effect of the physical, mechanical properties of the material of the friction unit on the heat distribution when moving in a block.

1. Введение

В общем случае узел трения - цельная конструкция, изготовленная из одного материала. Профиль узла трения представляет собой чередование прямоугольных выступов и впадин, расположенных на окружности (зубчатое колесо). Работа узла трения в разгонном блоке осуществляется по поверхностям выступа и впадины, контактирующим по дну, полям и граням нарезов. Каждый участок поверхности (дно, поле, грань) узла, обладая одинаковой скоростью движения по разгонному блоку, воспринимает различные нагрузки. Кроме этого при формировании выступа за счет разной пластической деформации приповерхностные слои каждого деформируются по-разному.

При движении устройства по каналу комплекса температуры на поверхности узла трения достигают величин, обеспечивающих плавление материала одного из трущихся тел. Экспериментальное определение распределения температуры является процессом сложным, ресурсо- и времязатратным, поэтому целесообразно использование современных методов численного моделирования распределения температуры материала при движении устройства в разгонном блоке.

2. Методы исследования

Для определения температурного поля материала узла трения в процессе скольжения по разгонному блоку проведено математическое моделирование процесса теплопроводности. При постановке задачи сделаны следующие допущения: материал узла однороден и изотропен, физические параметры постоянны, деформация исследуемого объема является очень малой величиной по сравнению с самим объемом. Поверхности поля, грани и дна нарезов установки выполняют в процессе скольжения разные задачи. Следовательно,

отличаются и условия работы участков поверхности узла трения. Проведено разделение поверхности контакта узла трения в направлении, перпендикулярном оси устройства, на три участка, изображенных на *рисунке 1*: 1 – сформирован полем нареза, 2 – гранью, 3 – дном.

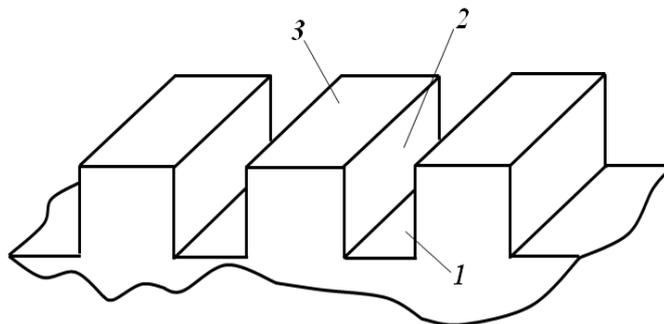


Рис. 1 - Схема области решения задачи определения температуры поверхности гребенчатого узла трения

3. Параметры решения задачи

Температура (T) поверхности в любой точке, перекрывающей источник тепла равна:

$$T = 2Q\left(\frac{t}{\pi k \rho c}\right)^{1/2}, \quad (1)$$

где t – время распространения источника тепла (узел трения) через точку разгонного блока, равную $t = \frac{B}{V}$; k, ρ, c – теплопроводность, плотность, теплоемкость материала.

Источником тепла является фрикционный контакт «узел трения – разгонный блок».

Температура на контактной поверхности описывается выражением:

$$T_{max} = 2fP\left(\frac{B/V}{\pi k \rho c}\right)^{1/2} \quad (2)$$

Коэффициент F пары трения «сталь - сталь» за начальное время принимается равным 0,15. Удельное давление является постоянным и равно прочности текучести материала ведущего узла. Согласно теории, «температура вспышки» для металлов определяется температурой плавления. Для углеродистой стали образцового узла трения он равен 1467 °С, что соответствует температуре плавления 1497 °С минус температура окружающей среды, равная 30 °С. Для решения проблемы теплопроводности материала узла трения была выбрана область решения. Использовалась декартова система координат. Кривизна поверхности не учитывалась, так как диаметр узла намного больше ширины дна, поля и высоты нареза.

Было решено уравнение теплопроводности:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

При начальных ($t = 0$) условиях:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \left| \begin{array}{l} X = 0, 0 \leq Y \leq Y_2 \\ X = X_2, 0 \leq Y \leq Y_1 \end{array} \right.$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0, Y = 0, 0 \leq X \leq X_2$$

При граничных условиях:

$$T = T_1(t) \quad Y = Y_1; \quad X_1 \leq X \leq X_2$$

$$T = T_2(t) \quad X = X_1; \quad Y_1 \leq Y \leq Y_2$$

$$T = T_3(t) \quad Y = Y_2; \quad 0 \leq X \leq X_1$$

4. Оценка результатов моделирования и выводы

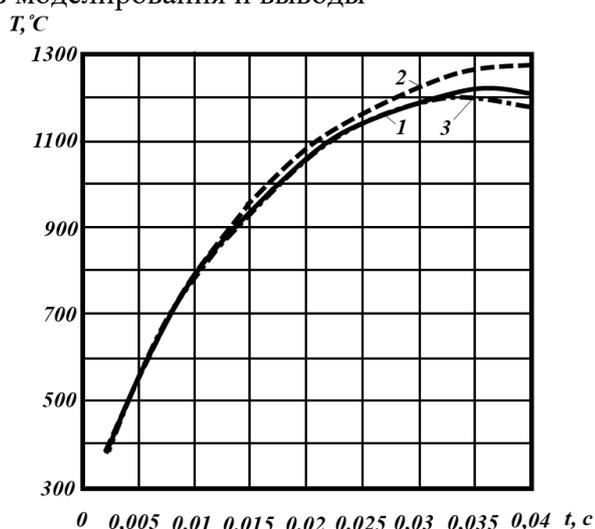


Рис. 2 - Изменение температуры на участках поверхности узла трения при движении устройства по каналу разгонного блока в условиях полного контакта

Анализируя полученные зависимости $T(t)$ на исследуемых участках можно отметить, что температуры всех рассматриваемых поверхностей ($T = 800^{\circ}\text{C}$) превышают температуру начала рекристаллизации ($T_{\text{рекристалл}} = 725^{\circ}\text{C}$) в момент времени $t = 0,01$ с. Максимальная температура составляет $T = 1260^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

При прохождении конуса формирования профиля узла трения нового типа, изготовленного из материала корпуса поверхностный слой прогревается до температуры $400\text{-}500^{\circ}\text{C}$.

Определено, что при прохождении корпусом 2-3 диаметров узла трения температура поверхностного слоя материала достигает температуры рекристаллизации.

В результате интенсивного нагрева поверхностный слой материала узла трения рекристаллизуется и переходит в идеально-пластическое состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Балакин В. А. Трение и износ при высоких скоростях скольжения. – М.: Машиностроение, 1980. – 136 с.;
2. Зезюлинский Я. С. Металлографическое исследование процесса высокоскоростного разгона стального ведущего пояска по каналу ствола артиллерийской установки / Я. С. Зезюлинский ; науч. рук. А. В. Гуськов // Вооружение, военная техника и боеприпасы : сб. науч. ст. В 2 ч. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – Ч. 1. – С. 172–176.;
3. Параметры, критерии работоспособности ведущего пояска нового типа / В. Я. Ведяев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. В. Степанова, Е. Ю. Слесарева // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 15 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 23–25 апр. 2014 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. – С. 135–137.;
4. Теплоперенос в процессе высокоскоростного разгона типового ведущего пояска по каналу артиллерийской установки / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, Я. С. Зезюлинский // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015 : междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 3. – С. 107–111.
5. Guskov A. V. Experimental studies of the physical process for forming the profile of a friction unit in a ballistic installation / A. V. Guskov, M. A. Kormushkin, K. E. Milevskii // Journal of Physics: Conference Series. - 2017. - Vol. 919.
6. Zezulinsky J. Mathematical modeling of heat friction contact master belt with the gun mount barrel during the process of high-speed motion / J. Zezulinsky, A. Guskov, K. Milevsky // MATEC Web of Conferences. - 2016. - Vol. 72 : Heat and mass transfer in the system of thermal modes of energy – technical and technological equipment (HMTTSC-2016).

ПАТЕНТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЗОР СПОСОБОВ КРЕПЛЕНИЯ ВЕДУЩИХ ПОЯСКОВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СНАРЯДОВ

Шумкова Александра Евгеньевна
Научный руководитель: Гуськов А.В., д.т.н., доцент

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

В статье проведен патентно-информационный обзор крепления ведущих поясков артиллерийских снарядов.

The article provide patent-information survey of manners of leading belts fastening of artillery shells.

Разработка новых ведущих поясков и технологии их изготовления является одним из ключевых факторов влияющих на совершенствование классических артиллерийских боеприпасов.

Представленный ниже обзор патентно-информационных материалов, выполнен по открытым источникам [1,2] и направлен на определение подходов в совершенствовании способов крепления ведущих поясков на корпусах артиллерийских снарядов.

Цель работы: выделить основные тенденции развития способов закрепления ВП на корпусе снаряда.

Проанализируем патент «Способ получения канавок под ведущий поясик артиллерийских снарядов» [3].

Способ получения канавок под ведущий поясик артиллерийских снарядов, основанный на расточке канавок с перпендикулярными относительно продольной оси корпуса снаряда стенками и дополнительными коническими выступами на торцевых кромках канавок с последующей закаткой выступов внутрь канавок, выделяющийся тем, что расточку канавок с перпендикулярными относительно продольной оси корпуса снаряда стенками и дополнительными коническими выступами на торцевых кромках канавок осуществляют с выполнением дополнительных конических выступов высотой, равной 0,2-0,3 глубины канавки.

Положительный эффект достигается за счет получения стабильных канавок при любых конструкциях корпусов и качественного заполнения канавки материалами ведущего пояса, благодаря чему повышается надежность соединения ведущего пояса и корпуса, а следовательно, и безопасность при стрельбе.

Однако недостатком изобретения является повышенная трудоемкость и дороговизна изготовления, связанные с многооперационностью.

Способ решения этой проблемы и предположение способа крепления ведущего пояса артиллерийского снаряда, обеспечивающего надежность соединения корпусов артиллерийских снарядов с ведущими поясами при простом изготовлении, приведен в патенте [4]. Заключается в формировании выступа и выемки на корпусе снаряда и ведущем пояске, совмещении выступа с выемкой и в последующем получении их неразъемного соединения путем относительных перемещений соединяемых поверхностей ведущего пояса и корпуса снаряда, отличающийся тем, что на заднем центрирующем утолщении корпуса снаряда формируют пологий конический радиальный выступ в виде остроугольного треугольника в сечении, меньший угол которого направлен к передней части корпуса снаряда, выемку выполняют на внутренней поверхности ведущего пояса идентичной формы с выступом в месте соединения, а неразъемное соединение получают путем придания осевых поступательных и/или вращательных перемещений ведущему пояску и корпусу снаряда (рисунок 1а,б,в).

На одной из позиций металлорежущего станка проходным резцом в месте традиционного расположения ведущего пояска 3 (на заднем центрирующем утолщении) обтачивают корпус 1 снаряда по профилю с формированием на нем пологого конического радиального выступа 2 шириной l в виде остроугольного треугольника в сечении, меньший угол α которого направлен к передней части корпуса 1 (рисунок 1,а). Отдельно на внутренней поверхности ведущего пояска 3 шириной l расточным резцом выполняют выемку 4 идентичной формы с выступом 2 в месте их соединения под углом α и углом поднутрения β (рисунок 1,б). Совмещение выступа 2 с выемкой 4 и в последующем получение их неразъемного соединения осуществляют за счет относительных перемещений соединяемых поверхностей ведущего пояска 3 и корпуса 1 путем придания осевых поступательных и (или) вращательных перемещений ведущему пояску 3 и корпусу 1 при однократном включении металлорежущего станка (рисунок 1,в).

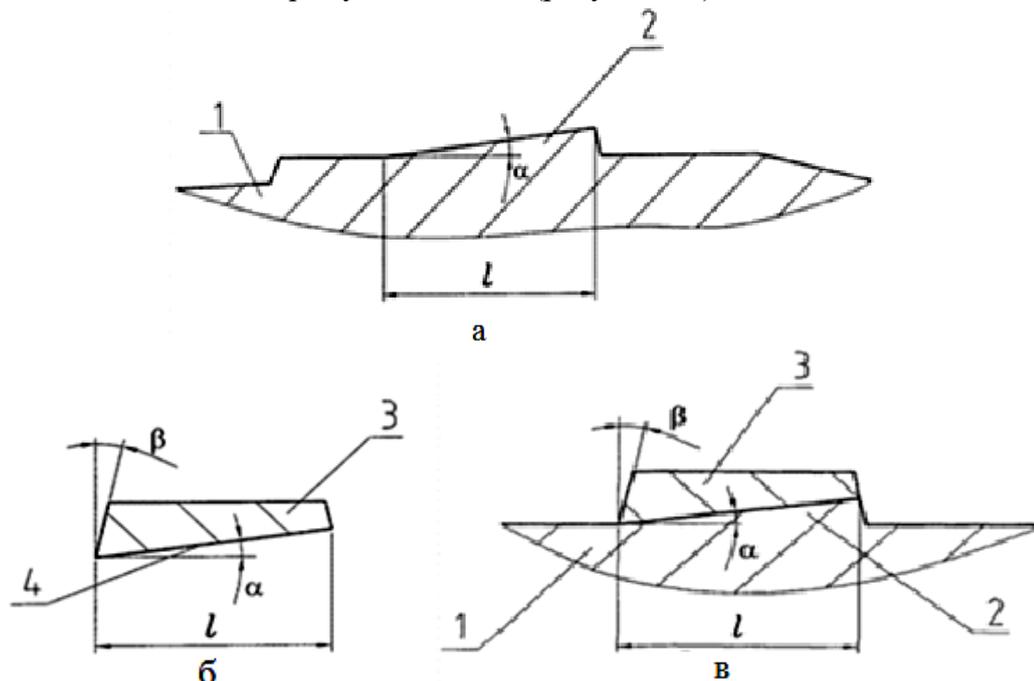


Рис.1. Последовательность операций при закреплении ВП;
 а) Профиль корпуса для закрепления ВП;
 б) Профиль ВП;
 в) Корпус с закрепленным ВП

Преимущества:

- надежность крепления ВП на корпусе снаряда;
- простоту изготовления, ведущую к снижению себестоимости производства артиллерийского снаряда в целом;
- обеспечение быстрой и удобной подготовки боеприпаса, состоящего из двух частей: унифицированного снаряда и соответствующего ведущего пояска.

Альтернативный метод доработки ведущего пояска представлен в патенте «Способ доработки ведущего пояска корпуса утилизированного артиллерийского снаряда» [5], заключающийся в формировании выступа и выемки на корпусе снаряда и ведущем пояске, совмещении выступа с выемкой и в последующем получении их неразъемного соединения путем относительных перемещений соединяемых поверхностей ведущего пояска и корпуса снаряда, отличающийся тем, что корпус утилизированного без снаряжения боеприпаса выполняют с зачищенными от лакокрасочного покрытия до металла передним центрирующим утолщением и частью заднего центрирующего утолщения до продолжения диаметра цилиндрической поверхности, который формируют срезанием прежнего ведущего пояска с переходом в фигурную ее часть в виде уменьшенного выступающего фрагмента, а

новый стыкуемый ведущий поясок выполняют удлиненным, с выемкой на внутренней поверхности ведущего пояска идентичной формы с фрагментом выступа прежнего, срезанного ведущего пояска и частью, зачищенной от лакокрасочного покрытия, поверхности заднего центрирующего утолщения, причем окончательную стыковку частей осуществляют при досылке снаряда в ствол орудия и в начальный момент выстрела за счет обжатия части пояска с цилиндрической формой выемки и возникающих в нарезках ствола осевого и углового перемещений обжатого ведущего пояска относительно корпуса и фрагмента прежнего пояска (рисунок 2), что обеспечивает следующую совокупность условий:

- создание единого унифицированного снаряда в процессе утилизации обычного для существующих и разрабатываемых артсистем одинакового калибра;
- обеспечение быстрой и удобной подготовки боеприпаса к боевому применению силами войсковых частей, а следовательно, мобильного реагирования на изменение обстановки;
- снижение стоимости производства корпусов за счет вторичного использования от утилизированных артснарядов и оснащения arsenалов более дешевыми артиллерийскими боеприпасами за счет повышения внутривидовой унификации указанных боеприпасов.

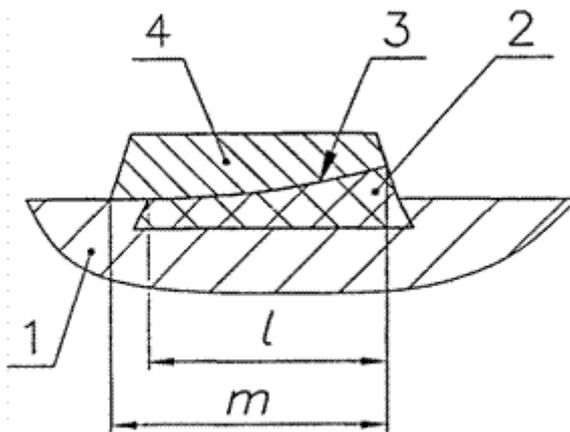


Рис. 2

Патент «Артиллерийский снаряд к нарезному оружию» [7], [8].

Артиллерийский снаряд к нарезному оружию, содержащий стальной корпус и ведущий поясок, выполненный заедно с корпусом, имеющий форму кольцевых выступов, разделенных кольцевыми канавками, отличающийся тем, что каждый выступ ведущего пояска имеет четное число чередующихся сегментов с нормальной шириной и сегментов с утонениями, при этом на соседних выступах пояска утонения располагаются в шахматном порядке. В момент захода снаряда в нарезную часть канала ствола выступы ведущего пояска деформируются в соответствии с формой нарезов канала ствола, причем для деформации утоненных частей 4 (рисунок 3) требуется приложить меньшую нагрузку по сравнению с деформацией элементов выступов нормальной ширины 3. Вследствие этого на деформирование пояска затрачивается меньше энергии давления пороховых газов, чем на деформирование пояска с выступами без утонений. Эта сэкономленная энергия увеличивает кинетическую энергию снаряда, тем самым повышая его начальную скорость при выходе из канала ствола и, соответственно, дальность стрельбы. Вытесняемый полем нареза материал выступов свободно размещается в кольцевых канавках между выступами и в канале ствола практически не остается.

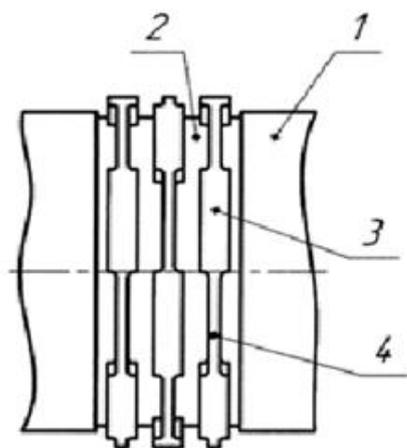


Рис. 3

В патенте [6] представлен способ крепления пластмассовых ведущих поясков.

Задачей, на решение которой направлено настоящее изобретение, является разработка оптимальных технологических режимов литья под давлением известной композиции для формирования пластмассового ведущего устройства малокалиберных снарядов с улучшенными служебными характеристиками, в частности стойкость к растрескиванию.

Способ крепления в профилированных кольцевых канавках на центрирующем утолщении корпусов малокалиберных снарядов пластмассовых ведущих поясков из полиарилатной композиции, содержащей 1 - 2 мас.% фторопласта, литьем под давлением в нагретую форму, отличающийся тем, что время впрыска мерной массы полиарилатной композиции с температурой литья $350 \pm 5^\circ\text{C}$ в нагретую до $120 \pm 5^\circ\text{C}$ литьевую форму выдерживают в диапазоне 4 - 5 с.

Следует отметить, что увеличение содержания фторопласта (твердой полимерной смазки) в зоне фрикционного взаимодействия пояска с нарезной частью канала ствола может приводить к дополнительному повышению трибоустойчивости металлополимерной системы.

Кроме того, предложенный способ позволяет снизить давление литья композиции до 120 МПа, что повышает срок службы прессового инструмента.

Предложенный способ обеспечил снижение трудоемкости и повышение стойкости пластмассовых ведущих поясков из полиарилатной композиции, повышение трещиностойкости и химстойкости изделия.

Выводы:

Выделены способы крепления ВП на корпус артиллерийского снаряда: в канавку сложной геометрической формы; на цилиндрически-конический участок расположенный на с центрирующим утолщением АС; на сформированный профиль ВП утилизированного корпуса АС.

Использование пластмассового ВП, усложняет профиль канавки.

Предлагается способ использования утилизированных корпусов АС, без отделения ВП от корпуса.

Предлагается исключить ВП как отдельную деталь, а выполнить ВП как кольцевой выступ в виде чередования канавок и выступов на корпусе снаряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Поиск патентов и изобретений, зарегистрированных в РФ //URL: <http://www1.fips.ru>
2. Гуськов А. В. Новый тип ведущего пояска = The new type of leading band / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, М. С. Хребтова // Вестник академии военных наук. - 2016. - № 41. - С. 22-25
3. Патент на полезную модель RU №2199080, «Способ получения канавок под ведущий поясок артиллерийских снарядов», опубликован 20.02.2003, авторы: Гельфонд М.Л., Вычужанин С.В.
4. Патент на полезную модель RU №2410632, «Способ крепления ведущего пояска артиллерийского снаряда», опубликован 27.01.2011, авторы: Бровкин В.Ф., Подгорнов С.В., Попов В.Н.
5. Патент на полезную модель RU №2509976, «Способ доработки ведущего пояска корпуса утилизированного артиллерийского снаряда», опубликован 20.01.2014, авторы: Бровкин В.Ф., Попов В.Н., Чуйков Е.Ф., Карачинский С.И., Волосков В.М., Войскович В.Г., Гурьев В.В., Ильченко В.Н., Кузнецова Т.В.
6. Патент на полезную модель RU №2155929, «Способ крепления пластмассовых ведущих поясков», опубликован: 10.09.2000, авторы: Зюзина Г.Ф., Солдатов Е.С., Файман И.О., Чижевский О.Т., Мурашов Л.А.
7. Патент на полезную модель RU №172674, «Артиллерийский снаряд к нарезному оружию», опубликован: 19.07.2017, авторы: Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М. С., Иванов Р.С.
8. Патент на полезную модель RU №165297, «Артиллерийский снаряд для нарезного оружия», опубликован: 10.10.2016 (Авторы: Гуськов А. В., Милевский К. Е., Вольф Н. А., Зезюлинский Я. С.)

СЕКЦИЯ: ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 623.457

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЯЗВИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОНТЕЙНЕРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ, К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

**Бакиров Альберт Ревальевич, канд. техн. наук Попов Александр Геннадьевич,
канд. техн. наук Нурмухаметов Андрей Тагирович;
канд. техн. наук Рогожин Павел Викторович**

**Самарский Государственный Технический Университет,
г. Самара, Fastex2@yandex.ru**

Выполнено компьютерное моделирование определения стойкости к прострелу пуль калибра 7,62 мм контейнера, предназначенного для хранения энергонасыщенных материалов и изделий на их основе. Предложенные конструкции обеспечивают защиту изделий из энергонасыщенных материалов от теплового воздействия и прострела пуль из стрелкового оружия.

It was carried out computer simulation of resistance determination to shooting a bullet of 7.62 mm caliber of container intended for storage of energy-intensive materials and products based on them. The proposed designs provide the protection of products from energy-packed materials from heat and shooting a bullet from small arms.

В настоящее время наблюдается трансформация терроризма из орудия радикального способа социального протеста в орудие экономического и политического доминирования некоторыми развитыми странами, приводящее к росту незаконных вооруженных формирований и террористических организаций. В связи с этим возрастает вероятность проведения террористических актов на предприятиях по изготовлению энергонасыщенных материалов и изделий на их основе, способных создать угрозу жизни и здоровью людей, а также нанести существенный вред окружающей среде [1,2].

В связи с этим для безопасного хранения и транспортирования энергонасыщенных материалов и изделий предложена конструкция пожаробезопасного контейнера, состоящего из высокопористого материала, способного обеспечить защиту как от огневого воздействия в течение длительного времени, так и от механических воздействий с применением стрелкового оружия.

С целью оптимизации конструкции предлагаемого контейнера, проведено математическое моделирование процесса пробития стенки контейнера, представляющего собой комбинацию стальных пластин толщиной 4 и 6 мм и высокопористого материала наполнителя, обеспечивающего защиту от огневого воздействия в течение длительного времени [3].

На рисунке 1 представлен внешний вид исходной расчетной модели защитной конструкции, состоящей из комбинации сталь 4 мм/сталь 6 мм/высокопористый наполнитель. На рисунке 2 представлены основные стадии процесса пробития пуль представленной защитной конструкции. Красным цветом на рисунке 2 выделены зоны разрушения материала и образования трещин.

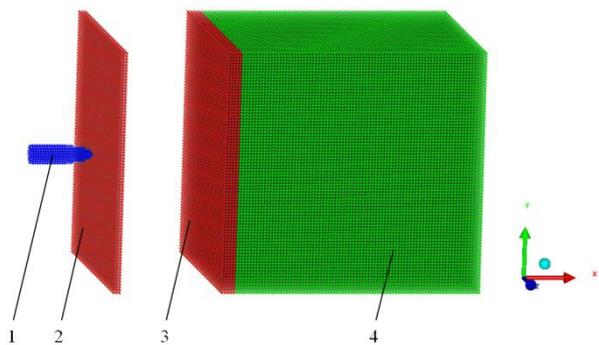


Рисунок 1 - Внешний вид расчетной модели:

1- пуля; 2 - стальная пластина 4 мм;
3 – стальная пластина 6 мм; 4 – наполнитель
100 мм

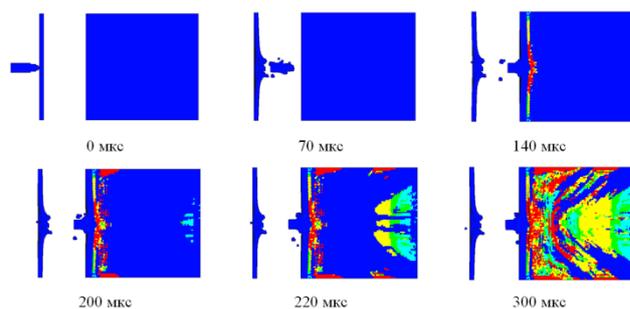


Рисунок 2 - Динамика процесса пробития пулей преграды

Из рисунка 2 видно, что при пробитии защиты, представленной конструкции, пуля не пробивает стальную пластину толщиной 6 мм, однако вызывает ее деформацию, которая приводит к образованию радиальных и кольцевых трещин в материале наполнителя, что может привести к отколу материала и нарушению целостности конструкции контейнера. Для предотвращения этого эффекта предложена конструкция, расчетная модель которой представлена на рисунке 3, а на рисунке 4 показана динамика прострела ее пулей [3].

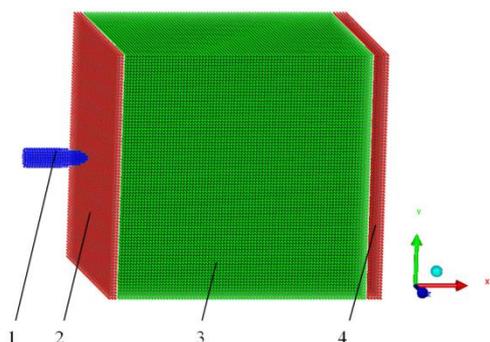


Рисунок 3 - Внешний вид расчетной модели:

1- пуля; 2 - стальная пластина 4 мм;
3 – наполнитель 100 мм ; 4 – стальная
пластина 6 мм

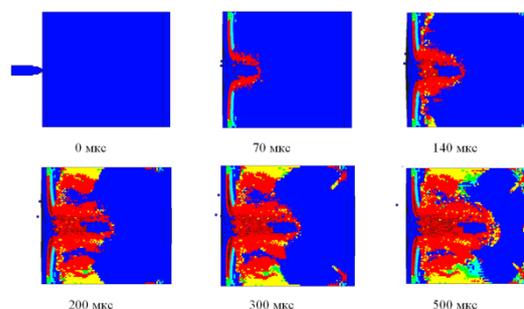


Рисунок 4 - Динамика процесса пробития пулей преграды

Из результатов расчета видно (см. рисунок 4), что представленная защитная конструкция обеспечивает защиту от пробития пуль стрелкового оружия. При этом происходит удержание отколотых частей материала наполнителя стальными листами, что обеспечивает сохранение относительной целостности слоя наполнителя. Обе представленные конструкции обеспечивают защиту от одиночного прострела пуль. Однако при многократном простреле пуль, вариант конструкции с разнесенной преградой не позволяет обеспечить необходимую защиту контейнера хранения из-за разрушения и осыпания слоя наполнителя, что приведет к значительному снижению защитных свойств не только от стрелкового оружия, но также и от теплового воздействия.

С целью подтверждения работоспособности предложенной защитной конструкции, выполнены натурные испытания (см. рисунок 5) определения ее стойкости к прострелу пуль калибра 7,62 мм.

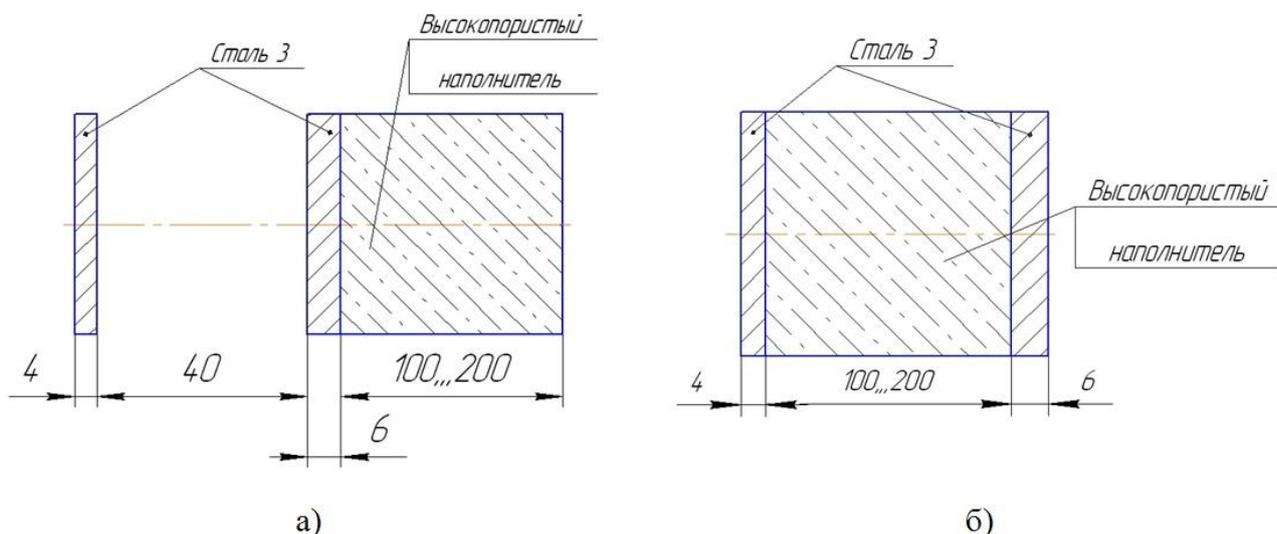


Рисунок 5 – Предлагаемая конструкция контейнера:

а) сталь/сталь/высокопористый наполнитель; б) сталь/ высокопористый наполнитель /сталь

Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов защиты

Образец сталь/сталь/высокопористый наполнитель		
Толщина слоя высокопористого наполнителя, мм	Результат	Примечание
100	Сквозное пробитие	-
150	Нет пробития	Пуля застряла в пластине 6 мм
	Сквозное пробитие	Пуля застряла в слое наполнителя
200	Нет пробития	Пуля застряла в пластине 6 мм Пуля застряла в слое наполнителя
Образец сталь/высокопористый наполнитель/сталь		
100	Нет пробития	-
150		-
200		-

Из результатов проведенных испытаний видно, что защиту от одиночного прострела пульей калибра 7,62 мм обеспечивают обе представленные конструкции стенки контейнера. Однако при многократном воздействии пульей комбинация сталь/сталь/высокопористый наполнитель не сможет обеспечить необходимую защиту контейнера хранения из-за разрушения и осыпания слоя материала. Таким образом, для защиты энергонасыщенных материалов и изделий целесообразно использовать конструкцию контейнера хранения, стенка которого представляет собой комбинированную преграду сталь/высокопористый наполнитель/сталь. Оснащение передвижных и стационарных складов хранения конструкциями с высокопористым наполнителем позволит существенно повысить их защиту от внешнего теплового воздействия, а также от механических воздействий с применением стрелкового оружия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ильин В.В. Развитие теории анализа аварийной ситуации при хранении взрывчатых веществ: монография / В.В. Ильин, В.В. Козлов, И.Т. Севрюков; НОУ ВПО «Зап.-Урал. ин-т экономики и права». Пермь, 2012. – 187 с.
2. Мастрюков Б. С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр "Академия", 2003. – 336 с.
3. Официальная лицензия приобретена у официального вендора ANSYS Germany GmbH ЗАО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс». Лицензия на ПО ANSYS Mechanical бессрочно действует с июня 2010 г. (пользователь № 395076). При получении лицензии была проведена проверка АО «ЦНИИ «Буревестник» на соответствие требованиям лицензирования на стороне вендора и производителя ПО. Фактом прохождения проверки является получение бессрочной лицензии.

ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЧАСТИЦ ТИТАНА

¹Белоусова Наталья Сергеевна, ¹Гуськов Анатолий Васильевич,
²Глотов Олег Григорьевич

¹Новосибирский государственный технический университет,
²Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН
г. Новосибирск, nata.bel.94@mail.ru

Изложены материалы исследования физических экспериментов горения монолитных частиц титана. Определены закономерности движения горящих частиц, их скорость и координаты в момент начала фрагментации. Методом видеосъёмки и цифровой обработки определены характерные времена горения и переход к фрагментации, время фрагментации, окончание горения. Оценен размер частиц, при котором изменяется режим фрагментации.

Введение

Титан, как объект исследования, представляет интерес из-за необычного сочетания свойств металла и оксида. В отличие от относительно хорошо изученных алюминия, магния и бора, титан – тугоплавкий нелетучий металл с тугоплавким оксидом. Плотность оксида (4,23 г/см³) меньше, чем у металла (4,54 г/см³). Защитные свойства оксида титана проявляют себя следующим образом, благодаря пленке оксида, титан коррозионно устойчив до температур 500-550°С.

Титан, это коррозионностойкий конструкционный материал, используемый в различных технических изделиях, но также титан является пирофорным металлическим горючим, применяемое в пиротехнике и в композициях технологического горения. В 2005 года была выдвинута с идея использования горения частиц титана для создания целевого продукта – облака каталитически-активных частиц TiO₂ для дезактивации вредных или опасных веществ, оказавшихся в атмосферном воздухе в результате техногенной катастрофы или террористического акта [1]. Один из вариантов реализации этой идеи на практике – разработка специальной пиротехнической системы [2], генерирующей сгорающие в воздухе частицы титана. Для усовершенствования процесса с целью достижения высокой полноты сгорания металла и высокого выхода дымообразного оксида с требуемыми параметрами, проводятся работы, направленные на изучение механизма горения частиц Ti в воздухе [3-6], характеристик образующихся частиц TiO₂ и связи этих характеристик с режимом горения материнских частиц Ti [2, 3, 6]. При горении пиротехнических систем с порошкообразным титаном образуются титановые агломераты с размером в десятки и сотни микрон [2], и именно их требуется эффективно сжечь и превратить в высокодисперсный оксид. Для изучения закономерностей и механизма горения сравнительно крупных титановых частиц (агломератов), разработана специальная методика, описанная в [6].

Методика исследования

В качестве образца для генерации горящих частиц используется полоска с размерами 3×30×2 мм, изготовленную из безметалльной композиции-матрицы с внедренными в неё металлизированными включениями (обычно 10-12 штук). Включения представляли собой монолитные миниатюрные плоские кусочки металлического титана. Включения изготавливали следующим образом. От слитка металлического титана (чистота 99.38 %) бокорезами откусывали фрагмент размером 2–3 мм. Фрагмент расплющивали на титановой наковальне титановым молотком, затем прокатывали на стальных вальцах до толщины 50–80 мкм. В результате получали титановый «лепесток», рис. 2, от которого затем ножницами отрезали требуемое количество кусочков (типично 10) для размещения их в одном образце (в лунках на полоске матрицы). Как видно на рис. 2, размер кусочков-включений около 1 мм.

Эксперименты с разными формами кусочков (треугольник, квадрат, прямоугольник с $L/W \approx 3$) не выявили значимых различий в измеряемых параметрах[7].

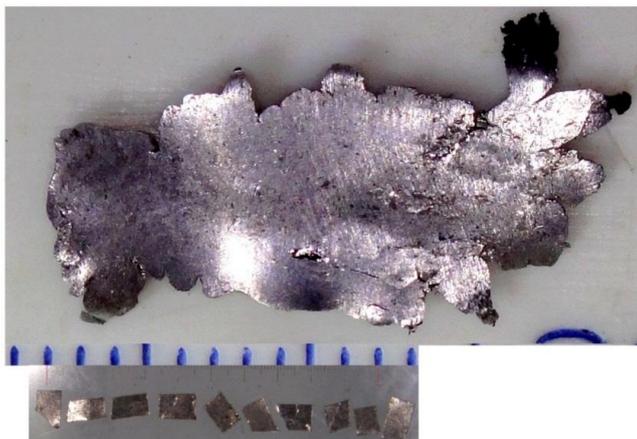


Рис. 1. Титановый «лепесток» и отрезанные от него частицы-включения для одного опыта.

Вес лепестка 0.0100–0.0400 г, типичный вес одного включения около 0.0002 г. Прямое взвешивание включений с требуемой точностью невозможно, поскольку имеющиеся аналитические полумикровесы МВ 210-А производства ЗАО Сартогосм (Россия), имеют погрешность ± 0.0001 г. Проблема решается путем замены взвешиваний реальных объектов на взвешивания их «моделей», вырезанных из плотной бумаги. Вес металлического включения легко пересчитать из веса его бумажной модели используя отношение весов металлического лепестка и его бумажной модели. Зная вес кусочков-включений, начальные диаметры частиц после плавления и стягивания в сферу можно вычислить по формуле $D_{Ti} = \sqrt[3]{6m_{Ti}/\pi\rho_{Ti}}$, где $\rho_{Ti} = 4.5 \text{ г/см}^3$ –плотность титана. Описанная процедура обеспечивает точность определения расчетного диаметра 1–3 мкм на уровне сотен микрон (в предположении, что лепесток в целом и отрезанные от него кусочки имеют одинаковую толщину).

Эксперименты проводили следующим образом. Кварцевую трубку-держатель образца закрепляли горизонтально на высоте 2–3 м таким образом, чтобы полоска матрицы находилась на нижней стороне трубки, рис. 2.

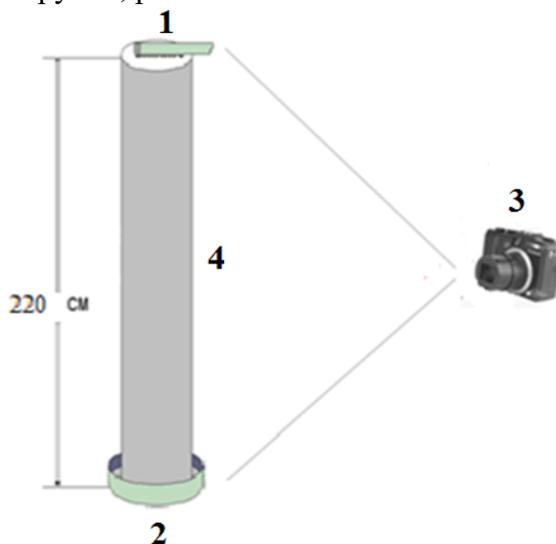


Рис. 2. Схема эксперимента.

1- образец, 2- чашка Петри, 3- фотоаппарат.

Полоску матрицы поджигали с конца, выступающего за торец трубки-держателя. По мере прохождения волны горения по полоске матрицы, включения воспламеняются и выбрасываются из матрицы. Вылетевшие частицы превращаются в горящие сферы, свободно падающие в воздухе. В ходе эксперимента производили видеосъемку падающих горящих частиц цифровой фотокамерой со скоростью съёмки 25 или 500 кадров в секунду. В проведённых экспериментах принудительное гашение частиц не применяли, а большая высота падения (до 3 м) обеспечивала сгорание частиц исследуемых размеров в полётах[8].

Отобранные материнские частицы, а также конденсированные продукты горения (КПГ) исследовали с помощью микроскопа. Особенность горения титановых частиц и титановых агломератов – явление фрагментации, которое может происходить в двух режимах, представленных на рис. 2, а именно: либо в виде однократного взрыва горячей частицы со звездообразным разлётом фрагментов, либо в виде растянутого во времени отстрела множества мелких частиц-фрагментов от материнской частицы с сохранением последней. В этом режиме фотографическое изображение трека горячей частицы с отлетающими фрагментами по форме напоминает еловую ветвь. Режим «еловая ветвь» наблюдали в [9] для агломератов диаметром 300, 390 и 480 мкм. Режим «звезда» наблюдали для частиц 240 и 280 мкм в [10] и частиц в диапазоне 20–125 мкм в [11]. Очевидно, что явление фрагментации сокращает время горения и способствует повышению эффективности трансформации исходного металла в высокодисперсный оксид, причём режим «звезда» предпочтительнее. Сравнение результатов [9] и [10] показывает, что смена режима фрагментации имеет место примерно в диапазоне размеров 250–300 мкм. При этом частицы в [9] были агломерационного происхождения (изначально состояли из 31 % связующего и 69 % частиц титана с размером преимущественно мельче 50 мкм), а частицы 240 и 280 мкм в [9] были монолитными (их получали из титановых проволок высокой чистоты). Из сказанного следует, что определение размера частиц, при котором происходит смена режима фрагментации, а также и установление количественных параметров фрагментации и особенностей реагирования агломератов и монолитных частиц является актуальным направлением исследований, важным для повышения эффективности горения.

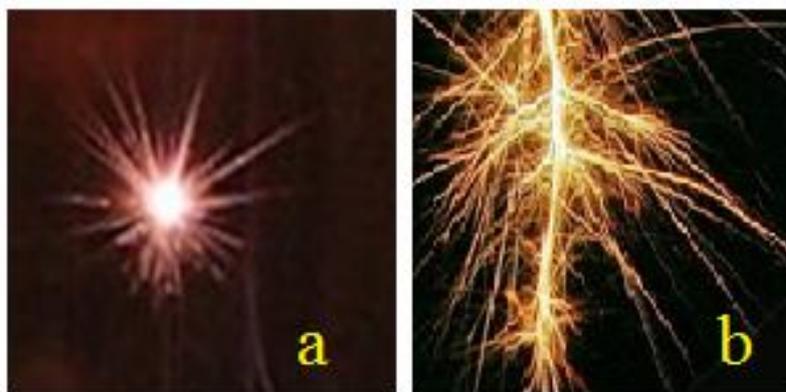


рис.2. виды фрагментации

а- «звезда»

б- «еловая ветвь»

Для описания поведения и эволюции частиц разработана буквенная нотация. Следующие события обозначаются буквами b, e, s и z: «b» (begin) – начало фрагментации, «e» (end) – конец фрагментации, «s» (stop) – принудительное гашение частицы на дне чашки Петри, «z» (zero) – «исчезновение» частицы, рис.3.

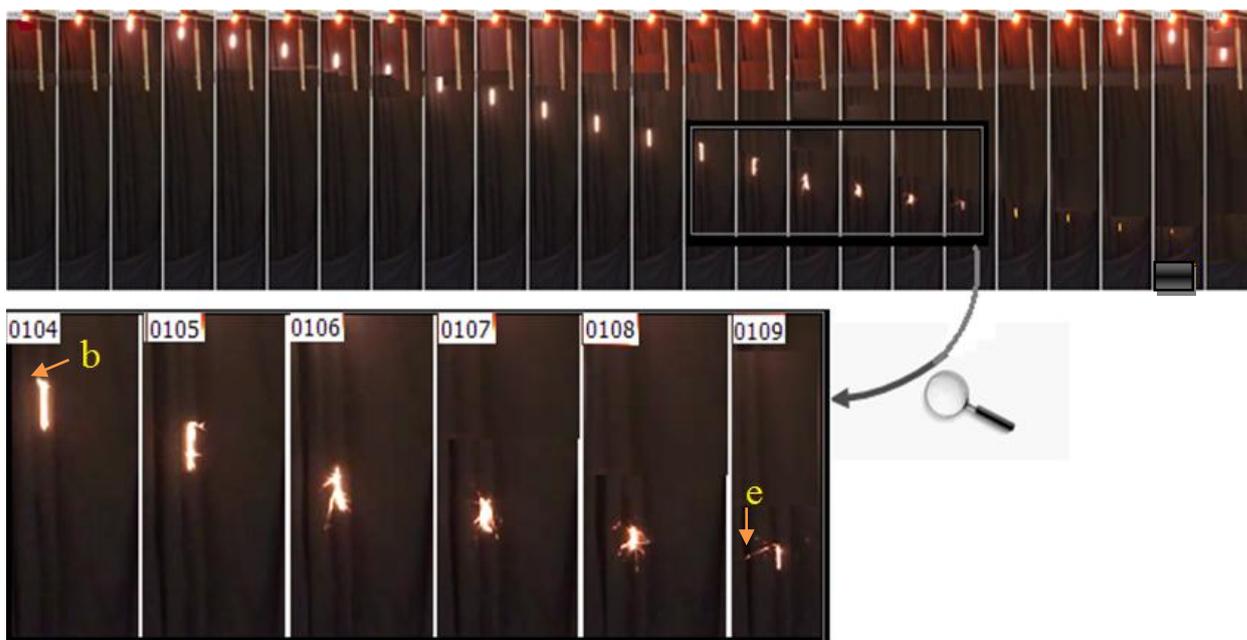


Рис.3 Видеограмма – последовательность кадров горения частицы Ti в свободном падении в воздухе. «b» (begin) – начало фрагментации, «e» (end) – конец фрагментации

Рис. 4 демонстрирует «жизненный цикл» типичный для крупных (300–500 мкм) частиц. Это рисунок собран из фрагментов кадров видеозаписи посредством технологии вырезать-вставить. На рис. 4 представлен весь трек частицы от ее выхода из образца (событие 0) до «исчезновения» (событие z).

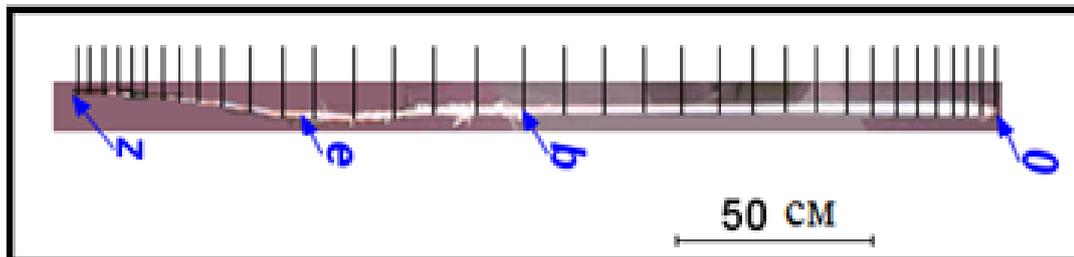


Рис. 4. Видеозапись для крупной (300–500 мкм) Ti частицы, свободно падающей в воздухе.

Общая картина поведения частиц Ti при горении. Количественные данные о наступлении событий *b*, *e*, *z*. Движение частиц и коэффициент сопротивления.

События *b* and *e* есть начало и конец фрагментации, соответственно. Фрагментации происходит по типу “еловая ветвь”, и на рис. 4 видно, что между метками событий *b* and *e* 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 1/30 с.

Отметим некоторые наблюдаемые особенности.

(1) До начала фрагментации (выше точки *b*) частица падает вертикально, фрагментация вызывает небольшие возмущения ее движения (отклонение траектории от прямолинейной).

(2) После окончания фрагментации (ниже точки *e*) скорость частицы заметно снижается. Трек частицы постепенно сужается и тускнеет, и ниже точки *z* частицу уже не видно.

Заключение

В ходе исследования определены особенности: этапы и типы горения; виды фрагментации монолитных материнских частиц титана диаметром 300–500 мкм; эволюции частицы – фрагментация, для частиц 300-500 мкм осуществляется с сохранением материнской частицы (вид разлета фрагментов напоминает «целовую ветвь»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. V. Weiser, J. Neutz, N. Eisenreich, E. Roth, H. Schneider, S. Kelzenberg. Development and characterization of pyrotechnic compositions as counter measures against toxic clouds // *Energetic Materials: Performance and Safety*. 36th International Annual Conference of ICT & 32nd International Pyrotechnics Seminar, June 28 - July 1, 2005, Karlsruhe, Germany. ICT, 2005. P. 102-1–102-12.
2. Захаров Р. С., Глотов О. Г. Характеристики горения пиротехнических композиций с порошкообразным титаном // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2007. Том 2, вып. 3. С. 32-40. http://www.phys.nsu.ru/vestnik/catalogue/2007/03/Vestnik_NSU_07T2V3_p1-103.pdf
3. Карасев В. В., Онищук А. А., Хромова С. А., Глотов О. Г., Зарко В. Е. и др. Образование наночастиц оксида металла при горении капель Ti и Al // Физика горения и взрыва. 2006. Т. 42, № 6. С. 33-47.
4. Evgeny Shafirovich, Soon Kay Teoh, Arvind Varma. Combustion of levitated titanium particles in air // *Combustion and Flame*. 2008. V. 152. P. 262–271.
5. T. A. Andrzejak, E. Shafirovich, A. Varma. On the Mechanisms of Titanium Particle Reactions in O₂/N₂ and O₂/Ar Atmospheres // *Propellants Explos. Pyrotech.* 2009, V. 34. P. 53–58.
6. O. G. Glotov, V. N. Simonenko, V. E. Zarko, G. S. Surodin. Combustion of monodisperse titanium particles in air. 41st International Annual Conference of ICT. Energetic Materials for High Performance, Insensitive Munitions and Zero Pollution. Federal Republic of Germany, Karlsruhe, June 29 - July 02, 2010. P. 30-1–30-14.
7. Н.С. Белоусова, О.Г. Глотов, А.В. Гуськов Экспериментальное исследование особенностей горения монолитных частиц титана//Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии. XII Всероссийская конференция молодых ученых/ Под ред. В.В. Козлова, 16-22 марта 2018 г., Новосибирск-Шереметев. Новосибирск: Параллель, 2018, 183 с.
8. Белоусова Н. С. Исследование горения частиц титана = Investigation of titanium particles combustion / Н. С. Белоусова, О. Г. Глотов // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 18 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 19–21 апр. 2017 г. В 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – Т. 2. – С. 103-109. - 40 экз. - ISBN 978-5-7782-3217-4, ISBN 978-5-7782-3219-8 (т. 2).
9. Глотов О. Г. Горение сферических титановых агломератов в воздухе. Часть II. Результаты // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т. 49, № 3. С. 58-71.
10. Molodetsky I. E., Dreizin E. L., Vicenzi E. P., Law C. K. Phases of titanium combustion in air // *Combustion and Flame*. – 1998. V. 112. P. 522–532.
11. Evgeny Shafirovich, Soon Kay Teoh, Arvind Varma. Combustion of levitated titanium particles in air // *Combustion and Flame*. – 2008. – V. 152. P. 262–271.

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ШТАТНЫЕ И
ФОРМОВАННЫЕ ПРОКАТКОЙ ЗАРЯДЫ ПРИ НАГРУЗКАХ,
ИМИТИРУЮЩИХ АРТИЛЛЕРИЙСКИЙ ВЫСТРЕЛ**

**Богомолов Алексей Дмитриевич; Попов Александр Геннадьевич;
Нурмухаметов Андрей Тагирович; Рогожин Павел Викторович**

**Самарский Государственный Технический Университет,
г. Самара, Fastex2@yandex.ru**

В работе представлены результаты определения условий, обеспечивающих безопасность применения разрывных зарядов к нагрузкам артиллерийского выстрела после их длительного хранения при температурах минус 60 °С, что соответствует температурам арктической зоны Российской Федерации, где располагаются отечественные военные базы. Проведен анализ четырех типов взрывчатых веществ, используемых при снаряжении штатных средств поражения.

The paper presents the results of determining the conditions ensuring the safety of the application of explosive charges to artillery shot loads after their long storage at temperatures minus 60 °C, which corresponds to the temperatures of the Arctic zone of the Russian Federation, where Russian military bases are located. The analysis of four types of explosives, used for the detection of standard weapons.

При температурах хранения, присущих средней полосе России, проводились исследования по оценке стойкости разрывного заряда к динамическим нагрузкам артиллерийского выстрела [1-2]. Проведен анализ причин преждевременных взрывов в канале ствола орудия. Причиной преждевременных разрывов могут быть воздушные раковины в донной части заряда.

Критические размеры блюдцеобразных трещин и их влияние на технологическую безопасность определялись с помощью копра марки К-44-IV с массой сбрасывания груза 210 кг с высоты сбрасывания 1,5 м и навеской испытуемого ВВ до 50 г.

Полученные в работе [3] результаты испытаний на копрах К-44-IV показали, что при дефектах в зарядах из А-IX-1 и А-IX-2 в виде расслоенных трещин размером более 2 мм должен произойти преждевременный разрыв в канале ствола.

С целью определения безопасных условий использования разрывных зарядов, полученных прокаткой, в работе [1] была определена величина усадки и оценен характер образования возможных дефектов.

В данной работе опыты проводились на копре К-44-IV без тормозных устройств по жесткой схеме испытаний на изделиях, снаряженных А-IX-2, А-IX-1, тротилом и окфолом.

Испытуемые образцы подвергались воздействию температуры минус 60 °С в климатической камере КТК-800 при времени выдержки 90 минут, затем испытывались на копре К-44-IV (рисунок 1).



а)

б)

Рисунок 1 - Внешний вид зарядов и сборок

а) - Заряд прокатный (слева) и прессованный (справа) в сборках;

б) – заряды и сборки после выдержки при температуре минус 60⁰ С

Высота и диаметр зарядов составляла 30 мм. Температура зарядов (-60⁰ С). Высоты сброса груза для соответствующего типа снаряда определялись из работы [3]. Основные результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты испытаний образцов при динамическом нагружении

Тип заряда и (номер опыта)	Соответствующий тип снаряда	Величина усадки (мм) и результат испытаний
Шашка из А-IX-2 (1-10)	57 мм	0,2
Прокатный элемент из А-IX-2 (11-20)		0,15
Шашка из А-IX-2 (21-30)	100 мм	1,0
Прокатный элемент из А-IX-2 (31-40)		0,8
Шашка из А-IX-2 (41-50)	122 мм	1,9
Прокатный элемент из А-IX-2 (51-60)		1,35
Шашка из А-IX-2 (61-70)	152 мм	Детонация: 100% опытов
Прокатный элемент из А-IX-2 (71-80)		1,45
Шашка из А-IX-1 (1-10)	57 мм	0,2
Прокатный элемент из А-IX-1 (11-20)		0,16
Шашка из А-IX-1 (21-30)	100 мм	1,1
Прокатный элемент из А-IX-1 (31-40)		0,9
Шашка из А-IX-1 (41-50)	122 мм	2,0
Прокатный элемент из А-IX-1 (51-60)		1,4
Шашка из А-IX-1 (61-70)	152 мм	Детонация: 100% опытов
Прокатный элемент из А-IX-1 (71-80)		1,5
Шашка из тротила (1-10)	57 мм	0,24
Прокатный элемент из тротила (11-20)		0,18
Шашка из тротила (21-30)	100 мм	1,2
Прокатный элемент из тротила (31-40)		0,9
Шашка из тротила (41-50)	122 мм	2,1
Прокатный элемент из тротила (51-60)		1,45

Шашка из тротила (61-70)	152 мм	Взрывное горение 40 % опытов, детонация 60 % опытов
Прокатный элемент из тротила (71-80)		1,5
Шашка из окфола (1-10)	57 мм	0,19
Прокатный элемент из окфола (11-20)		0,14
Шашка из окфола (21-30)	100 мм	0,90
Прокатный элемент из окфола (31-40)		0,76
Шашка из окфола (41-50)	122 мм	1,9
Прокатный элемент из окфола (51-60)		1,45
Шашка из окфола (61-70)	152 мм	Детонация 100% опытов
Прокатный элемент из окфола (71-80)		1,5

В случаях с испытаниями, имитирующими нагрузки при выстреле артиллерийского осколочно-фугасного снаряда (ОФС) калибром 57, 100 и 122 мм охлажденных до температуры (-60° С) под действием как статической, так и динамической нагрузки все виды образцов имели усадку без развития химической реакции и перехода на режим взрывчатого превращения. Следует отметить, что разрывные заряды, изготовленные по прокатной технологии, обладают меньшей усадкой по сравнению с прессованными изделиями на величину до 30 %.

При испытаниях с высоты падения груза 1100 мм на образцы, охлажденные до температуры минус 60° С (имитация нагрузок при выстреле 152 мм ОФС), происходила детонация прессованных шашек из А-IX-2, А-IX-1 и окфола в 100 % случаев и детонация (60% случаев) и взрывное горение (40% случаев) для прессованных шашек из тротила. Снаряды, снаряженные по прокатной технологии, претерпевали лишь усадку около 1,45 мм без развития химической реакции и перехода на режим взрывчатого превращения.

Таким образом, нагрузки при выстреле из артиллерийского орудия калибром 152 мм, в условиях сверхнизких арктических температур (при температуре заряда минус 60°С) с высокой вероятностью приведут к его детонации в канале ствола. При использовании зарядов, формованных прокаткой, с тем же веществом, испытания не приводят к детонации, что является условием безопасного использования ОФС калибра 152 мм, снаряженных прокатной технологией, в условиях арктического климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Попов, А.Г. Исследование процесса механического ударного воздействия на разрывные заряды / Бакиров А.Р., Нурмухаметов А.Т., Кондратенко П.К. // Труды XVII Всероссийской НТК «Наука. Промышленность. Оборона». - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – С. 799-803.
2. Баркан, С.А. О напряженном состоянии разрывного заряда при выстреле / С.А. Баркан // – ВСМ, 1973, сер VI, вып. 1 (10), с. 33-44.
3. Исследование условий обеспечивающих безопасность артиллерийских снарядов, снаряженных мощным ВВ, при напряжении в нижнем слое заряда в момент выстрела до 2000 кг/см² (отчет) Куйбышевский политехн. ин-т; К.В. Пешков, Е.А. Климушкин, М.И. Мушкаев и др.; инв № 3481 с. – Куйбышев, 1975, -92 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ К ТЕРМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРИ ПОМОЩИ КАЛОРИМЕТРА ДСК-500

О.Е. Гришина

Научный руководитель: к.т.н., доцент А.С. Нечаев

Самарский государственный технический университет,
г. Самара, apiaru@list.ru

Представлен альтернативный метод определения температуры вспышки взрывчатых веществ и окислителей при помощи дифференциального сканирующего калориметра ДСК-500. Получена структурная модель процесса распространения тепла в печи ДСК, необходимая для решения задачи синтеза системы автоматического управления температурой нагрева определенных зон измерительного блока классическими способами.

An alternative method for determining the flash point of explosives and oxidizers using differential scanning calorimeter DSK-500 is presented. The model is obtained in the structure of the process of heat glue DSK peck required to solve the problem of synthesis of automatic temperature control system has grown certain zones measurement block classical ways.

Работа проводилась при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-01103 а.

Чувствительность к тепловым воздействиям энергетических материалов (ЭМ) является одним из главных и чрезвычайно информативных параметров. Знание чувствительности необходимо для разработки новых веществ, определения безопасных условий их синтеза, расчёта сроков хранения, прогнозирования свойств в течение длительного времени. Сведения о механизме и количественные данные о реакциях термического разложения ЭМ позволяют непосредственно характеризовать удельную мощность энерговыделения этих материалов. При синтезе новых ЭМ не менее актуально прогнозирование физических свойств вещества, причем делать это необходимо уже на первых миллиграммах продуктов.

На базе самарского государственного технического университета была разработана информационно-измерительная система с рядом программных продуктов, направленных на решение указанных выше задач (рисунок 1).



Рисунок 1 – Дифференциальный сканирующий калориметр ДСК-500

В процессе исследования теплофизических свойств веществ посредством метода дифференциального термического анализа, одной из основных задач измерительной системы является поддержание заданного алгоритма нагрева в измерительной ячейке [1,2]. Это возможно осуществить путем создания автоматической системы управления тепловым потоком в измерительном блоке.

Дифференциальный сканирующий калориметр ДСК-500 по принципу действия относится к калориметрам теплового потока, в которых исследуемый образец и образец сравнения (называемый также эталоном) нагревают одинаковым образом, в ходе нагревания измеряют и регистрируют разность температур этих образцов, пропорциональную дифференциальному тепловому потоку. Теплота фазового перехода или химической реакции определяется по площади пика дифференциальной кривой (рисунок 2).

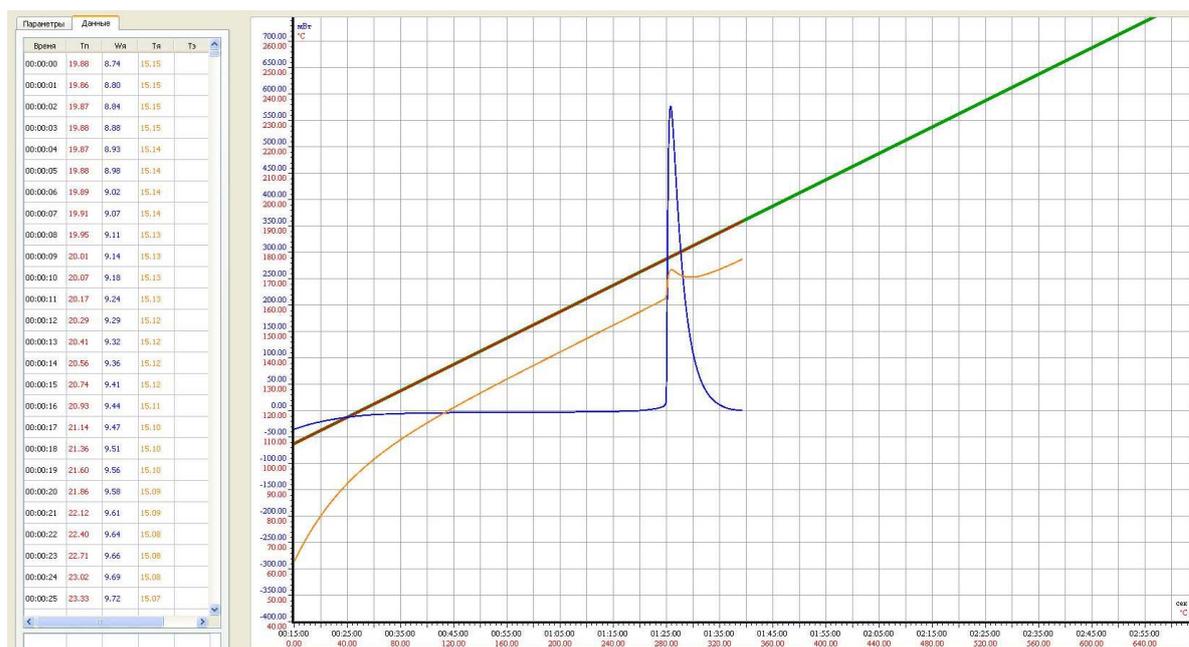


Рисунок 2 – Термограмма с ДСК-500 при использовании программного продукта ДСК

Математическое представление процесса распространения тепла в измерительном блоке устройства ДСК опирается на особенности его конструкции. Из обобщенной структуры печки устройств ДСК видно (рисунок 3), что от корпуса печки 3, в который встроены нагревательные элементы, тепловой поток передается металлической подложке 1, с помощью эффекта теплопроводности в областях их соприкосновения, конвективного теплообмена посредством свободной конвекции газа в пространстве между подложкой и крышкой 4, а также с помощью лучистого теплообмена. Подложка имеет форму круглой пластины, на которой расположены исследуемые вещества. В блоке имеются термодпары 2, предназначенные для измерения температуры веществ, нагреваемых на подложке и теплоизоляционный материал 5, необходимый для сохранения тепловой энергии под подложкой.

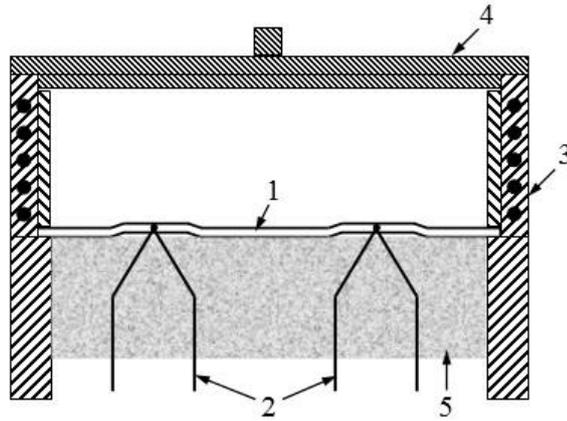


Рисунок 3 – Структура печи ДСК

Одним из ключевых параметров любого взрывчатого вещества (ВВ) является температура вспышки. В настоящее время данная характеристика определяется по ГОСТ Р 22.2.07-94 «Вещества взрывчатые инициирующие. Метод определения температуры вспышки» [3]. Процесс подготовки, проведения и порядок обработки результатов испытания является весьма долгим и трудозатратным. Ко всему этому добавляются особые требования к безопасности проведения эксперимента.

За основу построения математической модели было принято уравнение изменения энтальпии в элементарном объеме, посредством вносимой извне теплоты, что отражает физику рассматриваемого процесса в данной конструкции измерительного блока [4].

$$dQ = C_p dV \frac{\partial T}{\partial t} dt = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) dV dt, \quad (1)$$

где Q – энтальпия, C – теплоемкость материала подложки, ρ – плотность материала подложки, dV – элементарный объем, $\frac{\partial T}{\partial t}$ – приращение температуры, λ – коэффициент теплопроводности, x, y, z – пространственные переменные в декартовой системе координат.

При этом тепло распространяется в зависимости от одной пространственной координаты r , характеризующей радиальную составляющую. Тогда уравнение теплопроводности (1) запишется в виде одномерного уравнения:

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right). \quad (2)$$

$$0 \leq r \leq R.$$

Здесь $T(r,t)$ – температура подложки, зависящая от пространственной и временной координат; $a = \lambda / C_p$ – коэффициент температуропроводности; R – радиус подложки.

Решение задачи (2), должно отражать отклик объекта на некоторый точечный источник. Таким решением может являться функция Грина вида $G(r, \xi, t - \tau)$, характеризующая импульсную переходную функцию распределения температуры [5]. Представим уравнение (2) как

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right) + \delta(r - \xi) \delta(t - \tau), \quad (3)$$

где δ – импульсная функция Дирака, ξ и τ – пространственная и временная переменные.

Решая (3) методом разделения временной и пространственной переменных, получим выражение для закона изменения температуры в виде:

$$T(r, t) = C_1 \exp(-ak^2t) J_0(kr). \quad (4)$$

Здесь C_1 – свободный коэффициент интегрирования временной составляющей; k – коэффициент, полученный путем интегрирования временной составляющей по пространственной переменной r ; $J_0(kr)$ – функция Бесселя первого рода порядка 0.

Коэффициент C_1 определяется совокупностью значений, зависящих от начального распределения температуры, функций Бесселя первого рода порядков 0 и 1.

Для построения структурной модели объекта управления используем запись решения (4) в безразмерной форме:

$$\frac{T(r, t)}{T_0(r)} = \frac{2}{R} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_1(k_n R)}{k_n [J_0^2(k_n R) + J_1^2(k_n R)]} J_0(k_n r) \exp(-ak_n^2 t) \right\}. \quad (5)$$

где $J_1(k_n)$ – функция Бесселя первого рода порядка 1, k_n – корни функций Бесселя, r_1 – нормированное значение пространственного параметра r .

Распределение температурного поля в подложке измерительной ячейки, описанное уравнением (5), с учетом нормирования температуры и пространственного параметра r , представлено на рисунке 4. Данная модель справедлива для условия постоянства теплового потока, идущего от нагревателя к границам подложки без учета отвода тепла температурными датчиками (термопарами).

В ходе проведения исследований на некоторых образцах инициирующих ВВ и бризантных ВВ (БВВ), порохов, смесевых ракетных твёрдых топлив и их компонентов методом дифференциального термического анализа с помощью калориметра ДСК-500 была предложена методика определения температуры вспышки (рисунок 5).

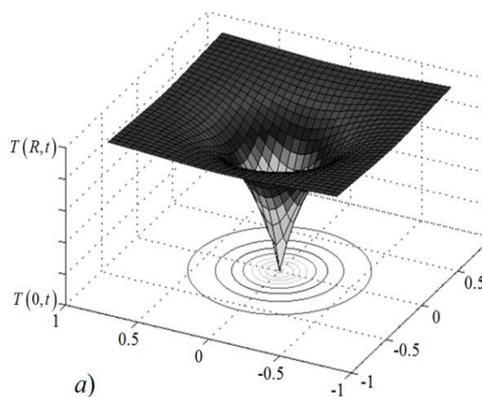


Рисунок 4 – Распределение температурного поля в подложке печи ДСК-500

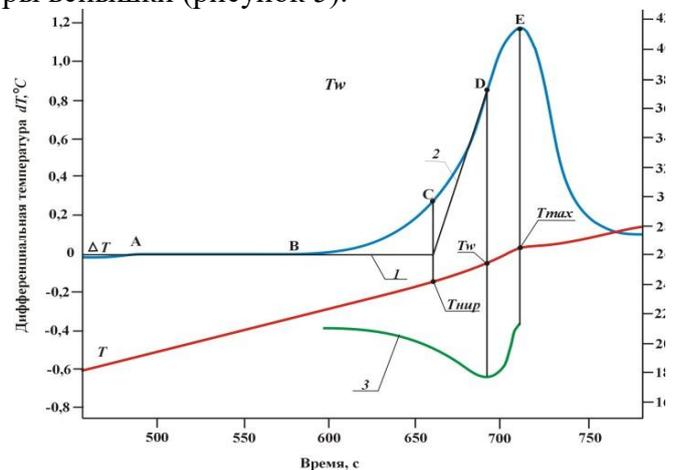


Рисунок 5 – Типичная термограмма разложения БВВ

Ключевой особенностью предложенной методики является существенное сокращение времени проведения исследований, а также использование малых и сверхмалых масс исследуемых веществ, что, безусловно, актуально при анализе высокомоощных ЭМ. Указанные особенности разработанной методики снижают требования, предъявляемые к безопасности проведения эксперимента. На основании этой методики был разработан алгоритм для определения температуры вспышки и его программная реализация.

Кроме температуры вспышки перспективным направлением разработки новых, а также совершенствования известных смесевых ракетных твердых топлив (СРТТ) является применение определенных окислителей, обеспечивающих более высокую скорость горения СРТТ. Нами было предложено в качестве инструмента экспрессной оценки физико-химических свойств, в частности, энергетических параметров высокодисперсных окислителей применить метод ДТА высокого разрешения.

Одним из способов повышения точности измерения в калориметре ДСК-500 является учет динамической погрешности, возникающей в ходе эксперимента. Уменьшение данного рода погрешности приводит к повышению точности измерения при различных скоростях нагрева вещества в измерительном блоке устройства. Также повышение точности полученных экспериментальных значений осуществляется путем программной коррекции данных по рассчитанной тепловой модели распределения температур в измерительном блоке с учетом эффектов теплопроводности и лучистого теплообмена.

В совокупности имеется отечественная информационно-измерительная система, позволяющая решать ряд актуальных задач в области вооружения, военной и специальной техники, и имя ей ДСК-500

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шестак, Я. Теория термического анализа. – М.: Мир. – 1987. – 456 с.
2. Лощинин Ю. В., Пахомкин С. И., Фокин А. С. Влияние скорости нагревания при исследовании фазовых превращений в алюминиевых сплавах методом ДСК //Авиационные материалы и технологии. – 2011 – №2. – С. 3-6.
3. ГОСТ Р 22.2.07-94. Вещества взрывчатые инициирующие. Метод определения температуры вспышки [Текст]. – Введ. 1996-01-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1995.- 11с.
4. Хемингер В., Хене Г. Калориметрия. Теория и практика. – М.: Химия. – 1990. – 176 с.
5. Рапопорт Э. Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высшая школа. – 2003. – 299 с.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОЙ ПОРИСТОСТИ ЗАРЯДА НА ДАВЛЕНИЕ В КАНАЛЕ СТВОЛА ОРУДИЯ

М.Е. Давлятова, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин, С.Ф. Дубинина

Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина,
г. Нижний Тагил, khmelnikov7@gmail.com

Рассматривается моделирование формирования порохового заряда, состоящего из зерненных пороховых элементов. Целью работы является создание модели, позволяющей учесть неравномерное распределение пороховых элементов по длине заряда при расчете внутрибаллистических характеристик на основе газодинамического подхода.

Modeling the formation of powder charge, consisting of grains of powder elements is discussed in the article. The purpose of this work is creation of model, which allows accounting uneven distribution of powder elements along the length of the charge in the calculation interior ballistics characteristics based on gas-dynamic approach.

При проектировании артиллерийского вооружения важную роль играет определение величины давления пороховых газов, скорости боеприпаса при выстреле и других внутрибаллистических параметров.

Для решения этой задачи в настоящее время широко используется газодинамический подход. Одна из наиболее разработанных моделей горения пороха, движения пороховых газов и пороховых элементов на основе этого подхода описана в трудах [1], [3]. В существующей модели распределение пороховых элементов по длине заряда в начальный момент времени считается равномерным, что не вполне соответствует реальным процессам, наблюдаемым при выстреле. Поэтому была разработана модель формирования порохового заряда, состоящего из зерненных пороховых элементов, которая позволит учесть неравномерное распределение пороховых элементов по длине заряда.

Если считать пористость в начальный момент времени изменяющейся величиной, зависящей от положения рассматриваемого элемента объема внутри камеры, то можно построить новую модель, с неравномерным распределением пороховых элементов. Предлагаемая модель формирования заряда учитывает следующие факторы:

1) При засыпке зерненного пороха в гильзу каждый из пороховых элементов принимает случайное положение и ориентацию в пространстве.

2) После того, как пороховой элемент попал на нижележащий слой пороха, он может продолжить движение вдоль боковых поверхностей уже сформированного объема пороха (то есть может происходить «осыпание» заряда).

При моделировании формирования порохового заряда заснарядный объем, заполняемый порохом, представляется в виде пустотелого цилиндра того же объема, расположенного вертикально. В случае двумерного моделирования, рассматривается только одно вертикальное сечение цилиндра, проходящее через его ось симметрии. При этом используется система координат OX_0Y_0 (рис. 1). Цилиндр заполняется пороховыми элементами. Каждый пороховой элемент возникает на верхнем срезе цилиндра в произвольной точке оси OX_0 - точка возникновения элемента соответствует расположению его центра тяжести в начальный момент времени. Затем он падает вниз до тех пор, пока не достигает дна цилиндра или других пороховых элементов, расположенных под ним. После этого на верхнем срезе цилиндра возникает новый пороховой элемент. При возникновении пороховой элемент может иметь произвольную ориентацию в пространстве, то есть его ось симметрии может составлять любой угол α с осью OX_0 .

После того, как падающий пороховой элемент достигает слоя нижележащих элементов, он может остановиться или же продолжить движение, в зависимости от положения центра тяжести элемента относительно точки опоры. При расчете движения порохового элемента кроме основной системы координат Ox_0y_0 для каждого падающего элемента строится еще одна система координат $OXYZ$, связанная с пороховым элементом. За начало координат принята точка O – центр тяжести элемента.

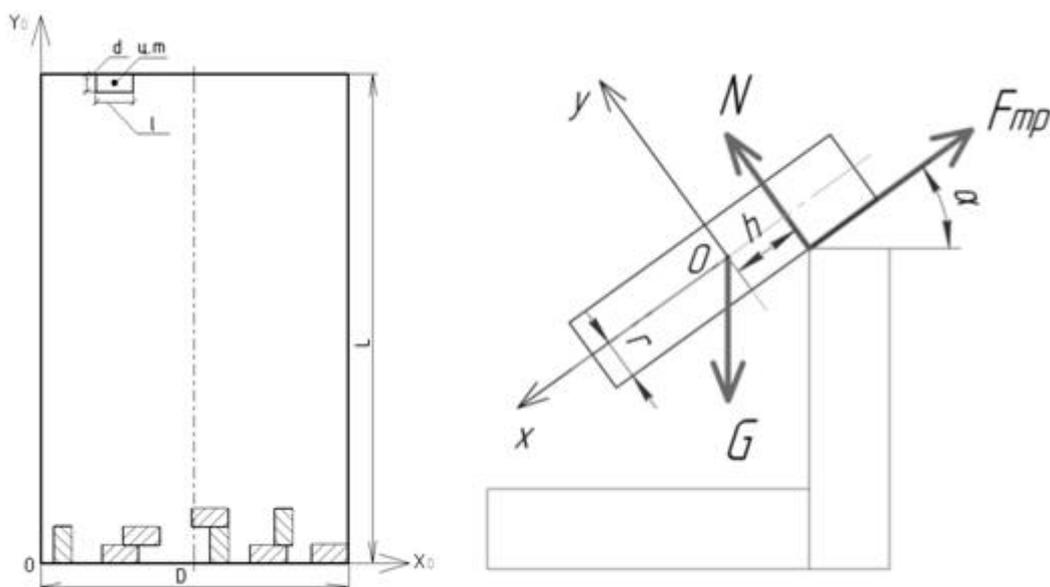


Рисунок 1. Процесс моделирования порохового элемента и силы, действующие на пороховой элемент в момент падения

На рассматриваемый элемент после его соприкосновения с другими элементами действуют сила тяжести, силы реакции опоры и силы трения. При расчете используются уравнения поступательного движения в проекциях на оси x и y и уравнение вращения относительно оси z , а также дополнительные уравнения для определения указанных сил.

При решении уравнений определяется также момент времени, при котором нагрузки, действующие на элемент, изменяются и применение уравнений становится невозможным, при этом расчет прекращается. Возможны следующие условия прекращения расчета: переход к свободному падению элемента, прекращение движения элемента, прекращение вращательного движения элемента при продолжении поступательного, изменение положения точки опоры (рис.2).

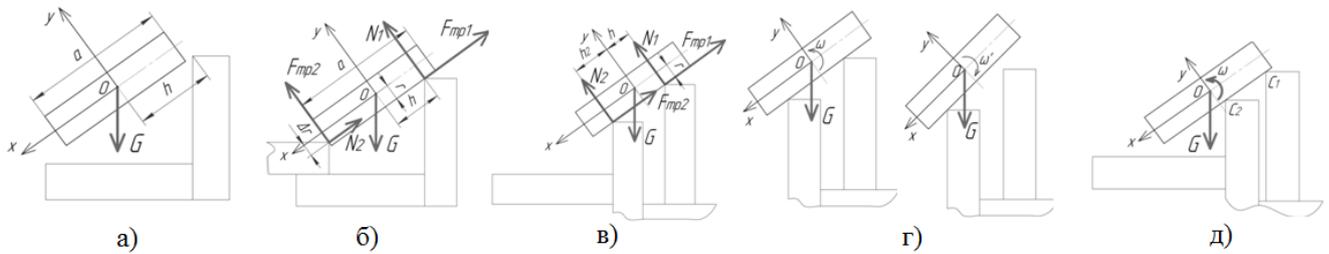


Рисунок 2. Условия прекращения расчета: а - свободное падение элемента, б – остановка элемента, в – поступательное движение элемента, г – вращательное движение элемента, д -изменение положения точки опоры; Ox , Oy – оси системы координат, O – центр тяжести элемента, G – сила тяжести, $N1$, $N2$ – силы реакции опор, $F_{тр1}$, $F_{тр2}$ – силы трения, h – расстояние между осью Oy и линией действия силы реакции опоры $N1$, Δr – расстояние между осью Ox и линией действия силы реакции опоры $N2$, a – длина падающего элемента вдоль оси Ox , $h2$ – расстояние между осью Oy и линией действия силы реакции опоры $N2$, r – расстояние между осью Ox и линиями действия сил трения $F_{тр1}$ и $F_{тр2}$, ω , ω' – угловые скорости поворота элемента, $C1$ – первая точка опоры, $C2$ – вторая точка опоры

Задача решалась в двумерной постановке, с помощью численного моделирования на ЭВМ. При этом рассматриваемое сечение разбивалось на отдельные элементы с размерами Δx и Δy . Таким образом, был сформирован двумерный массив элементов. При моделировании движения порохового элемента, уравнения основной системы решаются численно, с помощью метода Эйлера. В данном случае используется регулярная временная сетка.

После определения положения падающего порохового элемента проводится проверка выполнения условий прекращения расчета, если ни одно из условий не выполняется, расчет продолжается и определяется положение порохового элемента в следующий момент времени t_{n+1} , если какое-либо условие выполняется, порядок расчета изменяется в соответствии с правилами, описанными выше. После полной остановки порохового элемента, элементам массива, в которых он в данный момент находится, присваивается значение 1 и процесс расчета перемещений порохового элемента заканчивается, генерируется новый пороховой элемент.

После того, как общая масса пороховых элементов в цилиндре достигнет значения, равного номинальной массе порохового заряда, определяется значение пористости для всех горизонтальных сечений цилиндра, а также плотность заряжения для всего объема цилиндра.

На основе составленной модели был проведен ряд расчетов по формированию порохового заряда для пушки АК-230. На рисунке 3 показана картина заполнения цилиндра пороховыми элементами. Рисунок соответствует одному из расчетов и изображает часть заснарядного пространства (длиной 48 мм) в начале (а) и в конце (б) его заполнения.

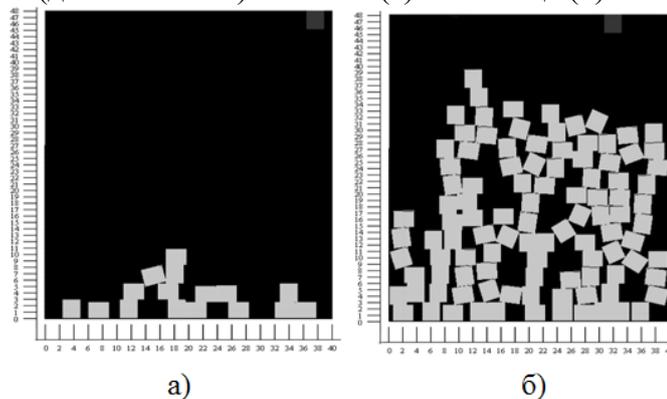


Рисунок 3. Начало (а) и окончание (б) заполнения цилиндра; $D = 40$ мм, $L = 48$ мм, $d = 2,5$ мм, $l = 2,9$ мм, $\Delta x = \Delta y = 0,1$ мм

Анализ полученных данных показывает, что значения пористости для различных горизонтальных сечений цилиндра могут значительно отличаться друг от друга. Средняя пористость заряда также изменяется в некоторых пределах – она зависит от уровня заполнения гильзы пороховыми элементами (вдоль оси ОУО).

Для того, чтобы определить как влияет распределение пористости по длине заряда на величину давлений пороховых газов при выстреле, для всех сформированных зарядов на основе газодинамического подхода были проведены расчеты внутрибаллистических параметров.

Графики изменения давлений пороховых газов в районе дна боеприпаса - $p_c(x)$, в районе дна камеры - $p_k(x)$, а также графики изменения скорости боеприпаса V представлены на рис. 4. На рисунках представлены также кривые изменения давления пороховых газов в случае постоянной пористости по длине заряда. Все кривые на графиках представляют собой зависимости давлений пороховых газов от координаты дна боеприпаса x . Нулевое значение по оси x соответствует дну камеры орудия.

Выводы:

На основании полученных данных установлено, что характер распределения пористости по длине заряда значительно влияет на процесс горения порохового заряда и, соответственно, на величину давлений пороховых газов, наблюдаемых в процессе выстрела. Для зарядов с одинаковой средней пористостью, но разным характером распределения пористости, максимальные давления пороховых газов могут отличаться весьма значительно.

Наблюдаемое явление связано с тем, что в некоторых зарядах существуют области с резким перепадом пористости на относительно коротком отрезке длины заряда, что приводит к локальному повышению (или снижению) давления в этих областях в процессе горения пороха.

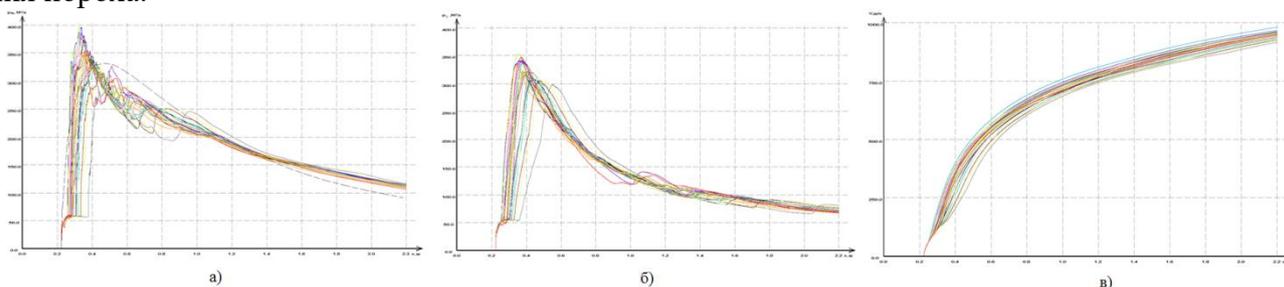


Рисунок 7. Кривые изменения давления пороховых газов при выстреле: а - в районе дна камеры $p_k(x)$, б – в районе дна боеприпаса $p_c(x)$, в – графики изменения скорости боеприпаса; — - расчет № 1, — - расчет № 2, — - расчет № 3, — - расчет № 4, — - расчет № 5, — - расчет № 6, — - расчет № 7, — - расчет № 8, — - расчет № 9, — - расчет № 10, — - расчет № 11, — - расчет № 12, — - расчет № 13, — - расчет № 14, — - расчет № 15, — - расчет № 16, — - расчет № 17, — - расчет № 18, — - расчет № 19, — - расчет № 20, — - расчет при условии равномерного распределения пористости, — — - экспериментальный график

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Русяк И.Г., Ушаков В.М. «Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах», Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 259 с.
2. Баллистика ствольных систем/ РАН; В.В.Бурлов и др.; под ред. Л.Н.Лысенко и А.М.Липанова; редкол. серии: В.П.Киреев (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.: ил. (Справ. б-ка разработчика-исследователя).
3. Русяк И.Г., Липанов А.М., Ушаков В.М. Физические основы и газовая динамика горения порохов в артиллерийских системах. – М. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. – 456 с.
4. «Математические модели проектирования боеприпасов на основе уравнений механики гетерогенных реагирующих сред», Русяк И.Г., «Вопросы оборонной техники», серия 14, выпуск 2, Москва, 2011, стр. 3-11.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОНИЖЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ВЗРЫВОМ СТАЛИ 110Г13Л

А.С. Долматов, К.Н. Макарова
Научный руководитель: А.В. Гуськов

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, al.dolmatow88@yandex.ru

В статье проводится обзор существующих взрывчатых веществ (ВВ), которые можно применить для упрочнения взрывом стали 110Г13Л. Предлагаемые энергетические материалы должны соответствовать по своим параметрам детонации используемым составам, но при этом по параметрам чувствительности превосходить используемые составы. Рассмотрены смеси тротила с гексогеном при добавлении алюминия, смеси тротила с ТЭНом (пентолит). Предложен к применению состав тротила с нитротриазолоном – малочувствительным ВВ.

The article reviews the existing explosives, which can be used to harden the explosion of 110G13L steel. The proposed energetic materials should correspond in their detonation parameters to the compositions used, but at the same time the sensitivity parameters exceed the used compositions. Mixtures of TNT and hexogen with addition of aluminum, pentolite. A composition of TNT with nitrotriazolone - a low-sensitivity explosive, has been proposed.

Ударно-волновое нагружения используют для упрочнения крестовин железнодорожных стрелочных переводов, которое улучшает физико-механические свойства материала изделия – сталь 110Г13Л, что позволяет увеличить срок эксплуатации. Процесс упрочнения заключается в подрыве заряда взрывчатого вещества (ВВ)[1,2].

Актуальной проблемой является повышение безопасности при проведении взрывных работ по упрочнению на машиностроительных предприятиях. Следовательно, важной задачей является изучение работоспособность взрывчатых веществ с пониженной чувствительностью, способов понижения чувствительности и возможность применения данных составов в упрочнении взрывом.

В качестве ВВ для нагружения изделий часто применяют ЛВВ-11 или ТГ 50/50 [3]. Их свойства представлены в таблице.

Таблица 1. Свойства взрывчатых веществ, используемых для высокоскоростного нагружения

Свойства	ЛВВ-11	ТГ 50/50
Скорость детонации, м/с	7400	7570
Плотность, г/см ³	1,42	1.70
Давление на фронте, кбар	170	210
Чувствительность к удару (высота падение груза массой 10 кг)	5 см	12 см
Температура вспышки, град С	230	226

Исходя из свойств используемых материалов (табл. 1), ВВ для упрочнения должны иметь скорость детонации 7,4-7,6 км/с и давление на фронте от 170 до 210 бар [4]. Сложная геометрическая форма изделия затрудняет использование насыпных ВВ, поэтому используют пластические (ЛВВ-11) или литые составы (ТГ 50/50), которые обеспечивают необходимую толщину ВВ.

Для упрочнения взрывом литыми составами необходимо создавать формы для получения зарядов с заданными геометрическими параметрами. Литые составы с тротилом изготавливаются следующим образом: в расплавленный тротил при перемешивании добавляют увлажнённое ВВ и другие добавки (полимеры и другое). Смесь нагревают и

перемешивают до испарения воды и смачивания расплавом тротила твёрдых компонентов добавленных веществ. При охлаждении происходит кристаллизация и затвердевание смеси [5].

Подобные составы позволяют использовать мощные и чувствительные ВВ такие как ТЭН и гексоген, которые в расплаве с тротилом позволяют повысить мощность смеси по сравнению с тротилом, но при этом сохранить удовлетворительную чувствительность к механическим воздействиям. Примером такого состава является пентолит.

Пентолит – литьевая смесь тротила и ТЭНа. При содержании ТЭНа 50%, плотности 1,66 г/см³ состав имеет следующие свойства: скорость детонации 7450 м/с, давление на фронте ударной волны 250 кбар, температура плавления 76,4 С, чувствителен к удару при падении груза массой 10 кг с высоты 25 см. При плотности 1,7 г/см³ скорость детонации 7530 м/с. Для пентолита существует зависимость скорости детонации от плотности: $D=5480+3100(p-1)$, где p – плотность вещества [6]. Изменяя плотность указанного ВВ можно получить необходимые параметры детонации для взрывного упрочнения, при этом не изменяя чувствительность к удару.

Другим способом понижения чувствительности ВВ является добавление в состав металлических добавок, таких как алюминий. К таким составам относятся смеси тротила, гексогена и алюминия - ТГА (таблица 2) [7].

Таблица 2. Характеристики литьевых смесей ТГА

Взрывчатое вещество	Плотность, г/см ³	Скорость детонации, м/с	Чувствительность к удару (падение груза массой 10 кг), см	Бризантность по Касту (тротил 3,6), мм
ТГА70/15/15	1.72	6960	24	4,5
ТГА50/25/25	1.85	7680	24	4,9
ТГА50/20/30	1.80	7400	24	4,7
ТГА40/45/15	1.79	7500	24	5,3

Проанализировав состав литьевых смесей ТГА можно сделать следующий вывод: меняя соотношение добавок гексогена и алюминия в смеси можно получить ВВ с необходимой скоростью детонации, при этом не увеличивая чувствительность состава к удару. При введение в смесь ВВ алюминия – металлического горючего компонента - взрывное разложение происходит в две стадии: сначала детонирует основное ВВ, затем металл реагирует с продуктами взрыва, увеличивая его энергию.

Для понижения чувствительности возможно также применение смеси тротила с другим малочувствительным, но мощным ВВ. Примером такого состава является смесь тротила и нитротриазолона (НТО). НТО – термостойкое, малочувствительное ВВ. При плотности 1,69 г/см³ имеет скорость детонации 7770 м/с, при плотности 1,87 г/см³ 8200 м/с. Давление детонации при плотности 1,781 г/см³ и диаметре заряда 41,3 мм –28,4 ГПа. Чувствителен к удару при падении груза массой 2,5 кг с высоты 290 см (тротил 148 см). Смеси тротила и НТО активно применяются за границей для снаряжения боеприпасов. Примером подобного состава является ARX-4024, состоящий из 65% НТО и 35% тротила. При данном соотношении ВВ, состав имеет скорость детонации 7810 м/с при плотности 1,8 г/см³. Другие литьевые составы НТО и тротила представлены в таблице 3 [8].

Таблица 3. Состав и взрывчатые свойства литевых ВВ с НТО.

Состав	НТО, %	Тротил , %	Добавки, %	Скорость детонации, м/с	Плотность, г/см ³	Чувствительность к		
						Удару, см (груз 5 кг, 50% взрывов)	Трению, Н	Электрическом у разряду, Дж
ТНТО	50	50	-	7340	1,74	91,5	41,5	0,062
ТНТО/О D	52	42	-	6900	1,61	>200	-	-
ТНТО I	42	34	Al, 19	6670	1,76	>200	-	-
ТНТО II	42	32	Al, 19	6840	1,74	>200	53	0,040
AFX-644	40	30	Al, 20	6960	1,70	>200	60,8	0,040

Из примеров, представленных в таблице 3 видно, что изменяя параметры соотношения нитротриазолона и тротила возможно получить необходимые параметры детонации для применения данных ВВ в упрочнении взрывом.

Вывод:

Обзор существующих ВВ показал, что для упрочнения взрывом удовлетворяют взрывчатые составы на основе тротила и ВВ пониженной чувствительности нитротриазолон (НТО). Изменяя соотношение тротила и НТО можно получить необходимые параметры детонации для упрочнения и необходимые параметры чувствительности.

Смеси ТГА и пентолита возможно применять для упрочнения, изменяя их соотношение в составе ВВ, но их параметры чувствительности не намного отличаются от применяемых ВВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. 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.
2. Исследование механических свойств стали Гадфильда при высокоскоростном нагружении / Н. О. Драньков, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский // Деформация и разрушение материалов. – 2011. – № 3. – С. 39–42
3. Упрочнение взрывом высокомарганцевой стали, Дерibas А.А., Матвеев Ф.И., Соболенко Т.М., Физика горения и взрыва, Новосибирск, 1966.
4. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, 1972.
5. Высокоэнергетические материалы : учеб. пособие / В. В. Андреев, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева. - Новосибирск : НГТУ, 2013.
6. Энергетические конденсированные системы. Краткий энциклопедический словарь/ Под Ред. Б.П.Жукова. Изд 2-е исправл – М. Янус К. 2000 с. 65, 87.
7. Справочник по взрывчатым веществам, порохам и пиротехническим составам. URL: http://chemistry-chemists.com/N2_2013/P1/pirosprawka2012.pdf (дата обращения 15.04.2018)
8. Малочувствительные взрывчатые вещества: учеб. пособие/ В. Ф. Жилин, В. Л. Збарский, Н. В. Юдин. М.: РХТУ им.Д. И. Менделеева, 2008.

ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МЕТАЛЛ-КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ

М.А. Есиков^{1,2}

Новосибирский государственный технический университет
Институт Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН,
г. Новосибирск, esmax@ya.ru

Приведен краткий обзор некоторых работ по исследованию перспективных композитных структур на основе иттрий-циркониевой керамики и жаропрочных сплавов, применяемых в теплозащитных покрытиях (ТЗП) полученных с помощью метода электроискрового плазменного спекания (SPS)

A review of some works of investigation of promising composite structures based on yttrium-zirconium ceramics and heat-resistant alloys used in thermal protection coatings obtained by the method of spark plasma sintering (SPS).

Метод искрового плазменного спекания (SPS)[1] заключается в прессовании порошка в графитовой пресс-форме в вакууме и его нагреве в результате протекания импульсного электрического тока через спекаемый материал. Процесс спекания в SPS, в отличие от традиционного горячего прессования, завершается в течение нескольких минут. Это позволяет быстро получать композиционные материалы из порошков. Этим методом консолидированы такие тугоплавкие материалы, как карбид кремния(SiC) и вольфрама(WC) без каких-либо добавок. Нанесение покрытий на большие площади или криволинейные поверхности данным методом на сегодняшний день представляется затруднительным, но с его помощью возможно быстро получать образцы из слоистых и функционально-градиентных материалов в качестве модельных с целью разработки, исследования и испытания новых композиционных составов и структур. В отличие от традиционных методов напыления и осаждения теплозащитных покрытий, SPS имеет некоторые преимущества, как отсутствие загрязнения химическими веществами и опасных газов, минимальный расход материала, и очень быстрый процесс спекания.

Теплозащитные(термобарьерные) 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. Идеальное защитное покрытие должно быть устойчиво к эрозии и коррозии, обладать окислительной стойкостью, а защищаемое покрытие при этом не должно терять своих свойств из-за тех же процессов высокотемпературного окисления и деградации механических характеристик.

В работе [2] с помощью искрового плазменного спекания получали систему ТЗП, состоящую из пластины жаростойкого никелевого сплава, порошка адгезивного подслоя, диффузионного барьера из оксида алюминия, получаемого in-situ из исходной фольги алюминия, и диоксида циркония(YSZ). Коррозионная стойкость такой системы получилась выше, чем у покрытия, полученного плазменным напылением.

Интересным и активно исследуемым способом улучшения свойств ТЗП является использование добавок агентов самозалечивания микротрещин. Новизна и перспективность предлагаемой разработки направления использования агента MoSi₂, показаны в работе [3],

где впервые было предложено использование добавок MoSi_2 в стабилизированный иттрием диоксид циркония для получения композиционного термобарьерного материала с эффектом самозалечивания микротрещин. Механизм самозалечивания заключается в том, что при прохождении трещины через включение MoSi_2 , при высокой температуре начинается окислительная реакция и продукты реакции (SiO_2 и ZrSiO_4) заполняют трещину.

В работе [4] получен композит YSZ-MoSi_2 методом искрового плазменного спекания, выбранный метод получения используется как модельный для исследования. В работе [5] исследовано влияние включений MoSi_2 на теплопроводность ТЗП, которая выше относительно чистого YSZ , что означает ухудшение теплоизоляционных свойств покрытия. Добавки MoSi_2 в боросиликатное стекло так же придают ему свойства самозалечиваемости при высокотемпературной обработке, так показано восстановление до 86% от величины потерянной прочности при испытании на изгиб образца с залеченной царапиной [6]. При этом максимальное восстановление прочности получено при температурах близких к температуре спекания основного материала - 1400 С, после обработки при 900 С восстановление составило лишь около 30% прочности.

Понижение теплозащитных свойств покрытия из-за высокой теплопроводности MoSi_2 является одной из проблем при разработке новых ТЗП со свойством самозалечивания трещин и требует дальнейшего исследования. Необходимы работы по исследованию влияния структуры и пористости покрытия с добавками MoSi_2 для возможного снижения теплопроводности и повышения эксплуатационных свойств покрытия. В качестве агентов самозалечивания так же рассматриваются различные соединения, окисляющиеся при высоких температурах, например, карбиды кремния SiC и титана TiC .

Рассмотренный эффект самозалечивания микротрещин возникает при рабочих температурах эксплуатации, как в случае лопаток газотурбинных двигателей, так же потенциально возможно восстановление работоспособности керамических покрытий путем дополнительной высокотемпературной термообработки.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-33-00713.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Munir, Z.A., Anselmi-Tamburini, U. & Ohyanagi, M. The effect of electric field and pressure on the synthesis and consolidation of materials: A review of the spark plasma sintering method // *J Mater Sci* (2006) 41: 763.
2. A.H. Pakseresht, A.H. Javadi, M. Bahrani, F. Khodabakhshi, A. Simchi. Spark plasma sintering of a multilayer thermal barrier coating on Inconel 738 superalloy: Microstructural development and hot corrosion behavior // *Ceramics International*. 42 (2016) 2770-2779, ISSN 0272-8842
3. Z. Derelioglu, A.L. Carabat, G.M. Song, S. van der Zwaag, W.G. Sloof. On the use of B-alloyed MoSi_2 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.
4. F. Nozahic, D. Monceau, C. Estournes. Thermal cycling and reactivity of a $\text{MoSi}_2/\text{ZrO}_2$ composite designed for self-healing thermal barrier coatings // *Materials & Design*. 94 (2016) 444-448, ISSN 0264-1275
5. Kulczyk-Malecka J. et al. Influence of embedded MoSi_2 particles on the high temperature thermal conductivity of SPS produced yttria-stabilised zirconia model thermal barrier coatings // *Surface and Coatings Technology*. 308 (2016) 31-39.
6. Xin Tao, Xiaojing Xu, Xiqing Xu, Wenhong, Anran Guo, Feng Hou, Jiachen Liu. Self-healing behavior in MoSi_2 /borosilicate glass composite // *Journal of the European Ceramic Society*. 37 (2017) 871-875, ISSN 0955-2219.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ЗАЖИГАНИЯ ПЛАВЯЩИХСЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

¹К.Н. Макарова, ²В.Е. Зарко

¹Новосибирский государственный технический университет,
²Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН
г. Новосибирск, kn.makarova@yandex.ru

В работе приведены результаты расчета теплокинетических параметров (энергии активации (E_a) и значение Qk_0) энергетического материала с применением программного комплекса СТЕМ. Расчет параметров проведен с применением критерия зажигания.

The paper presents the results of calculation of heat and power parameters (activation energy (E_a) and the Qk_0) of the energy material using the СТЕМ software. Calculation of parameters is carried out with the use of the ignition criterion.

1. Введение

Изучение механизмов зажигания и горения конденсированных систем является важной задачей с точки зрения их технического применения. Конденсированные энергетические материалы находят широкое применение не только в военной промышленности, но и в некоторых других отраслях, в частности, их применяют в качестве топлива для ракет.

Целью данной работы является исследование компьютерной модели зажигания энергетического материала для определения его теплокинетических параметров.

Обозначение: t - время [с], x - пространственная координата [мм], V_c - скорость горения твердого топлива [мм/с], V - скорость движения газа [м/с], p - давление [МПа], y_i - относительная массовая концентрация химической компоненты, x_i - относительная мольная концентрация химической компоненты, M_i - молекулярный вес i -го компонента [кг/кмоль], R - универсальная газовая постоянная [кДж/(кг·К)], L - удельная теплота испарения твердой фазы [кДж/кг], D - коэффициент диффузии [м²/с], q - удельный внешний тепловой поток к поверхности горения [кДж/м²], f - частота пульсаций [1/с], α_{gi} [кг/м²], α_{cj} [1/м] - 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.

2. Постановка задачи

Объектом исследования является модель энергетического материала, характеристики которого представлены в таблице 1. Моделирование проводим с помощью программного комплекса СТЕМ [1].

Таблица 1 – Характеристики энергетического материала

Параметр	Значение
Плотность ρ , кг/м ³	$1,72 \cdot 10^3$
Коэффициент теплопроводности λ , кВт/м·К	$2,3027 \cdot 10^{-4}$
Удельная теплоемкость c , кДж/кг·К	1,256
Энергия активации E_a , кДж/моль	200
Температура плавления $T_{пл}$, К	575
Удельный тепловой эффект хим. реакции Q , кДж/кг	1 700
Предэкспотенциальный множитель в уравнении Аррениуса k_0 , с ⁻¹	10^{19}

Физическая модель описывает горение конденсированного энергетического материала, на поверхности которого под действием внешнего источника происходит нагревание поверхностного слоя с последующим распространением тепла внутрь конденсированной фазы. Вблизи поверхностного слоя в результате плавления твердой фазы образуется слой жидкой фазы, в котором происходят химические реакции и испарение газовой фазы (рис. 1).

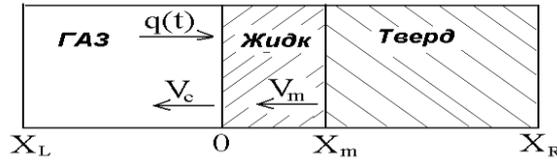


Рисунок 1 – Схема расчетной области

Для приведенной области можно записать следующую систему уравнений, связанных с движущейся поверхностью горения:

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

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

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 ($0 \leq x \leq x_m$)

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

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

$$q(0, t) = q_0 \sum_{j=1}^N \delta_{g_j} \exp(-\alpha_{g_j} \int_{x_L}^0 \rho y_1 dx) \quad - \text{лучистый поток, падающий на горящую поверхность с учетом его поглощения в газовой фазе,}$$

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

на границе

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

Газовая фаза состоит из двух реагирующих компонентов, пара и горючего газа, имеющих одинаковую температуру, а также конечных продуктов горения. Если при расчете учитывать возможное действие искрового заряда, дающей дополнительное тепловыделение мощностью W , то система уравнений для газовой фазы ($x_L \leq x \leq 0$) примет вид:

$$C_p \rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} - (V - V_c - \sum_{i=1}^3 \frac{C_{pi}}{C_p} D_i \frac{\partial y_i}{\partial x}) \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda \frac{\partial T}{\partial x}) + \Phi_1 + \Phi_2 + \quad (4)$$

$$+ q_0 \rho y_1 \sum_{j=1}^N \delta_{g_j} \alpha_{g_j} \exp(-\alpha_{g_j} \int_{x_L}^x \rho y_1 dx) + W,$$

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

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

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

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

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

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

$W = \text{const} = qz$ в интервале времени $tz_1 \leq t \leq tz_2$ и интервале координат $x_L \leq x \leq 0$

$W = 0$ во всех 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]

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

3. Результаты

Было проведено три серии расчетов с использованием программы СТЕМ. Варьировался параметр α , коэффициент поглощения лучистой энергии. При изменении этого коэффициента изменяется прозрачность энергетического материала. Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера изменение α позволяет уменьшить расстояние, которое проходит поток, прежде чем поглотится в материале. Исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные

Параметр	Значение				
ρ , кг/м ³	1,72·10 ³				
λ , кВт/м·К	2,3027·10 ⁻⁴				
c , кДж/кг·К	1,256				
E_a , кДж/кмоль	2·10 ⁵				
$T_{пл}$, К	575				
Q_m , кДж/кг	100				
Q , кДж/кг	1 700				
k_0 , с ⁻¹	10 ¹⁹				
q , кВт/м ²	1 200	1 000	800	600	400
α , 1/м	8 000		10 000		100 000

Для определения теплокинетических параметров реакции используется условие (11), которое является следствием условия (10) и суть которого заключается в том, что воспламенение происходит в момент, когда скорость тепловыделения от протекания экзотермической реакции в конденсированной фазе становится равной скорости теплоотвода внутрь конденсированной фазы при действии внешнего источника тепла

$$\ln \frac{T_3}{q} = 0,5 \ln \frac{E}{\lambda \rho Q k_0 R} + \frac{E}{2R} \cdot \frac{1}{T_3} \quad (11)$$

Величину температуры инертного нагрева T_3 находим из соотношения

$$T_3 = T_0 + \frac{2q}{\sqrt{\pi \lambda c \rho}} \sqrt{t_3} \quad (12)$$

Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета

$\alpha = 8\ 000\ 1/м$			$\alpha = 10\ 000\ 1/м$			$\alpha = 100\ 000\ 1/м$		
q , кВт/м ²	t_3 , с	T_3 , К	q , кВт/м ²	t_3 , с	T_3 , К	q , кВт/м ²	t_3 , с	T_3 , К
1 200	0,015	530,4	1 200	0,014	522,6	1 200	0,011	497,3
1 000	0,019	516,1	1 000	0,0197	520,0	1 000	0,015	492,0
800	0,029	513,5	800	0,028	509,8	800	0,023	490,2
600	0,048	506,0	600	0,05	510,3	600	0,037	480,9
400	0,097	495,3	400	0,096	494,3	400	0,076	472,8

Как видно из таблицы 3, при увеличении внешнего потока q время зажигания уменьшается, а величина инертного нагрева, соответствующая температуре поверхностного слоя без влияния тепловыделения от химической реакции, увеличивается.

Из условия (11) следует, что наклон прямой в координатах $(\ln(T_s/q_s), 1/T_s)$ равняется величине $E/2R$, а отрезок, отсекаемый ею на оси ординат, соответствует величине $A=0,5 \ln E/\lambda Qk_0R$ (рис.2). В выражении для A значения коэффициентов λR известны заранее. По графику для $\alpha = 8\ 000\ 1/м$ находим значение $E = 134$ кДж/моль и $Qk_0 = 3,6 \cdot 10^{18}$ кДж/кг·с. По графику для $\alpha = 10\ 000\ 1/м$ находим значение $E = 153$ кДж/моль и $Qk_0 = 3,8 \cdot 10^{20}$ кДж/кг·с. По графику для $\alpha = 100\ 000\ 1/м$ находим значение $E = 165$ кДж/моль и $Qk_0 = 5,8 \cdot 10^{22}$ кДж/кг·с.

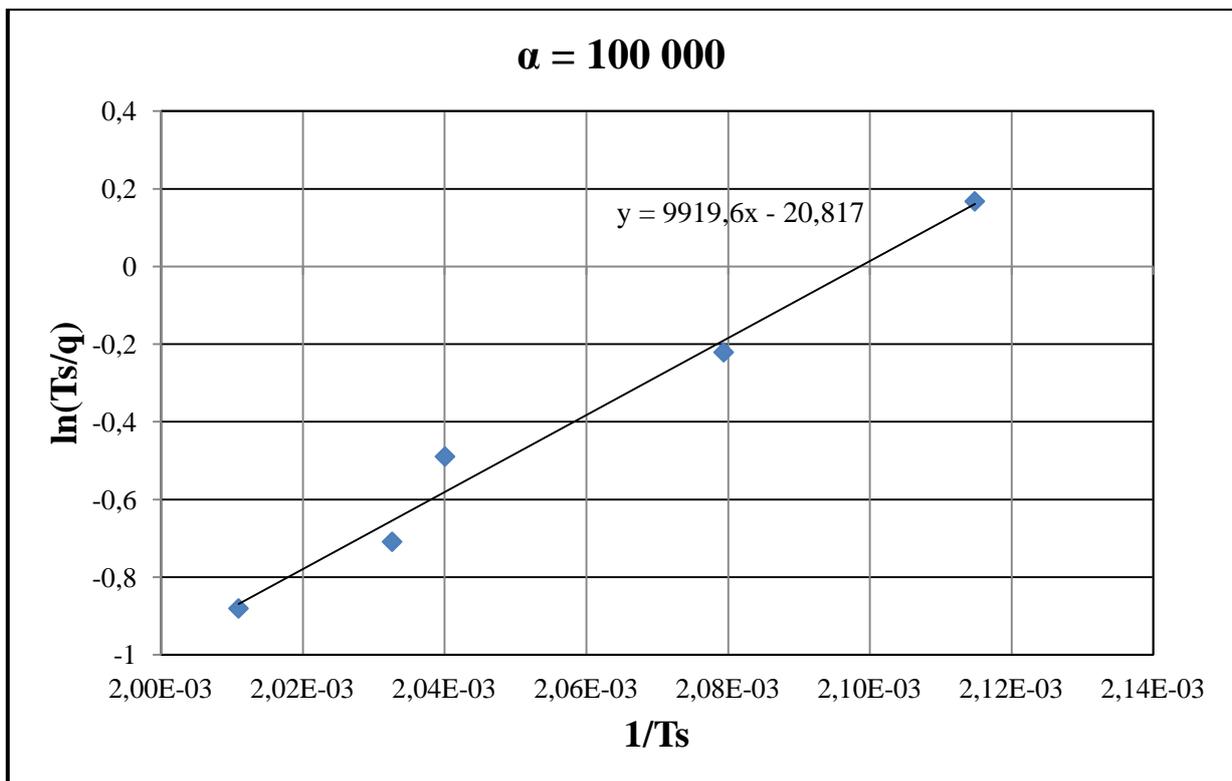


Рисунок 2 – График зависимости $(\ln(T_s/q))/(1/T_s)$ при $\alpha = 100\ 000\ 1/м$

4. Выводы

В ходе работы с использованием критерия зажигания рассчитаны значения теплокинетических параметров при коэффициентах α , равных 8 000 1/м, 10 000 1/м и 100 000 1/м. При увеличении коэффициента α наблюдается увеличение значения энергии активации со 134 кДж/моль до 165 кДж/моль. Одновременно значение Qk_0 изменяется со $3,6 \cdot 10^{18}$ кДж/кг·с до $5,8 \cdot 10^{22}$ кДж/кг·с. Вероятно, такое поведение теплокинетических параметров обусловлено тем, что при увеличении коэффициента α энергетический материал становится менее прозрачным. Таким образом, можно сделать вывод, что данный метод определения теплокинетических параметров энергетического материала с помощью критерия зажигания хорошо работает для непрозрачных тел. Для прозрачных тел требуется уточнять критерий зажигания и вводить дополнительные параметры, характеризующие поглощение внешнего теплового потока в прозрачном теле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Теория горения и взрыва: учеб. 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.

ПОЛУЧЕНИЕ N-(1-МЕТИЛТЕТРАЗОЛ-5-ИЛ)-ДИНИТРОАЦЕТИМИДАМИДА

Поварова Л.В., Гудкова З.С.

Научные руководители: Заломленков В.А., Гидаспов А.А.

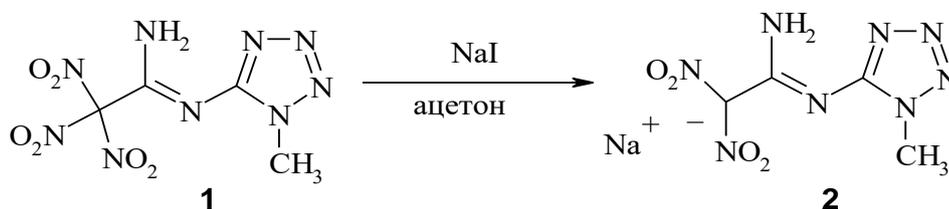
Самарский государственный технический университет
г. Самара, xtoca@samgtu.ru

Найден метод химического превращения N-(1-метилтетразол-5-ил)-тринитроацетимидамида в N-(1-метилтетразол-5-ил)-динитроацетимидамид, который является в кристаллическом состоянии структурным аналогом 1,1-диамино-2,2-динитроэтилена с 1-метил-тетразольным заместителем.

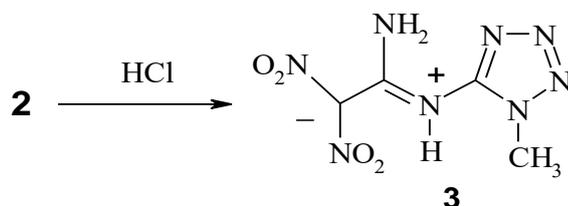
A method for the chemical conversion of N-(1-methyltetrazol-5-yl)-trinitroacetimidamide to N-(1-methyltetrazol-5-yl)-dinitroacetimidamide, which is, in crystalline form, a structural analogue of 1,1-diamino-2,2-dinitroethylene with a 1-methyl-tetrazole substituent, has been found.

В настоящее время во всем мире активно ведутся работы по получению и изучению свойств взрывчатых веществ, проявляющих малую чувствительность к начальным импульсам, т.е. механическим, тепловым и другим видам воздействий. Такие соединения более безопасны в обращении, чем традиционные бризантные взрывчатые вещества и они находят широкое применение в боеприпасах пониженного риска. 1,1-Диамино-2,2-динитроэтилен (ДАДНЭ) известное малочувствительное бризантное взрывчатое вещество [1, 2]. Известны работы посвященные получению и изучению свойств производных ДАДНЭ также представляющих интерес как малочувствительные энергонасыщенные соединения, например, 1-амино-1-гидразино-2,2-динитроэтилен и другие [1-3].

Ранее нами был получен N-(1-метилтетразол-5-ил)-тринитроацетимидамид (**1**), который является достаточно мощным энергонасыщенным веществом [4]. Соединение **1** представляет также интерес для изучения его химических свойств. Тринитрометильный фрагмент в структуре **1** может снижать химическую и термическую стабильность этого вещества, а также придавать ему большую чувствительность в сравнении с динитрометильным аналогом. Поэтому была предпринята попытка модификации структуры **1** таким образом, чтобы получить замещенный аналог ДАДНЭ. Путем химической трансформации был получен N-(1-метилтетразол-5-ил)-динитроацетимидамид (**3**), который представляет собой производное ДАДНЭ с 1-метилтетразольным заместителем. Производное **3** было получено из **1** в две стадии. На первой стадии взаимодействием йодистого натрия с **1** в среде ацетона была получена натриевая соль динитрометильного производного **2**.



Путем подкисления водного раствора **2**, был получен N-(1-метилтетразол-5-ил)-динитроацетимидамид (**3**)



Строение продукта **3** подтверждено данными ИК-, ЯМР-спектроскопии и РСА. По данным РСА соединение **3** в кристалле существует в виде цвиттер-ионной соли (Рисунок 1) и является замещенным аналогом ДАДНЭ.

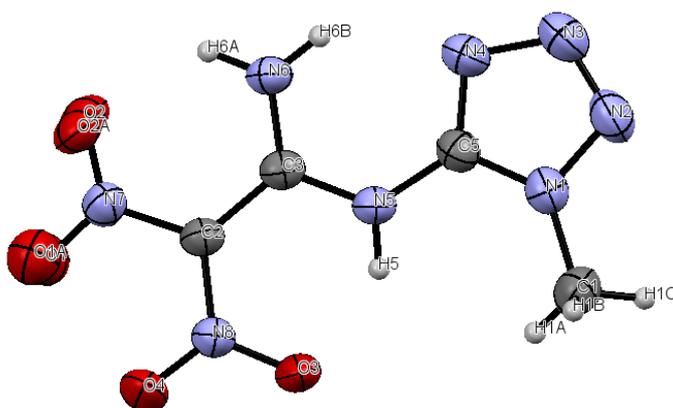
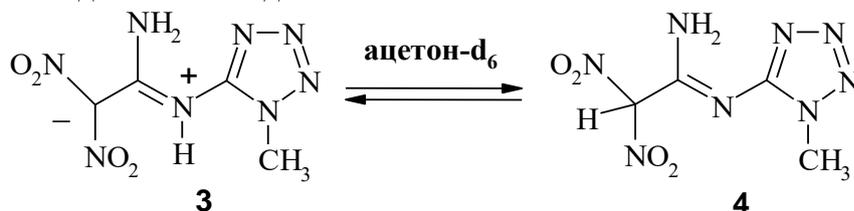


Рисунок 1 – Молекулярная структура N-(1-метилтетразол-5-ил)-динитроацетимидама (**3**) по данным РСА в представлении атомов тепловыми эллипсоидами атомных смещений с 50%-ной вероятностью

Однако ^1H ЯМР спектр **3** снятый в растворе ацетона- d_6 имел особенности. Обнаружено, наличие прототропной таутомерии в среде ацетона- d_6 , которое протекает, очевидно, вследствие диссоциации **3**. Производное **3** находится в равновесии с динитрометильным таутомером **4** с преобладанием последнего.



Таким образом, получено новое гетероциклическое производное ДАДНЭ, представляющее интерес как энергонасыщенное соединение свойства которого в настоящее время изучаются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Anthony J. Bellamy. FOX-7 (1,1-Diamino-2,2-dinitroethene). High energy density materials – Structure and bonding. vol. 125., ed. – Т.М. Klapotke. Springer. 2007. P. 1-33.
2. Quirin J. Axthammer, Burkhard Krumm, Tomas M. Klapotke The Exciting Chemistry of 1,1-Diamino-2,2-dinitroethene and 1-Amino-1-hydrazino-2,2-dinitroetene. // Journal of physical chemistry A 2017. 121. P. 3567-3579.
3. Ying Li, Haifeng Huang, Xiangyang Lin, Renming Pan, Jun Yang Novel dinitromethyl-featured polynitro energetic salts. // Dalton Trans. 2016, 45(39). P. 15644 - 15650
4. Заломленков В.А., Бахарев В.В., Гидаспов А.А., Парфенов В.Е., Головина О.В., Слепухин П.А. Синтез N-(1-метилтетразол-5-ил)тринитроацетимидама. // Химия гетероциклических соединений. - 2017. 53(6/7). С. 822-824.

НАНЕСЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

И.С. Батраев¹, Д.К. Рыбин¹, М.А. Есиков^{1,2}, А.В. Ухина³, А.Ю. Ларичкин¹

Институт Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН¹
Новосибирский государственный технический университет²
Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН³
г. Новосибирск, ibatraev@gmail.com

В работе представлены результаты нанесения керамических покрытий, в частности из оксида алюминия и оксида циркония, стабилизированного иттрием (YSZ) с помощью детонационного комплекса CCDS2000. Проведены расчеты параметров напыления и микроструктурные исследования образцов покрытий из Al_2O_3 и YSZ.

The paper present results of deposition of ceramic coatings from aluminum oxide and yttria-stabilized zirconia (YSZ) by the CCDS2000 detonation complex. Calculations of sputtering parameters and microstructural studies of coating samples with Al_2O_3 and YSZ were carried out.

Введение

Детонационное напыление (ДН) позволяет производить высокопрочные низкопористые керамические и металлокерамические покрытия [1-3]. Подробное описание этой технологии приведено в работах [1-7]. В отличие от других методов термического напыления, которые представляют непрерывные процессы, ДН является импульсным, состоящим из серии выстрелов. В ИГиЛ СО РАН было разработано новое поколение промышленного детонационного комплекса с компьютерным управлением CCDS2000 (Computer-controlled Detonation Spraying). Это устройство обеспечивает точное и гибкое управление всеми параметрами напыления (состав и заряд взрывчатой газовой смеси, количество напыляемого порошка на каждый выстрел и т. д.). В настоящей работе представлены некоторые свойства покрытий из оксида алюминия и YSZ.

Оксид алюминия является наиболее широко применяемой инженерной керамикой благодаря прекрасному сочетанию эксплуатационных свойств и относительно низкой стоимости. Покрытия из оксида алюминия, нанесенные газотермическими методами, используются для повышения износостойкости деталей и получения теплозащитных и электроизоляционных слоев на металлах.

Оксид циркония, обладающий высокой температурой плавления (более $2700^{\circ}C$) и низкой теплопроводностью, широко используется для создания ТЗП на деталях ракетных, реактивных и газотурбинных двигателей. YSZ позволяет довести жаростойкость изделий с покрытиями до $1200-1300^{\circ}C$. Например, в [8] описаны термобарьерные слои из $ZrO_2-7Y_2O_3$ на лопатках газовых турбин, полученные методом вакуумного осаждения. Делаются попытки нанесения термобарьерных слоев и с применением ДН [9].

Используемые материалы и методы

Процесс напыления выполняли с использованием комплекса CCDS2000 в сочетании со специализированным 3-х координатным манипулятором, показанным на рис.1.



Рис. 1. Детонационный комплекс CCDS2000.

Оптимальный режим напыления для любого порошкообразного материала либо рассчитывают с помощью программного кода ЛИН, разработанного в ИГиЛ СО РАН или экспериментально определяют с помощью анализа морфологии детонационных сплэтов [4, 10]. В представленной работе были использованы оба подхода.

Что касается состава взрывчатой смеси, наши расчеты и эксперименты показали, что для напыления оксидной керамики пригодна смесь $C_2H_2 + 2,5O_2$. Скорость фронта детонации в этой смеси составляет 2424 м/с, температура продуктов детонации 4215 К, а массовая скорость детонационных продуктов за фронтом детонации составляет 1108 м/с [4].

Экспериментально найдены оптимальные режимы напыления для порошков Al_2O_3 и YSZ, и были получены образцы покрытий для исследований.

Покрытия Al_2O_3 сформированы путем напыления порошка корунда марки М28, морфология частиц представлена на рис. 2а. Покрытия диоксида циркония стабилизированного оксидом иттрия напылялись из порошка Sulzer Metco YSZ 204NS, рис. 2б.

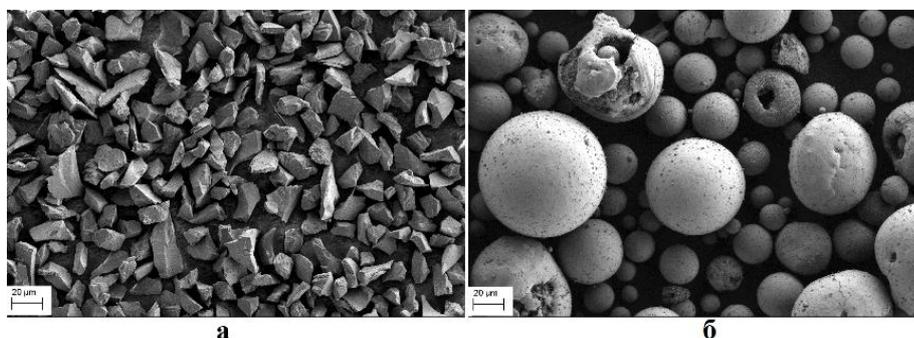


Рис. 2. Микрофотографии исходных порошков: а - Al_2O_3 , б - YSZ.

Изученные свойства покрытий включают адгезию, микротвердость, микроструктуру и пористость. Микроструктуру изучали с использованием металлографического микроскопа OLYMPUS GX-51 и сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50 XVP. Испытания на прочность были проведены на испытательной машине TC-FR/00TL методами, описанными в [11, 12]. Пористость покрытия анализировали на микроскопе OLYMPUS GX-51 с использованием специализированного программного обеспечения Olympus analysis Stream Essentials 1.9.1. Микротвердость измеряли с помощью твердомера EMCO-TEST DuraScan-50.

Результаты и обсуждение

Микротвердость низкопористых ДН покрытий достигает значения $HV_{0,2}$ 1200 [13]. Наши эксперименты показывают, что покрытия из оксида алюминия, нанесенные методом CCDS2000, могут иметь микротвердость $HV_{0,2}$ 1400 и более. Отметим, что покрытие из плазменного напыленного оксида алюминия имеет 8,7-9,8% пористости и микротвердость $HV_{0,3}$ 925-950 [14, 15]. Хотя такая пористость положительно влияет на улучшение теплофизических свойств ТЗП. Адгезия наших детонационных керамических покрытий, нанесенных непосредственно на стальную подложку, может достигать значения 60 МПа. В испытаниях разрыв происходит вдоль границы раздела оксида алюминия(YSZ)/сталь. Адгезия покрытия из керамики сильно зависит от материала подложки. Например, если промежуточный слой WC/Co, NiCr или NiCrAlY формируется между Al_2O_3 и сталью, прочность на разрыв увеличивается до 90 МПа, а разрыв происходит внутри слоя оксида алюминия. Использование промежуточного адгезионного слоя между сталью и керамикой является предпочтительным не только для повышения адгезии, но и для компенсации разницы коэффициентов термического расширения, что позволяет покрытию не откалываться под воздействием циклических тепловых нагрузок. Для сравнения плазменное покрытие Al_2O_3 -13wt% TiO_2 имеет максимальную прочность связи 41,2 МПа после отжига при 5000 °С [16].

Изображения микроструктуры покрытий из оксида алюминия и YSZ показывают, что пористость покрытий Al_2O_3 очень низкая, YSZ покрытие отличается наличием развитой структуры микротрещин, из-за чего пористость таких покрытий несколько выше.

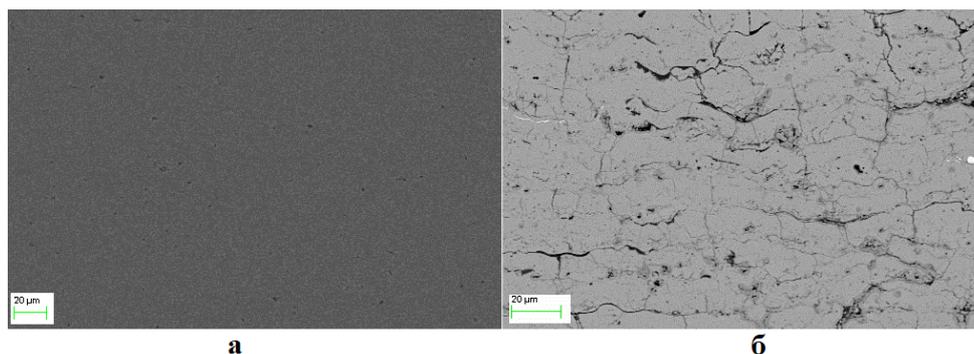


Рис. 3. Микроструктура Al_2O_3 (а) и YSZ (б) покрытий.

Измерения пористости подтверждают это, их значения 0,6% для Al_2O_3 и 4,5% для покрытия из YSZ. Технология CCDS2000 позволяет достичь высоких значений микротвердости керамического покрытия. Микротвердость полученных Al_2O_3 и YSZ покрытий составила в среднем $1500 HV_{200}$ и $1000 HV_{200}$ соответственно.

Сохранение некоторой пористости в детонационных YSZ-покрытиях позволяет рассчитывать на использование их по основному назначению – для формирования ТЗП, при этом важным преимуществом метода является возможность формирования многослойных и градиентных композитов [1]. Другое применение YSZ – формирование огнезащиты на разовых изделиях, когда требуется при воздействии высокотемпературных (до 2000°C и выше) газовых потоков предотвратить разрушение изделия в течение полчаса и менее.

Заключение

Детонационный комплекс CCDS2000 использовался для нанесения покрытий оксидов алюминия и YSZ. Керамические покрытия имеют высокую адгезию (до 60 МПа). Оксид алюминия характеризуется низкой пористостью (0,6%) и высокой микротвердостью (более $1500 HV_{0,2}$). Покрытия из YSZ получили с пористостью 4,5% и микротвердостью на уровне $1000 HV_{100}$.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 18-33-00713.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. А.А. Штерцер, С.Б. Злобин, В.Ю. Ульяницкий. Термоциклические свойства градиентных покрытий керамика-металл, полученных детонационным напылением. Упрочняющие технологии и покрытия. 7(2012)23-26.
2. Dudina D.V., Batraev I.S., Ulianitsky V.Yu., Korchagin M.A. Possibilities of the Computer-Controlled Detonation Spraying method: a chemistry viewpoint. *Ceramics International*. 40(2014)3253–3260.
3. В.Ю. Ульяницкий, И.С. Батраев, А.А. Штерцер. Детонационные покрытия из оксидов // Упрочняющие технологии и покрытия. 9(2015)37-44.
4. Ulianitsky V., Shtertser A., Zlobin S., Smurov I.: Computer-controlled detonation spraying: from process fundamentals toward advanced applications. *J. Thermal Spray Technol.* 20(2011)791-801.
5. T. Gavrilenko, Yu. Nikolaev, V. Ulianitsky: D-Gun «Ob» Detonation Spraying. *Thermal Spraying: Current Status and Future Trends*, Akira Ohmori, Ed., May 22-26, 1995 (Kobe, Japan), High Temperature Society of Japan, vol. 1(1995)425-429.
6. E. Kadyrov and V. Kadyrov: Gas Dynamical Parameters of Detonation Powder Spraying. *J. Therm. Spray Technol.* 4(1995)280-286.
7. E. Kadyrov: Gas-Particle Interaction in Detonation Spraying Systems. *J. Therm. Spray Technol.* 5(1996)185-195.
8. David R. Clarke, Matthias Oechsner, and Nitin P. Padture. Thermal-barrier coatings for more efficient gas-turbine engines // *MRS Bulletin*. 37(2012)891-898.
9. V.E. Olikier, S.A. Abdurashitova, I.S. Martsenyuk, E.F. Grechishkin, and A.A. Bondarenko. Microstructure and Properties of Detonation-Sprayed Thermal Barrier ZrO₂ Coatings // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 52(2013)83-89.
10. S. Zlobin, V. Ulianitsky, A. Shtertser, I. Smurov, High-Velocity Collision of Hot Particles with Solid Substrate, under Detonation Spraying: Detonation Splats. *Thermal Spray: Expanding Thermal Spray Performance to New Markets and Applications*, B. Marple, M. Hyland, Y. Lau, C. Li, R. Lima, G. Montavon, editors, May 4-7, 2009 (Las Vegas, Nevada, USA), ASM International, 714-717.
11. V. Ulianitsky, A. Shtertser, S. Zlobin, and I. Smurov: Comparative Analysis of Tribological Properties of Cermet Detonation Coatings, *Thermal Spray: Thermal Spray Crossing Borders*, E. Lugscheider, Ed., June 2-4, 2008 (Maastricht, the Netherlands), DVS-Verlag GmbH, Duesseldorf (2008)125-131.
12. Гавриленко Т.П., Злобин С.Б., Николаев Ю.А., Ульяницкий В.Ю. О штифтовом методе измерения прочности связи термических покрытий. *Упрочняющие технологии и покрытия*. 8(2007)54-56.
13. G. Sundararajan, D. Sen, G. Sivakumar: The Tribological Behaviour Of Detonation Sprayed Coatings: The Importance Of Coating Process Parameters. *Wear* 258(2005)377-391.
14. O. Sarikaya: Effect of some parameters on microstructure and hardness of alumina coating prepared by the air plasma spraying process. *Surface&Coatings Technology*. 190(2005)388-393.
15. A. Vardelle, M. Vardelle, P. Fauchais: Influence of velocity and surface temperature of alumina particles on the properties of plasma sprayed coatings. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2(1982)255-291.
16. Zhang Jingjing, Wang Zehua, Lin Pinghua, Yuan Hongbin and Zhou Zehua, et al: Effect of Vacuum Annealing on the Characteristics of Plasma Sprayed Al₂O₃-13wt.%TiO₂ Coatings. *J. of Therm. Spray Technol.* 21(2012)782-791.

МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

Е.И. Сыч, В.Б. Епифанов

Научный руководитель: д.т.н., профессор В.Б. Епифанов

**Самарский государственный технический университет,
г. Самара, katerina-sych@rambler.ru**

Проведены исследования кристаллической структуры монокристаллов перхлората аммония и гексогена после проведения механической активации путем воздействия вибрации. Рассмотрены пути образования реакционных центров и дислокаций в высокоэнергетических кристаллических веществах.

The crystal structure of ammonium perchlorate and hexogen monocrystals was studied after mechanical activation by vibration. The ways of formation of reaction centers and dislocations in high-energy crystalline substances are considered

Механическая активация органических и неорганических химических веществ, металлов оставляет память в их структуре. Часть энергии механического взаимодействия расходуется на работу, направленную на измельчение кристаллов (деформация в различных ее формах). При этом генерируются дефекты структуры от нульмерных до 3-х мерных, которые сами служат концентраторами напряжений и источниками различных физико-химических превращений.

Объекты исследования: гексоген, СРТТ состава гексоген-бутилкаучук-перхлорат аммония-АСД-1.

Методы исследования: дифференциально-термический анализ, рентгенофазовый анализ, электронная микроскопия.

Механическая активация: "а" - вибрационные колебания вибрлотка;

"б" –вибрация-колебание вибрлотка с мелющими шарами;

"в" – вибрация - ударно-волновой режим.

Экспериментально показано[1,2], что разрушение кристаллов сопровождается такими процессами как образование радикалов, свечение, газовыделение и т.д. Образование новых поверхностей в результате измельчения в виде границ кристаллов, а также внутрикристаллические дефекты служат центрами активации химических реакций, в том числе термического разложения. Скорость этих реакций зависит не столько от вида, сколько от количества дефектов.

Взрывчатые кристаллические вещества не являются исключениями из правил, все что касается других классов химических веществ свойственно и высокоэнергетическим материалам (ВМ). Их специфичность состоит в возможности реализации цепочки превращений: термическое разложение-горение-взрыв-детонация и высвобождением большей энергии за короткое время.

В связи с чем, актуальность исследования механохимических превращений в ВМ имеет большое практическое значение. В технологиях производства ВМ механическая активация, например, измельчение, не используется, поскольку процесс хаотичен. Скорость разрушения кристаллов не контролируется в отличие от прессования, свободного литья и экструзии, в которых нагрузки могут быть выше, чем при измельчении, однако скорость деформации ниже. Кроме того, в основном эти технологии применимы для переработки топлив в вязко-текучем состоянии, в котором матрица (каучук) равномерно распределяется.

Исследование кристаллических ВМ проводилось по схеме, когда на образец, помещенный в герметичный узел, находящийся между двумя металлическими

поверхностями, контактирующими с ударником, передающим гармонические колебания с заданными частотой и амплитудой.

В зависимости от частоты и амплитуды, а также продолжительности воздействия вибрации регистрировалось разное количество газообразных продуктов разложения. Степень разложения испытуемого вещества может составлять от 0,01% до нескольких %. При этом перехода разложения во взрыв не наблюдалось. В тоже время, если говорить о чувствительности к вибронгрузке (по схеме в), определяемой по частоте взрывов (ЧВ), то в одинаковых условиях испытаний разные ВМ проявляют разную частоту от 0 до 100% (из 25 испытаний). Характеристика ЧВ является обязательной при сравнении по степени опасности ВМ в производстве, хранении и перевозке. Однако для понимания механизма физико-химических превращений происходящих в ВМ при вибровоздействии необходимо использовать методы, позволяющие исследовать физико-химические изменения в результате механической активации.

Практическая значимость получаемых в результате таких исследований состоит в возможности прогнозирования поведения ВМ в различных реальных условиях производства, переработки, хранения, транспортировки и эксплуатации.

Таковыми контролируемыми параметрами, наиболее полно характеризующими результаты механической активации могут быть параметры тонкой кристаллической структуры (ТКС), химическая стойкость, характеристические температуры термического превращения, степень разложения (α), а также наличие (или отсутствие) конденсируемых продуктов в анализируемом образце, взятом после испытания.

По результатам контроля физико-химических свойств перхлората аммония (ПХА) фракции 315 мкм (Д-160) прошедших технологические операции измельчения в мельницах различных конструкций и транспортирования с использованием пневмо-, вибро-, аэрозоль-модельных устройств можно ожидать важных эксплуатационных характеристик смесового твердого ракетного топлива (СРТТ) сформированных экструзией на основе механоактивированного окислителя. Среди них химическая стойкость, продолжительность хранения, скорость горения, чувствительность к механическим воздействиям.

По результатам рентгенофазового анализа (РФА) параметры ТКС гетероциклических ВМ изменяются хаотически, однако химическая стойкость и положение характеристических температур остаются неизменными независимо от условий деформации и параметров нагружения.

Несколько противоречиво выглядят результаты активации гексогена [3] и азида свинца [4] (по схеме в).

Если судить по термограммам можно прийти к выводу о глубокой степени аморфизации виброактивированных образцов, поскольку экзотермический эффект в соответствующей температуре вспышки с высоким тепловым эффектом практически вырождается. Однако согласно данным РФА степень кристалличности образцов взятых для анализа из тех же проб, что и для ДТА высокая и говорить об аморфизации не корректно.

Для исследуемого диапазона параметров вибрации (по виброускорению от 1 м/с^2 до 7 м/с^2) независимо от различия в значении генерируемой энергии и соответственно происходящих физико-химических изменений в гексогене, в том числе степени измельчения, параметров ТКС значимые эксплуатационные характеристики модельных СРТТ, к которым относится скорость горения остаются неизменными. Для корректности сравнения результатов в состав модельных СРТТ гексоген вводился только с размером частиц 200 мкм.

Неоднократно доказывалось [1], в том числе авторами, о существующем влиянии различных видов механической активации на совокупность физико-механических свойств ПХА для кристаллов фракций (4-10) мкм, (165-315) мкм.

В общем случае в условиях вибрационного воздействия у активированных образцов ПХА наблюдается:

- изменение параметров ТКС (смещение положения межплоскостных расстояний, искажение кристаллической решетки и изменение степени кристалличности, размера блоков,

изменение интенсивности и относительной интенсивности дифракционных максимумов, плотности дислокаций);

-чувствительности модельных смесей СРТТ на основе механоактивированного ПХА к механическим воздействиям (химической стойкости, скорости горения, положения характеристических температур ($T_{НТР}$, $T_{ВТР}$, $T_{всп}$)).

Исходя из того, что дефектность образца, в частности плотность дислокаций, регулируема и, как выяснилось, зависит от многих факторов, среди которых природа ВМ, вид механической активации и параметры воздействия, исследована возможность повышения скорости горения модельного топлива состава гексоген-ПХА-бутилкаучук-АСД-1, путем изменения параметров и продолжительности вибровоздействия.

В целях исключения влияния размера частиц на скорость горения модельного СРТТ из общей массы виброактивированного по схеме "а" ПХА путем просеивания отбирали кристаллы со средним размером частиц около 165 мкм, которые могли быть получены как при разрушении более крупных частиц, так и из общей массы имеющих первоначально требуемый размер.

Продолжительность виброактивации по схеме "а" составляет 15 минут. Модельное СРТТ получено путем перемешивания в лабораторном смесителе.

Результаты, иллюстрирующие связь плотности дислокаций и скорости горения модельного СРТТ в зависимости от интенсивности виброактивации окислителя приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Скорость горения модельного топлива состава гексоген-ПХА-бутилкаучук-АСД-1 в зависимости от виброактивации ПХА

№	Виброускорение м/с ²	Плотность дислокаций, см ⁻² (расчетное значение)	скорость горения м/с
1	-	$2 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^3$	5,0
2	1	$2,7 \cdot 10^3 - 3,1 \cdot 10^3$	5,5
3	3		6,4
4	5	$3,7 \cdot 10^3 - 4,1 \cdot 10^3$	7,1
5	9	$5 \cdot 10^3$	9,3

Авторы полагают, что один из перспективных вариантов увеличения скорости горения модельных топлив состоит в контроле и регулировании параметров ТКС в частности увеличении плотности дислокаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 Епифанов В.Б. Механическая активация энергетических веществ: монография / Епифанов В.Б., Сыч Е.И. // Самара: ООО «Издательство АСГАРД», 2016. 228 с.

2 Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ. – Успехи химии. – Вып. 75(3). – 2006 – С. 204-218

3 Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Аввакумов Е.Г. – М., Наука, 1986.– 304 с.

4 Логинов Н.П. Разложение азиды свинца под действием вибрации / ФГВ. 1993. №4. С. 88-91.

СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВНОГО ОБЖАТИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРУБОК КОРУНД / МЕДЬ И КОРУНД/АЛЮМИНИЙ

О.А. Зимоглядова

Научный руководитель: И.А. Балаганский д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

Известно, что при взрывном обжати цилиндрических кумулятивных облицовок возможно образование кумулятивных струй, если скорость звука в облицовке превышает скорость детонации заряда ВВ [1].

В работе [2] было изучено формирование гиперскоростного потока керамических частиц при обжати корундовых трубок и его действие по стальной мишени. Однако, при взрывном обжати керамических трубок не формируются сплошные кумулятивные струи.

В статье [3] было высказано и численно обосновано предположение о возможности получения гиперскоростных сплошных кумулятивных струй при взрывном обжати двухслойных корунд / медь трубок.

В данной работе численно проанализированы особенности взрывного обжати медной и алюминиевой трубок.

1. Геометрическая постановка задач.

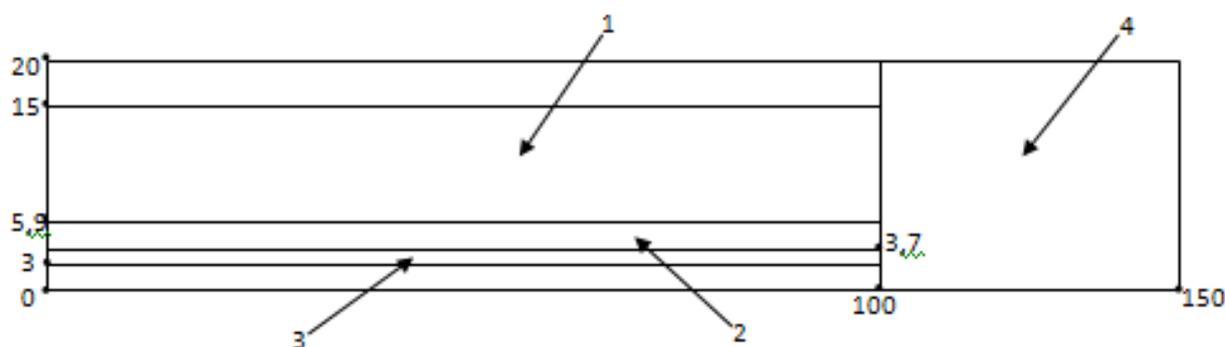


Рис.1. Геометрическая постановка задач

1-ВВ (Сопр В), 2-керамическая трубка, 3-медная трубка/алюминиевая трубка, 4-стальная преграда

Моделировались два варианта взрывного обжати двухслойных трубок. Первый вариант: пара корунд/медь; второй вариант: пара корунд/алюминий.

Внутренний диаметр медной/алюминиевой трубки =6 мм, внешний диаметр медной/алюминиевой трубки =7.4 мм. Внутренний диаметр керамической трубки =7.4 мм, внешний диаметр керамической трубки =11.8 мм. Внутренний диаметр ВВ =11.8 мм, внешний диаметр=30 мм. Длина трубок и ВВ =100 мм. Ширина железной преграды 50 мм, высота=40 мм.

Задачи решались в двумерной осесимметричной постановке на неподвижной эйлеровой сетке. Пространственное разрешение 30 ячеек на 1 мм.

2. Результаты моделирования

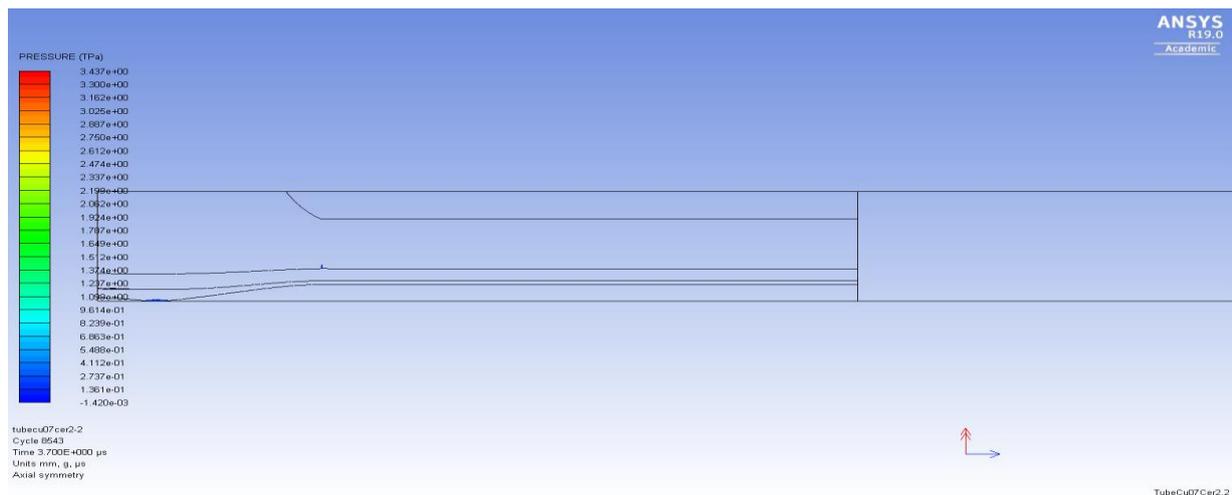


Рис.2. Обжатию медной трубки. Time= 3.7 мкс

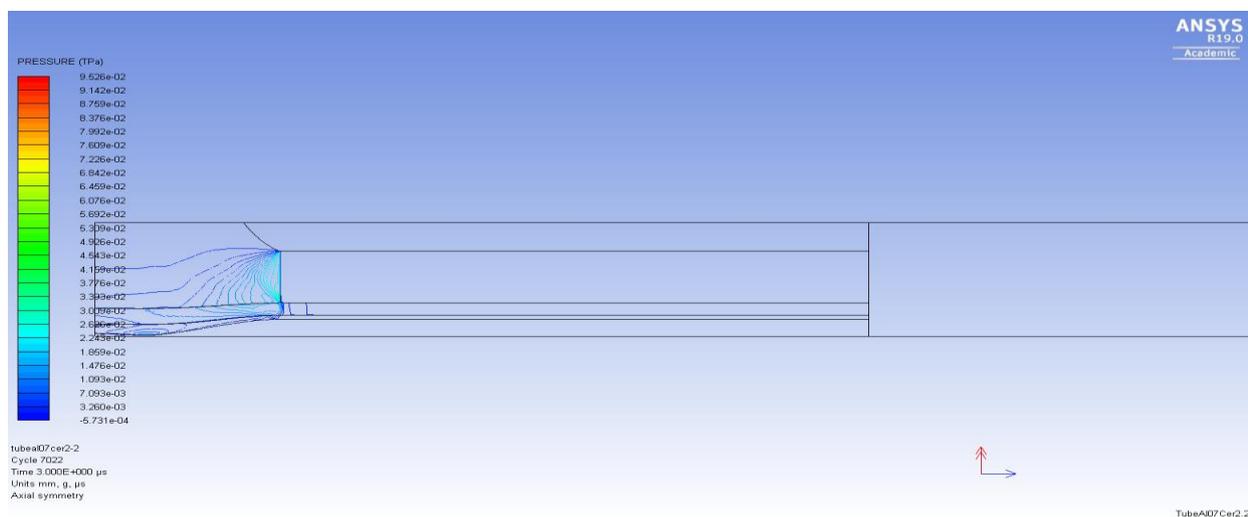
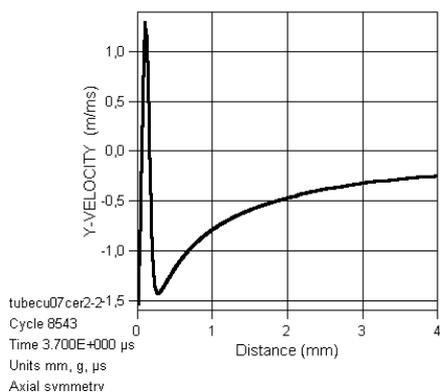
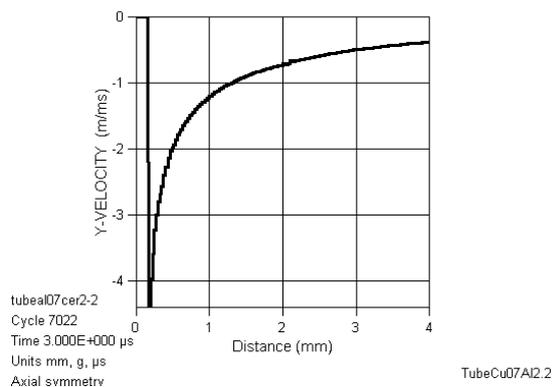


Рис.3. Обжатию алюминиевой трубки. Time=3.000 мкс



а)



б)

Рис.4. Скорость обжатию трубки: а) из меди 1.4297 m/ms; б) из алюминия 4,2807 m/ms

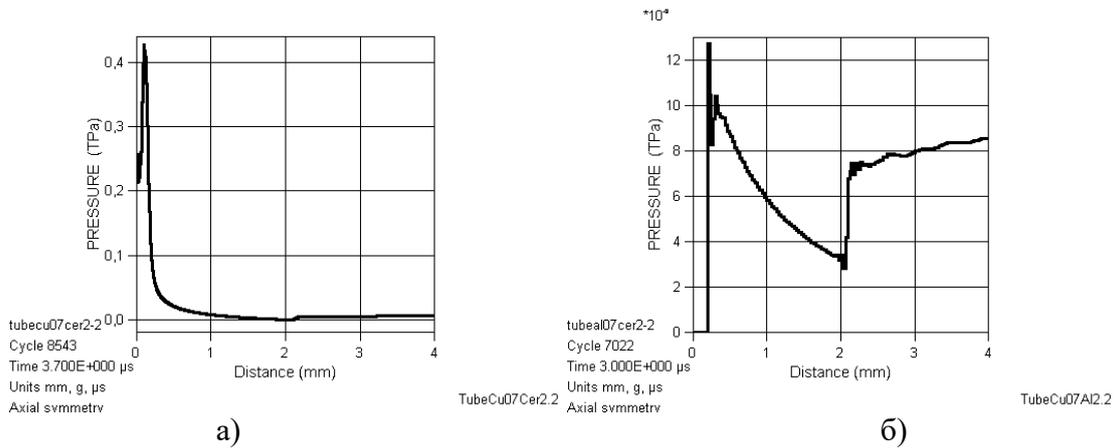


Рис.5. Давление в точке схлопывания а) медной трубки 0,50211 ТПа; б) алюминиевой трубки 0,13335 ТПа

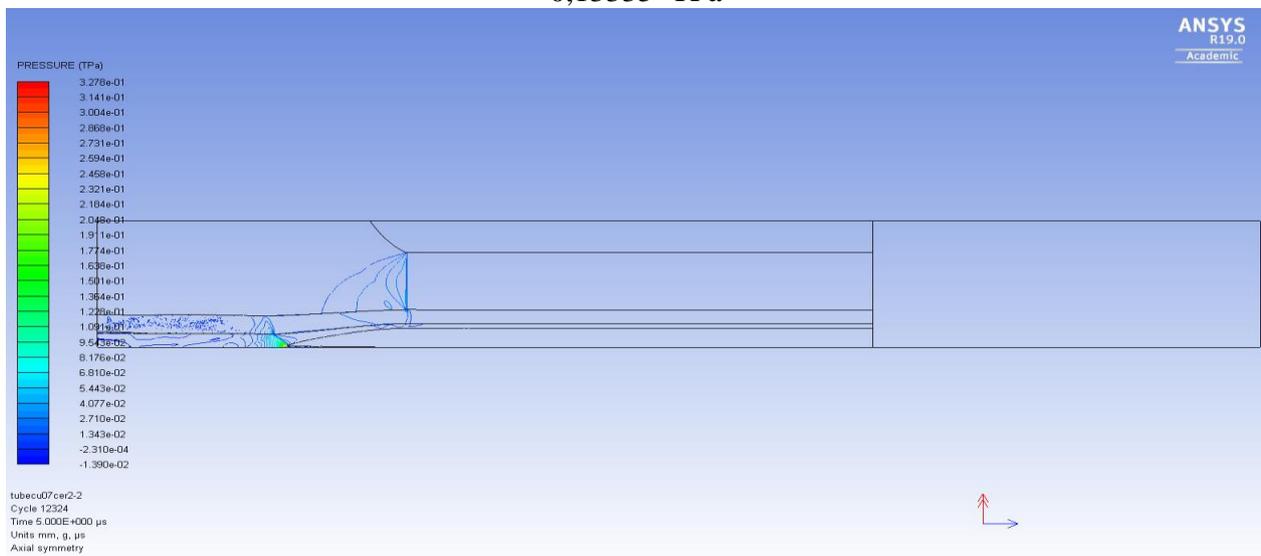


Рис.6. Образование кумулятивной струи в медной трубке. Time=5.0 мкс

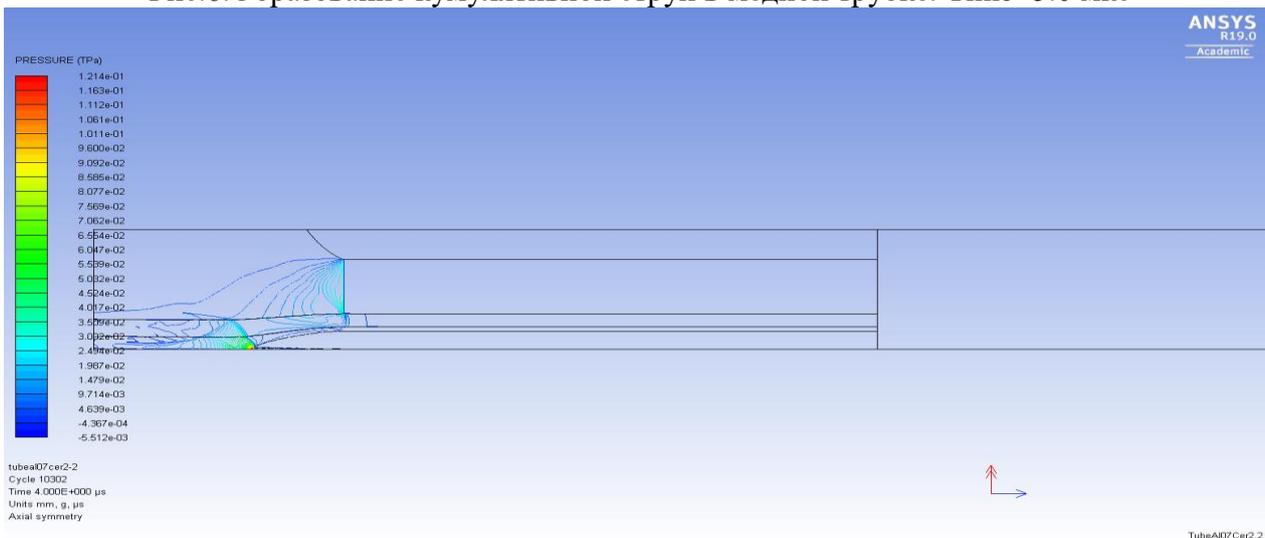


Рис.7. Образование кумулятивной струи в алюминиевой трубке. Time=4.0 мкс

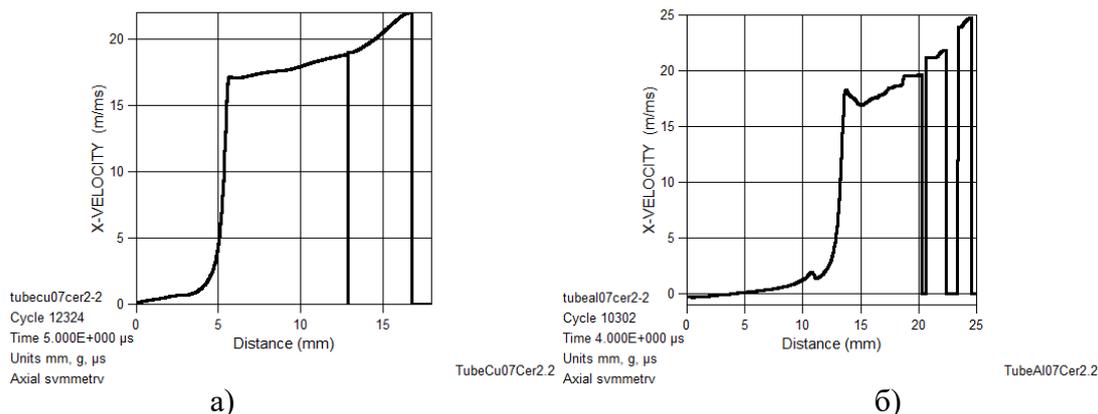


Рис.8. Профиль скорости вдоль оси симметрии а) в медной трубке 21.983 m/ms; б) в трубке из алюминия 24.667 m/ms

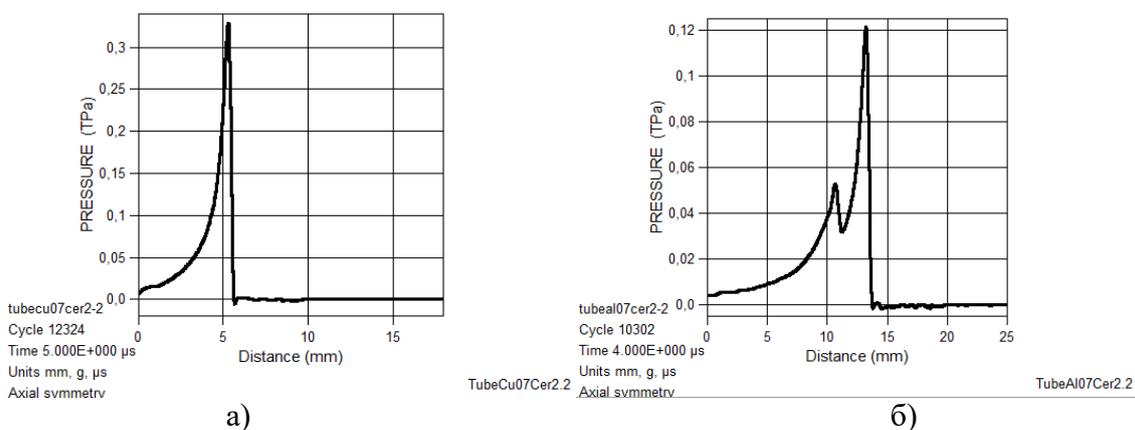


Рис.9. Распределение давления вдоль оси симметрии: а) медная трубка 0.32775 TPa; б) алюминиевая трубка 0.12105 TPa

Результаты моделирования представлены в таблице.

Таблица

Параметр	Пара корунд/медь	Пара корунд/алюминий
Y-Velocity max, скорость обжатия трубки	1.4297 m/ms Time=3.7 мкс	4,2807 m/ms Time=3.0 мкс
P max, давление в точке схлопывания	0.50211 TPa Time=3.7 мкс	0,13335 TPa Time=3.0 мкс
X-Velocity max, при образовании кумулятивной струи	21.983 m/ms Time=5.0 мкс	24.667 m/ms Time=4.0 мкс
P max, давление при образовании кумулятивной струи	0.32775 TPa Time=5.0 мкс	0.12105 TPa Time=4.0 мкс

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тришин Ю.А. О некоторых физических проблемах кумуляции // ПМТФ.-2000. -Т.41.- №5.-С.10-26.
2. И.А. Балаганский, Л.А. Мерзжиевский, В.Ю. Ульяницкий, И.А. Батаев, А.А. Батаев, А.Д. Матросов, И.А. Стадниченко, И.С. Батраев, А.В. Виноградов. Генерация гиперскоростных потоков частиц при взрывном обжатии керамических трубок //ФГВ, 2018.- Т.54.-№1.- С. 132-138.
3. I.A. Balagansky, A.V. Vinogradov, L.A. Merzhievsky. Modelling of fast jet formation under explosion collision of two-layer alumina/copper tubes // The International Journal of Multiphysics. – 2017. – Vol. 11, № 3. – P. 265-375.

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ДЕВЯТНАДЦАТИКАНАЛЬНЫХ ПОРОХОВ В КОМБИНИРОВАННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ МЕТАТЕЛЬНЫХ ЗАРЯДАХ

Е.А. Рукинова, Е.А. Знаменский, Я.О. Павлов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,
г. Санкт-Петербург, ac03@bk.ru

Статья посвящена исследованию возможности применения переменных комбинированных метательных зарядов с девятнадцатиканальными порохами. Определены коэффициенты геометрического закона горения девятнадцатиканального пороха. Разработана и реализована модель внутренней баллистики многокомпонентных пороховых зарядов. Проведены расчеты по подбору заряда для 152-мм артиллерийского орудия. На основании сравнения результатов расчета штатного и исследуемого баллистического решения сделан вывод о возможности применения девятнадцатиканальных порохов в комбинированных метательных зарядах.

The article consider exploring of combined charges with 19-hole propellants usage possibility. Coefficients for geometric burning law process were determined. Model of interior ballistics multicomponents charges was elaborated and implemented. Charge choosing calculations for 152-mm caliber artillery gun were made. Based on a comparison of calculations results conclusion about usage possibility of 19-hole propellants in combined charges was made.

В настоящее время за границей широкое распространение получили девятнадцатиканальные пороха, обеспечивающие существенно большую прогрессивность горения. Данные пороха применяются в метательных зарядах M231, M232 (США), "Юнифлекс-2 IM" (Швеция), и DM72/DM92 (Германия) [1].

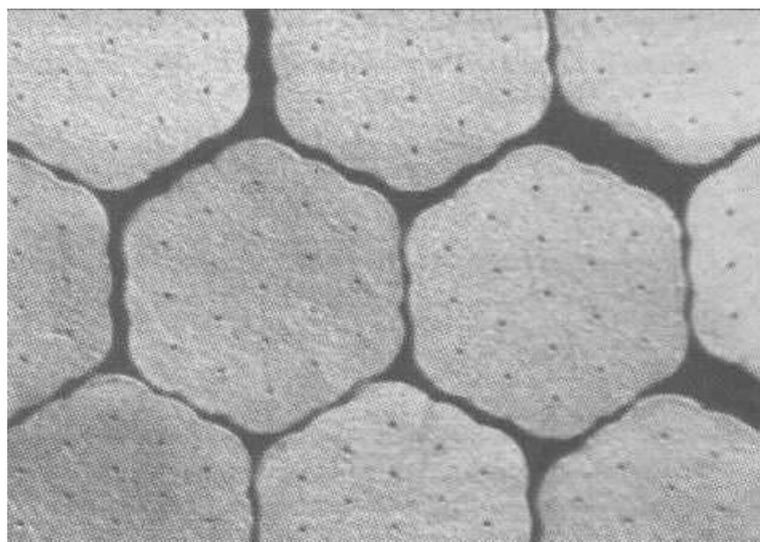


Рисунок 1 – Девятнадцатиканальные пороховые элементы R5730с фигурным обводом для зарядов DM72/DM92

Одним из вариантов применения данных порохов являются комбинированные метательные заряды, включающие в себя несколько марок пороха, отличающихся толщиной горящего свода и временем горения. Как правило, это переменные заряды, позволяющие

уменьшать навеску пороха для получения заданной начальной скорости. По мере извлечения пучков пороха из заряда существенно падает плотность заряжения артиллерийского орудия. Для обеспечения полноты сгорания метательного заряда первыми из него должны извлекаться пороха с большим временем горения. Серьезным недостатком комбинированных метательных зарядов является невозможность получения баллистических характеристик полного постоянного заряда, полностью состоящего из одной марки пороха с оптимально подобранным временем горения. Наличие в составе переменных зарядов быстрогорящих порохов провоцирует быстрый рост максимального давления при увеличении плотности заряжения.

Применение прогрессивно горящих девятнадцатиканальных порохов позволяет иметь существенно меньшую полную площадь горения в начальном периоде и быстро увеличить её после прогорания пороховых пучков с меньшей толщиной горящего свода. Это позволяет комбинированному заряду на максимальных плотностях заряжения иметь баллистические характеристики практически не уступающие полным постоянным зарядам.

Для определения характеристик горения девятнадцатиканального пороха использовалась модель предложенная в [2]:

$$\beta = \frac{2e_1}{2c};$$

$$\kappa_1 = \frac{Q_1 + 2\Pi_1}{Q_1} \cdot \beta;$$

$$\Pi_1 = \frac{D + nd}{2c};$$

$$Q_1 = \frac{D^2 - nd^2}{(2c)^2};$$

$$\lambda_1 = \frac{n - 1 - 2\Pi_1}{Q_1 + 2\Pi_1} \cdot \beta;$$

$$\mu_1 = \frac{(n - 1) \cdot \beta^2}{Q_1 + 2\Pi_1};$$

где $2e_1$ - толщина горящего свода, $2c$ и D - длина и наружный диаметр порохового зерна, d - диаметр канала, n - количество каналов в зерне.

Относительная масса сгоревшего пороха в момент распада порохового элемента на дегрессивно догорающие остатки:

$$\psi_s = \kappa_1(1 + \lambda_1 + \mu_1).$$

Максимальный радиус окружностей, вписанных в дегрессивно догорающие призмы:

$$\rho = 0,1772(d + 2e_1)$$

Относительна толщина сгоревшего слоя пороха

$$z_k = \frac{e_1 + \rho}{e_1}$$

Площадь порохового зерна

$$S_1 = 2 \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 + nd^2) + 2c \cdot \pi \cdot (D + nd)$$

Объем порохового зерна до начала горения

$$\Lambda_1 = 2c \cdot \frac{\pi}{4} (D^2 - nd^2)$$

Относительная толщина сгоревшего слоя пороха

$$z_1 = z_k - 1$$

Характеристики геометрической формы порохового зерна после распада

$$\kappa_2 = \frac{S_1 \cdot \rho}{\Lambda_1}$$

$$\lambda_2 = \frac{3(1-\psi_s) - 2\kappa_2 \cdot z_1}{\kappa_2 \cdot z_1^2}$$

$$\mu_2 = \frac{\kappa_2 \cdot z_1 + 6 \cdot (1-\psi_s) - 4 \cdot \kappa_2 \cdot z_1}{3 \cdot \kappa_2 \cdot z_1^3}$$

Ниже представлен закон образования пороховых газов, состоящий из двух частей, где ψ_1 описывает образование пороховых газов до распада зерна, а ψ_2 после.

$$\psi_1(z) = \kappa_1 \cdot z \cdot (1 + \lambda_1 \cdot z + \mu_1 \cdot z^2);$$

$$\psi_2(z) = \psi_s + \kappa_2 \cdot (z-1) \cdot \left[1 + \lambda_2 \cdot (z-1) + \mu_2 \cdot (z-1)^2 \right];$$

Входе проведенных расчетов для гипотетического пироксилинового пороха марки 25/19 получены следующие характеристики закона горения:

Таблица 1 – Характеристики горения девятнадцатиканального пороха

До распада		После распада	
κ_1	0,613	κ_2	0,326
λ_1	0,365	λ_2	2,229
μ_1	-0,035	μ_2	-3,974

Для расчета процесса выстрела с использованием комбинированного метательного заряда была адаптирована модель предложенная в [2,3,4]. Численная реализация модели осуществлена с использованием явного метода Рунге-Кутты 4-го порядка точности. В качестве опорного варианта баллистического решения использовалась 152-мм пушка с зарядом пироксилинового семиканального пороха, имеющего максимальное давление 320 МПа и начальную скорость снаряда 945 м/с.

Результаты расчетов, полученных с использованием тех же значений объема зарядной камеры и пути снаряда по каналу ствола, на комбинированном заряде состоящем из смеси порохов 9/7 (в нижнем пучке) и 25/19 в остальных, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные характеристики комбинированного переменного заряда с девятнадцатиканальным порохом.

Заряд	Скорость снаряда, м/с	Максимальное давление, МПа
Полный	943,29	343,81
Первый	810,88	245,87
Второй	694,29	179,58
Третий	592,45	133,98
Четвертый	506,47	99,03
Пятый	430,23	73,62

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение девятнадцатиканальных порохов позволяет создавать переменные заряды практически не уступающие по своим характеристикам полным непеременным зарядам с семиканальными порохами. Освоение технологии производства девятнадцатиканальных порохов является одним из перспективных направлений развития отечественной артиллерии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Зарубежные модульные метательные заряды [Электронный ресурс] - интернет ресурс - режим доступа - <http://militaryarticle.ru/zarubezhnoe-voennoe-obozenie/2011-zvo/8026-zarubezhnye-modulnye-metatelnye-zarjady>, свободный [дата обращения 10.05.2018] – Загл. с экрана
2. В.Ф. Захаренков. Внутренняя баллистика и автоматизация проектирования артиллерийских орудий. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2010 г. – 276 с.
3. М.Е. Серебряков. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. Изд. 3-е, доп. и перераб. М.: ОБОРОНГИЗ, 1962 г. – 703 с.
4. Е.В. Чурбанов. Краткий курс баллистики. Изд. 2-е, испр. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2006 г. – 291 с.

СЕКЦИЯ: РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

УДК 629.73.07

РАЗРАБОТКА МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д. К. Баранова, К. Л. Ямшанов, А. О. Киселев

Научный руководитель: доктор техн. наук, зав. каф. АИУС В. Н. Легкий

**Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
e-mail: da180197@yandex.ru**

*В докладе рассмотрены перспективы создания в НГТУ малых и микро – БПЛА
The report examines the prospects for the creation of small and micro unmanned aerial
vehicles in NSTU.*

Введение

Разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – перспективное направление развития авиации. Создается широкая номенклатура беспилотных аппаратов – от стратегического назначения до малых и микро-БПЛА, рассчитанных на народнохозяйственное и индивидуальное применение. Боевые самолеты 6-го поколения разрабатываются в двух вариантах: пилотируемом и беспилотном.

Сегодня разрабатывать и производить легкие БПЛА в состоянии многие организации, работы ведутся, в том числе, на кафедре АИУС ФЛА НГТУ. Большое число российских компаний выпускает достаточно качественные образцы малых БПЛА, способных совершать полеты на малых высотах. Такие БПЛА используются российскими силовыми ведомствами, МЧС России, гражданскими компаниями.

В настоящее время по заказу Минобороны России в стране ведутся работы по созданию БПЛА трех типов:

Первый из них – это средневысотный оперативно-тактический БПЛА «Иноходец» с взлетным весом до одной тонны.

Второй – «Альтиус», весом до пяти тонн, должен обладать большой высотой и продолжительностью полета.

Третий перспективный российский БПЛА – это тяжелый ударный БПЛА, разрабатываемый в рамках проекта «Охотник». Серийных аналогов данного аппарата в мире на сегодняшний день нет, но работы в этом направлении ведутся во многих странах [1].

Классификация БПЛА.

На сегодняшний день существует множество беспилотных летательных аппаратов, которые отличаются по своим размерам, внешнему виду, дальности полета и выполняемым функциям.

БПЛА можно разделить на виды:

1. По способу управления и степени их автономности (неуправляемые, дистанционно управляемые, автоматические);
2. По своему размеру (микро (до 10 кг), мини (до 50 кг), миди (до одной тонны), тяжелые (с весом больше тонны));
3. По глубине решаемых задач (стратегические, оперативные, тактические);
4. По назначению (многоцелевые, целевые);

5. По кратности применения (многоразовые, одноразовые);
6. По способу старта (аэродромного старта, старт с катапульты, старт с руки, вертикальная взлет посадка);
7. По способу возвращения (посадка при помощи шасси, спуск на парашюте, падение на уловитель) [1,2].

Развитие малых и микро-БПЛА.

В последнее время всё более активное внимание уделяется сравнительно новому перспективному направлению развития БПЛА – малых и микро-БПЛА, предназначенным, в первую очередь, для помощи в боевых действиях малым группам военнослужащих.

Повышенный интерес к этому классу аппаратов вызван появлением новых достижений в области миниатюризации компонент ЛА и новых военно-технических концепций информатизации вооруженной борьбы.

Малые БПЛА могут решать широкий диапазон военных, специальных и гражданских задач, например, таких, как:

1. Проведение разведки «за холмом» (вне пределов прямой видимости – на удалении до 10 км, длительностью до 1 часа, со скоростью от 10 до 20 м/с);
2. Выполнение функции ретранслятора связи;
3. Осуществление химической разведки и мониторинга;
4. Осуществление оперативного контроля движения, контроля границ, противопожарного дозора и спасательных операций, мониторинга в лесном хозяйстве, наблюдения живой природы, мониторинга и фотосъемки недвижимости и др. [3].

В работе [8] излагаются концептуальные основы нового направления развития беспилотных разведывательных и ударных аппаратов – миниатюризации и создания беспилотных летательных аппаратов мини- и микро-класса. Рассматриваются возможные области целевого применения и аспекты технической реализации мини-БЛА, освещаются работы, проводимые Управлением перспективных исследований и разработок МО США DARPA, по основным компонентам таких аппаратов: летательному аппарату, энергосиловой установке, двигателю, полезной нагрузке, информационным датчикам, системе управления, навигации.

Направления исследований при создании малых и микро- БПЛА

Низкие числа Рейнольдса (размерность, умноженная на скорость) имеют фундаментальное значение для масштаба и аэродинамики аппаратов, скоростей микро-БПЛА. Небольшие размеры малых и микро-БПЛА приводят к высоким отношениям «площади поверхности к объему» и строгим весовым и объемным ограничениям. Традиционная парадигма проектирования самолета – «заполнение оболочки» компонентами здесь не может быть осуществима [1].

Требуется оптимизация набора компонентов информационно-управляющей системы БПЛА:

- 1). Комплексируемое информационно-измерительное и управляющее оборудование БПЛА включает бортовую процессорную платформу, радио – и оптоэлектронные сенсоры, а также компоненты на основе МЭМС – технологий. Навигация и телеметрия с использованием систем GPS достаточно энергозатратна для малых и микро-БПЛА. Применение инерциальной навигации требует применения гироскопов с низким дрейфом и соответствующих акселерометров. Полеты в городских кварталах с сужающимися коридорами улиц сложной геометрии, наличие движущихся препятствий определяют условия и ограничения, которые делают неэффективным оперативное участие оператора в управлении полетом для большого количества приложений [2]. При обмене данными сжатие полученных изображений на борту требует согласования с задействованными сотовыми системами связи [4];

2). Многофункциональные эксплуатационные возможности БПЛА при ограничениях по весу и энергетике, могут быть достигнуты с использованием высокоинтегрированной конструкции с деталями, выполняющими ряд функций. Например, крыло может служить элементом радиантенны или оптоэлектронного сенсора. Источник питания может быть частью конструкции фюзеляжа. Данный уровень конструктивной синергетики значительно превышает показатели конструкции современных самолетов [2];

3). Устойчивость управляемого полета – важная задача для разработчиков малых БПЛА. Относительно большие аэродинамические силы и моменты, создаваемые в полете, трудно предсказуемы, но существенны для обеспечения устойчивого полета. Неустойчивые потоки, как результат атмосферных порывов или маневрирования аппарата, особенно сильно проявляются для летательных аппаратов масштаба мини и микро с несущественным моментом инерции и малой нагрузкой на крыло. Для малых БПЛА требуется полностью учитывать трехмерную аэродинамику обтекания при более низких числах Рейнольдса, отличную от двумерного обтекания пластины. Интересно отметить, что природные аналоги БПЛА того же масштаба используют другой источник неустойчивой аэродинамики – машущие крылья для создания подъемной силы и тяги [1].

Для малых БПЛА требуется учитывать трехмерную аэродинамику обтекания при более низких числах Рейнольдса, отличную от варианта двумерного обтекания пластины. Стабилизация и управление такими аппаратами требуют быстродействующих автономных систем управления [1] для обеспечения высокого КПД двигательной установки. Двигательные установки малого масштаба должны удовлетворять соответствующим требованиям по энергетической емкости и удельной мощности [4].

В Новосибирском государственном техническом университете в 2017г. прошел конкурс проектов беспилотных летательных аппаратов в рамках стратегического проекта «НГТУ интеграционный вуз для подготовки кадров авиационной и ракетно-космической отрасли региона» согласно Программе опорного университета.

Данный конкурс выиграла команда из пяти студентов факультета летательных аппаратов: Шмидт Отто Сергеевич, Киселев Александр Олегович, Емельянов Владимир Викторович, Маркин Василий Владиславович, Ямшанов Константин Леонидович.

По результатам конкурса определено, что студентами ФЛА НГТУ может быть разработан БПЛА с вертикальным взлетом и посадкой, полета в режиме самолета, полета по заданным точкам.

В процессе предварительной проработки определен класс БПЛА (Рисунок 1) как многоцелевой. По правилам гранта предусмотрен вертикальный способ старта и посадки. Участника проекта решили проблему с низкими числами Рейнольдса, выбрав оптимальный профиль для заданной крейсерской скорости. Конструкторские задачи по интегрированию систем в корпусе БПЛА решаются изготовлением деталей фюзеляжа и отсеков на 3D принтере, в результате оптимизированы вес, размеры и форма аппарата. Проблема со связью решается с помощью «Интеллектуального» ПО, которое при потере связи будет управлять БПЛА автономно, до получения новых команд по радиоканалу.

Вопрос по минимизации энергозатрат БПЛА решен с помощью дополнительных крыльев, и возможностью продолжить полет в самолетном режиме. Данный режим значительно экономичней, чем вертолетный режим.

Навигация решена применением GPS датчика с акселерометром и гироскопом, вследствие чего получена достаточно высокая точность навигации.

На сегодня БПЛА ФЛА НГТУ находится на стадии отладки компонентов и сборки.

Предполагается использование на борту разрабатываемого в НГТУ БПЛА оптоэлектронной и радиочастотной авионики (высотомеры, дальномеры, обнаружители препятствий, фотоматричные информационные системы наведения и контроля, каналы телеметрии) [5-7], а также применение в БПЛА микроэлектронных и микромеханических элементов управления (МЭМС), объединяющих в себе микроэлектронные и микромеханические элементы управления.

Адаптация лазерных датчиков высоты и расстояния для носителя позволяет на интервале до 40-100 м автоматически обеспечивать оптимальное сочетание основных параметров бортовой оптоэлектронной аппаратуры при работе в реальной замутненной атмосфере по поверхностям со случайными отражающими свойствами. В итоге может быть получена информация о расстоянии от БПЛА до объектов в пределах нижней полусферы и в боковой области пространства. Применение адаптивных наносекундных дальномерных датчиков также перспективно в высокоинформативных оптико-локационных системах с распознаванием трехмерных изображений.

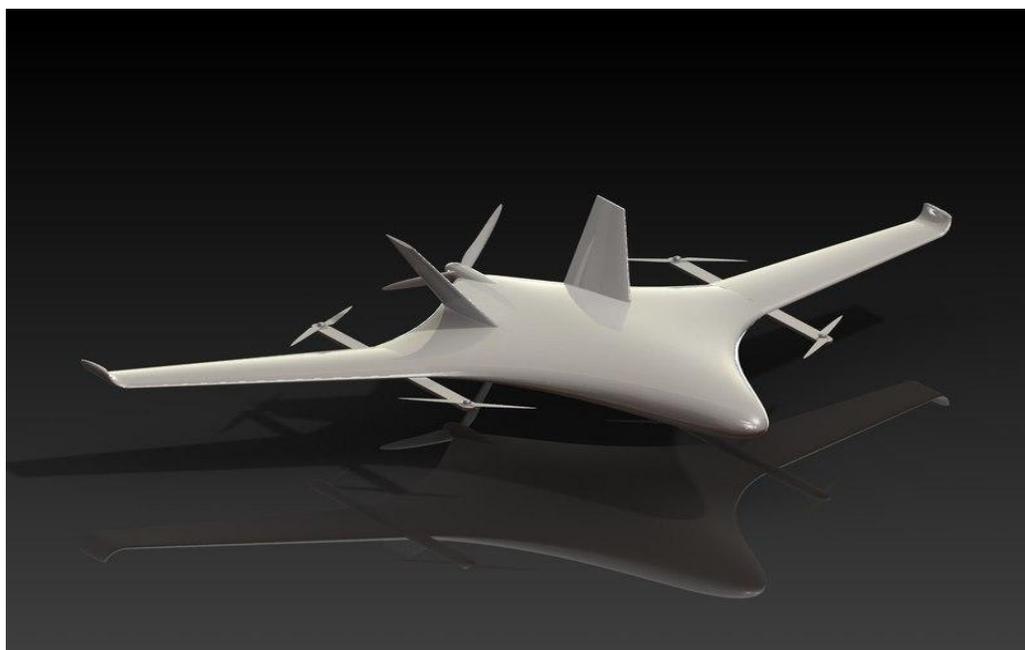


Рисунок 1 - 3D - Модель одного из вариантов БПЛА НГТУ

Заключение

На сегодняшний день малые и микро-БПЛА самолетной схемы с габаритами от 15-20см, весом от 50г и мощностью системы питания от 8-10Вт могут иметь двигательные установки, требующие почти 90% от суммарной энергетике БПЛА, оставляя только 10% для систем авионики, связи, навигации, телеметрии.

Для формирования автономных роботизированных формирований на базе комплексов БПЛА, способных самостоятельно вести боевые действия, необходимы исследования и разработка новых технологий по таким важным направлениям, как:

1. Развитие важнейшего компонента БПЛА - авионики (высотомеры, дальномеры, обнаружители препятствий, фотоматричные информационные системы);
2. Применение в БПЛА микроэлектронных и микромеханических элементов управления;
3. Создание оптического и радиолокационного обеспечения скрытности и помехозащищенности БПЛА;
4. Разработка водородных двигателей и двигателей на иных принципах, позволяющих увеличить продолжительность работы БПЛА;
5. Создание наноматериалов и «умных материалов», изменяющих свою форму (или физические свойства в соответствии с конкретными условиями применения) под влиянием внешних управляющих воздействий.
6. Создание биополимеров, применяемых при разработке ультра легких сверхпрочных материалов с улучшенными характеристиками малозаметности для корпусов БПЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гребеников А.Г., Мялица А.К., Парфенюк В.В. и др. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов. Справочное пособие. – Харьков: Харьковский авиационный институт, 2008. — 377 с.
2. Василин Н.Я. Беспилотные летательные аппараты. – Минск: Попурри, 2003. - 272 с.
3. Преображенский Н. Мировой рынок беспилотников [Электронный ресурс] // Военно-промышленный курьер: электрон. журн. – 2014. – № 3 (521). – Режим доступа: http://vpk.name/news/104319_mirovoi_ryinok_bespilotnikov.html.
4. Кондратьев А. Перспективы развития и применения беспилотных и роботизированных средств вооруженной борьбы в ВС ведущих зарубежных стран [Электронный ресурс] // Зарубежное военное обозрение: информационно-аналитический иллюстрированный журнал Министерства обороны России. – 2011. – № 5. – С. 14–21. – Режим доступа: http://pentagonus.ru/publ/perspektivy_razvitiya_i_primeneniya_bespilotnykh_i_robototizirovannykh_sredstv_vooruzhennoj_borby_v_vs_vedushhikh_zarubezhnykh_stran/19-1-0-1772.
5. Легкий В. Н., Галун Б. В., Литвиненко С. А., Санков О. В., Шумейко В. А., Баласов И. Ю., Башмаков А. О. Принципы построения помехоустойчивых миниатюрных лазерных импульсных дальномеров, высотометров и датчиков для бортовых и транспортных систем // Оптический журнал. –2011.–Т. 78, №5.– С. 64-69.
6. Легкий В. Н., Топорков В. Д., под ред. В.Н. Легкого. Лазерные системы ближней локации. Оптоэлектронные датчики. Монография:– Новосибирск.: НГТУ, 2002. – 179 с.
7. Легкий В. Н., Галун Б. В., Санков О. В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения – Новосибирск: НГТУ, 2011. -455с.
8. В.А. Попов, Д.В. Федутин. Развитие направления миниатюрных беспилотных летательных аппаратов за рубежом. - ФГУП «ГосНИИАС» [Электронный ресурс] // http://www.uav.ru/articles/mav_abroad.pdf

ЗАЩИТА НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ.

К.А. Бузмаков, А.О. Леонов

Научный руководитель: старший преподаватель кафедры АИУС И.П. Кропачева

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

Развитие высокоточного оружия требует защиты военных кораблей. Активные методы защиты предполагают использование противоракет для противодействия корабельным и береговым комплексам потенциального противника требуют значительных затрат. Предлагается разработка средств пассивной защиты путем постановки ложных целей в совокупности с аэрозольными помехами (дымовые завесы).

Recently, high-precision weapons are progressing in their development. Increased combat capabilities for overcoming, fire suppression of air defense systems and the destruction of objects anywhere in the world, at any time of the day, in any climatic conditions. The frontiers of the WTO launch are being removed, the visibility of the attacking means is decreasing, combined guidance systems are used, and the speeds of flight are increased. I will introduce with the development and progression of precision weapons, and protection against it, including the protection of nuclear cruisers, is also developing. But it is not always profitable and effective to use only active methods of protection against precision weapons.

Крылатые ракеты класса «Tomahawk» относятся к системам высокоточного оружия. Крылатая ракета (КР) имеет комбинированную систему управления и наведения. Она состоит из ряда систем наведения:

1. Инерциальная;
2. По рельефу местности (TERCOM);
3. Электронно-оптическая (DSMAC);
4. С помощью GPS.
5. На противокорабельных модификациях стоит радиолокационная система наведения.

Комбинированная система наведения ракеты определяет ТТХ ракетного комплекса:

1. За счет низкой высоты полета и использования специальных материалов «Томагавк» и другие КР являются проблемой для средств ПВО;
2. Ракеты обладают весьма высокой точностью;
3. Это оружие не попадает под действие соглашений о крылатых ракетах;
4. КР «Томагавк» имеют низкую стоимость обслуживания (если сравнивать с баллистическими ракетами);
5. Данное оружие относительно недорогое: стоимость одной ракеты на 2014 год составляла 1,45 млн долларов, для некоторых модификаций она может достигать 2 млн долларов;
6. Универсальность: различные виды боевых частей, а также разные способы поражения объектов позволяют применять Tomahawk против различных целей.



Рисунок 1 - Крылатая ракета «Tomahawk»

На примере системы защиты противовоздушной обороны атомного крейсера «Петр Великий» рассмотрим активную систему защиты кораблей от высокоточного оружия. На крейсере установлены такие системы как:

1. Комплекс С-300;
2. Две радиолокационные станции;
3. Зенитный ракетный комплекс «Кинжал»;
4. Шесть зенитных артиллерийских комплексов «Кортик».

Комплексная структура ПВО корабля позволяет создать эшелонированную оборону. С такой системой защитой крейсер способен обеспечить оборону, как самому себе, так и для других кораблей, входящих в состав корабельной авианосной группы. В работе [3] приведены данные о ракетном вооружении надводного флота.

Не всегда оправданно использовать активные системы защиты, так как они снижают скрытность корабля и гораздо дороже пассивных систем защиты.

Так как корабль обладает пассивной системой защиты, такой как задымление корабля в течении нескольких минут, можно применить дополнительную пассивную систему, такую как ложная цель.

Ложную цель можно применять двумя методами:

1. Когда корабль стоит на якоре;
2. Когда корабль находится в движении;

Рассмотрим первый вариант.

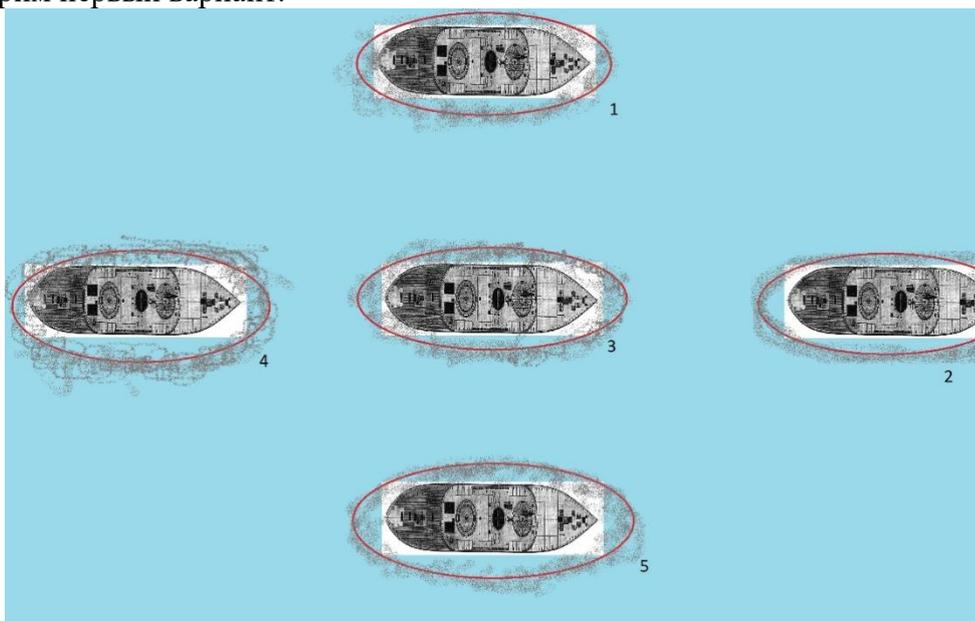


Рисунок 2 - Положение корабля и его муляжей: корабль стоит на якоре

В этой ситуации корабль может занять одну из 5 задымленных позиций. На остальных задымленных позициях будут поставлены надувные муляжи, который будут имитировать кораблю, то есть создавать радиолокационные сигналы, на которые будут реагировать КР.

Так же будет создаваться тепловой ИК сигнал, чтобы также перенаправить ракету. Таким образом, при первом методе точность попадания КР будет равна 1/5.

Так же можно использовать и другое расположение кораблей, допустим 1/3 или 1/4 и т.д. Но этот способ защиты будет экономически оправдан, если корабль длительное время находится на одном месте.

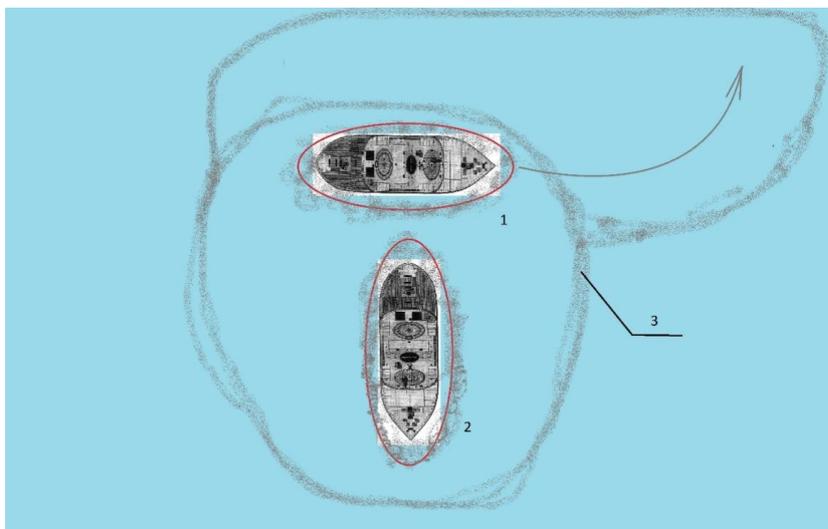


Рисунок 3 - Передвижение корабля: 2-муляж корабля. 3-дымовая завеса

При втором методе защиты, когда корабль информирован о приближение к нему ракеты, заранее готовится дымовая завеса такая, чтобы в ней можно было передвигаться кораблю без атаки на него. На том месте, где ракетой был зафиксирован корабль, ставится муляж корабля.

Таким образом, муляж корабля должен принять удар противника на себя, а сам защищаемый корабль сбить ракету.

Преимущества сочетания муляжа и дымовой завесы в том, что ПКР полетит по инерции в муляж, а также нельзя будет перейти на ручные управления так, как вокруг корабля и муляжа поставлена дымовая завеса, следовательно, по камерам реального времени ракеты, наведение не обеспечит поражение корабля.

Вывод

Таким образом, пассивная маскировка «муляж» эффективна и мало затратна по стоимости. Но реализовать ее сложно так, как требуются новые технологии, например, изготовление муляжей (размером с корабль), создание источников теплового и радиолокационного поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Militaryarms.ru [Электронный ресурс].
URL:<https://militaryarms.ru/boeprisy/rakety/tomagavk/> (дата обращения: 8.04.2018).
2. TVVEZDA [Электронный ресурс].
URL:<https://tvzvezda.ru/news/opk/content/201712271323-2ujo.htm> (дата обращения: 8.04.2018).
3. Ракетное вооружение надводного флота [Электронный ресурс].
<http://alternathistory.com/raketnoe-vooruzhenie-nadvodnogo-flota-orly-otechestva> .

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ НАВЕДЕНИЯ КРЫЛАТЫХ РАКЕТ

**Веремчук Оксана Леонидовна, Исаков Дмитрий Сергеевич,
Гольдберг Михаил Аркадьевич, Легкий Владимир Николаевич**

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

Одним из основных видов высокоточного орудия являются крылатые ракеты, задачами которых являются поражение наземных и надводных объектов обычными (осколочно-фугасными или кумулятивными боеприпасами), или ядерными боеприпасами. При разработке крылатых ракет (КР) необходимо обеспечить заданную дальность стрельбы, заданную точность наведения высокую техническую надежность, высокую защищенность от воздействия средств ПВО и РЭБ противника. Современные крылатые ракеты относятся к категории «высокоточное оружие», они могут быть разделены на тактические крылатые ракет (ТКР, дальность стрельбы до 300 – 500 км), и стратегические крылатые ракеты (СКР, дальность стрельбы до 5000 – 7000 км.). Крылатые ракеты могут запускаться с наземных установок (автомобильных, железнодорожных), морских установок, универсальных контейнерных установок, с самолетов.

Современные КР оснащены системами управления, которые решают три основные задачи: вывод в заданный район, распознавание целей, распределение целей между ее атакующими ракетами (т.е. задачу целеуказания), наведение каждой ракеты на заданную цель, противодействие средствам РЭБ противника. Для современных крылатых ракет применяются следующие системы наведения: инерциальные и астронавигационные системы выведения КР в нужный район, системы «распознавания образов» для выделения объектов поражения на фоне местных предметов и предметов маскировки объектов поражения, системы телеуправления и самонаведения на выбранные (назначенных в результате целеуказания) цели. Системы самонаведения бывают нескольких видов: радиотехнические, инфракрасные, звуковые и оптические. Каждая из этих систем самонаведения, используя соответствующий вид энергии, излучаемой целью, может быть активной, полупассивной или пассивной.

One of main types of the high-precision tool are cruise missiles which main developing objectives are fire range increasing, targeting accuracy on the final site of a trajectory, and also lethality increasing. Cruise missiles are equipped with a control system that solves three main objectives: aiming at the target, stabilization of flight and management of fuel consumption. Systems of telecontrol and homing are applied to cruise missiles. Systems of homing happen several types: radio, infrared, sound and optical. Each of these systems of homing, using the corresponding type of the energy radiated by the purpose can be active, semi-active or passive.

Введение

Анализ результатов современных войн и военных конфликтов позволяет сделать вывод о том, что решающую роль в решении военных задач сыграло высокоточное оружие (ВТО). Характер разработок и применения ВТО показывает, что одним из основных его видов являются крылатые ракеты (КР), использующие различные способы наведения [1].

Прототипом современных крылатых ракет является крылатая ракета FZG-76/V-1, состоявшая на вооружении армии Германии в середине Второй мировой войны. Система управления представляла собой автопилот на базе гиросtabilизированной платформы, удерживающей ракету на заданном при старте курсе и высоте в течение всего полета, а анемометр отслеживал расстояние до цели. Наведение на цель выполнялось перед стартом

по магнитному компасу, который входит в состав системы управления [2].

Точность наведения КР (определяется величиной среднеквадратичного отклонения) составляла несколько километров при дальности пуска до 80 км, что позволяло при достаточно мощных боевых частях осколочно-фугасного действия буквально терроризировать население Великобритании при частых ударах (по Великобритании за годы второй мировой войны было выпущено около 8000 КР типа ФАУ-1 и ФАУ-2).

До середины 60-х путем настойчивого совершенствования КР, удалось достигнуть точности стрельбы до нескольких сотен метров при дальности стрельбы до сотен километров.

В настоящее время современные КР (например, американские крылатые ракеты «Томагавк» и российские крылатые ракеты «Калибр») – это сверхзвуковые и гиперзвуковые летательные аппараты, оснащенные эффективными и постоянно развивающимися информационными управляющими системами, позволяющие при дальностях пуска в несколько сот километров обеспечивать СКО до 0,2 – 0,5 м (ракета попадает в открытый люк танка или влетает в трубу ТЭЦ), а при стрельбе до 5000 км СКО составляет 1 – 1,5 м (например, американские «Томагавки» попадали точно в центр защищенных ангаров для самолетов сирийских ВВС и складских помещений, а Российские «Калибры» попадали в центр колонн из 3-4 машин группировок ИГИЛ или же попадали точно в середину заглубленных командных пунктов).

Классификация систем управления

Система управления - совокупность компонентов, которые определяют положение ракеты в пространстве относительно цели, выполняют расчет нужной траектории полета (т.н. «кинематической траектории») и удерживают ракету на траектории - заставляют двигаться в итоге по оптимальной т.н. «динамической траектории», близкой к кинематической [3].

В процессе полета крылатой ракеты современная система управления решает основные задачи:

наведение на цель – это способ управления, при котором ракетам задаются параметры движения, выводящие их к объектам противника, намеченным для поражения [4].

стабилизация полета – это автоматическая компенсация влияния внешних и внутренних возмущений, и их компенсация с учетом предельно допустимых значений (допустимых для данной ракеты) [5].

распознавание и выбор целей для поражения;

преодоление системы ПВО противника;

преодоление противодействия системы РЭБ противника;

управление расходом топлива - обеспечение максимально эффективного расхода топлива и полного выгорания компонентов (горючего и окислителя) [5].

Для наведения КР на заданные цели применяются системы выведения КР в заданный район, системы распознавания и выбора целей, и системы самонаведения на назначенную цель.

Системы вывода КР в заданный район

Их можно условно разделить на внутренние (инерциальные) системы вывода, внешние (астронавигационные) системы вывода, комбинированные системы вывода.

Инерциальные системы вывода (ИСВ) применялись, как основные системы до начала 80-х годов и постоянно совершенствовались с момента своего создания в Германии (середина 30-х годов). Основой ИСВ являются гиросtabilизированные платформы (первоначально основанные на аналоговых электромеханических устройствах - гироскопах, датчиках линейных ускорений, а затем - на лазерных кольцевых гироскопах и различных аналогово - цифровых и цифровых устройствах), бортовые акселерометры (измерители скорости) и одометры (измерители расстояний), бортовые высотомеры. В автопилот КР закладывается т.н. «маршрутная карта», в которой в реальном времени записывается положение осей ракеты в пространстве, ее скорость и высота (при этом с помощью платформы фиксируется начальное положение осей ракеты в момент старта).

«Кинематическая» (т.е. расчетная траектория) полета, которая сегодня может быть разработана на большое количество потенциальных целей и введена для конкретной цели за несколько секунд до старта КР (наземным или корабельным расчетом установки запуска КР, штурманом - оператором бортового оружия бомбардировщика). Кроме этого, могут встраиваться «карты профилей местности», которые позволяют сравнивать реальную карту местности с заложеной и тем самым корректировать полет КР.

Достоинством инерциальных систем выведения является высокая помехозащищённость и независимость от функционирования внешних (наземных, воздушных и космических объектов) информационных объектов инфраструктуры наведения, а основным недостатком - сравнительно невысокая точность при накоплении ошибок по мере полета КР.

Астронавигационные системы вывода работают на основании систем глобального геопозиционирования (например, GPS для стран военного блока НАТО или «Глонас» для стран ОДКБ), которая включает в себя спутниковые и наземные составляющие. Основным достоинством астронавигационных систем является более высокая точность наведения, а основными недостатками являются подверженность влиянию внешних помех, поставленных противником, и зависимость от функционирования внешних объектов инфраструктуры.

Комбинированные системы выведения позволяют использовать достоинства обеих систем выведения при снижении влияния их недостатков. При этом по ситуации возможно переключение с одной системы выведения на другую (например, при сложной помеховой обстановке или выходе из строя части внутренней или внешней системы вывода).

Система самонаведения — совокупность устройств, предназначенных для автономного вывода метательного снаряда на цель и минимизации отклонения от нее без участия экипажа или внешних средств управления.

На борту ракеты устанавливается специальная система управления, которая определяет свое положение относительно цели с помощью электромагнитных колебаний (радиоволны, видимые световые и невидимые инфракрасные лучи) и автоматически наводится на нее.

Системы самонаведения подразделяются на: радиотехнические, инфракрасные (тепловые), звуковые и оптические. Каждая из этих систем самонаведения, используя соответствующий вид энергии, излучаемой целью, может быть активной, полуактивной или пассивной.

Активные системы самонаведения помимо приёмника обладают и передатчиком (излучателем) - устройством, излучающим зондирующие сигналы и облучающим ими цель. Датчик в этом случае настроен для приема отраженных от цели эхо-сигналов. Под полуактивным самонаведением понимают такую систему управления, когда цель облучается источником энергии, установленным вне ракеты, а отраженная от цели энергия принимается приемником ракеты. Пассивные системы используют энергию, непосредственно излучаемую целью [3].

4. Этапы разработки крылатых ракет

Первая боевая крылатая ракета FZG-76/V-1

Первой боевой крылатой ракетой была немецкая FZG-76/V-1, более 8000 которых было применено, причем, в основном, по целям в Великобритании.

Если судить по современным меркам то ее система навигации была достаточно примитивной: автопилот на базе гироскопа выдерживал курс, а анемометр расстояние до цели. Ракета выставлялась по намеченному курсу перед запуском и на ней выставлялось расчетное расстояние до цели и как только одометр указывал, что ракета находится над целью, автопилот уводил её в крутое пикирование. Ракета обладала точностью в около мили и этого было достаточно для бомбардировки крупных городских целей, таких как Лондон.

Главной целью бомбардировок было терроризирование гражданского населения и отвлечение воинских сил Великобритании от наступательных операций, и направление их на

выполнение задач ПВО.

Первая американская крылатая ракета JB-2 - копия немецкой V-1

В непосредственно послевоенный период США и СССР воссоздали V-1 и начали развитие своих собственных программ крылатых ракет. Первое поколение театра военных действий и тактического ядерного оружия вызвало создание крылатых ракет серии Regulus ВМС США, серии Mace/Matador ВВС США и советских серий Комета КС-1 и Комета-20 и дальнейшего развития технологии навигации. Все эти ракеты первоначально используют автопилоты на основе точных гироскопов, но также возможности корректировки траектории ракеты по каналам радиосвязи так, что ядерная боеголовка могла быть доставлена как можно точнее. Промача в сотни метров может быть достаточно, чтобы уменьшить избыточное давление, произведенное ядерной боеголовкой, было ниже летального порога укрепленных целей. В 1950-х годах на вооружение поступили первые конвенциональные послевоенные тактические крылатые ракеты, прежде всего в качестве противокорабельного оружия. В то время как на маршевом участке траектории наведение продолжалось на основе гироскопа, а иногда и корректировалось по радиосвязи, точность наведения на конечном участке траектории обеспечивалась ГСН с РЛС малой дальности действия, полуактивной на самых ранних версиях, но вскоре вытесненной активными радаром. Ракеты этого поколения летят на средних и больших высотах, при атаке пикируя на цель.

Межконтинентальная крылатая ракета «Northrop SM-62 Snark»

Следующий важный этап в технологии навигации крылатых ракет последовал с принятием на вооружение межконтинентальных крылатых ракет наземного базирования Northrop SM-62 Snark, предназначенных для автономного полета над полярными регионами для атаки крупными ядерными боеголовками целей на территории Советского Союза.

Межконтинентальные расстояния представили перед конструкторами задачу - создать ракету способную поражать цели на расстоянии в десять раз больше, чем это могли обеспечить более ранние версии крылатых ракет. На Snark была установлена надлежащая инерциальная навигационная система использующая гиростабилизированную платформу и точные акселерометры для измерения движения ракеты в пространстве, а также аналоговый вычислитель, используемый для накопления измерений и определения положения ракеты в пространстве. Однако вскоре выявилась проблема, дрейф в инерциальной системе был слишком велик для оперативного использования ракеты, а ошибки инерциальной системы позиционирования оказались кумулятивными - таким образом, погрешность позиционирования накапливалась на траектории полета.

Решением этой проблемы стало устройство, предназначенное для выполнения прецизионных измерений географического положения ракеты на траектории ее полета и способное исправить или "привязать" ошибки генерированные в инерциальной системе. Это фундаментальная идея и сегодня остается центральной в конструкции современного управляемого оружия. Так, накопленные ошибки инерциальной системы периодически сводятся к ошибке позиционного измерительного прибора.

Крылатая ракета «Martin Matador»

Для решения этой задачи была применена астронавигационная система или ориентация по звездам, автоматизированное оптическое устройство, осуществляющее угловые измерения известного положения звезд и использующая их для расчета положения ракеты в пространстве. Астронавигационная система оказалась весьма точной, но и довольно дорогой в производстве и сложной в обслуживании. Также требовалось, чтобы ракеты, оснащенные этой системой, летели на большой высоте во избежание влияния облачности на линию визирования к звездам.

Менее известно, что успех астронавигационных систем, повсеместно послужил толчком в развитии в настоящее время спутниковых навигационных систем, таких как GPS и ГЛОНАСС. Спутниковая навигация основывается на аналогичной астронавигации концепции, но вместо звезд используются искусственные спутники Земли на полярных орбитах, а вместо естественного света искусственные СВЧ сигналы, а также используются

измерения псевдо-диапазона, а не угловые измерения. В итоге эта система значительно снизила расходы и позволила осуществлять определение местоположения на всех высотах в любых погодных условиях. Несмотря на то, что технологии спутниковой навигации были изобретены в начале 1960-х годов, они стали оперативно использоваться только в 1980-е годы.

В 1960-е годы произошли существенные улучшения точности инерциальных систем, а также увеличилась стоимость такого оборудования. В результате это привело к противоречивым требованиям по точности и стоимости. Как результат возникла новая технология в области навигации крылатых ракет основанная на системе определения местоположения ракеты путем сопоставления радиолокационного отображения местности с эталонной картографической программой. Данная технология поступила на вооружение крылатых ракет США в 1970-е годы и советских ракет в 1980-е. Технология TERCOM (система цифровой корреляции с рельефом местности блока наведения крылатой ракеты) была использована, как и система астронавигации, для обнуления совокупных инерциальных системных ошибок.

Крылатая ракета «Комета»

Технология TERCOM относительно проста по замыслу, хотя и сложна в деталях. Крылатая ракета непрерывно измеряет высоту местности под траекторией своего полета, используя для этого радиолокационный высотомер, и сравнивает результаты этих измерений с показаниями барометрического высотомера. Навигационная система TERCOM также хранит в себе цифровые карты высот местности, над которой ей предстоит лететь. Затем с помощью компьютерной программы профиль местности, над которым пролетает ракета, сравнивается с сохраненной в памяти цифровой картой высот с целью определить наилучшее их соответствие. Как только профиль согласован с базой данных, можно с большой точностью определить положение ракеты на цифровой карте, что используется для исправления совокупных ошибок инерциальной системы.

TERCOM обладала преимуществом перед астронавигационными системами: она позволяла крылатым ракетам осуществлять полет на предельно низкой высоте необходимой для преодоления ПВО противника, она оказалась относительно дешевой в производстве и очень точной (до десятка метров). Это более чем достаточно для 220 килотонной ядерной боеголовки и достаточно для 500 килограммовой конвенциональной боеголовки применяемой против множества типов целей. И всё же TERCOM не была лишена недостатков. Ракета которая должна была пролететь над уникальной холмистой местностью, легко сравнимой с профилем высоты цифровых карт, обладала превосходной точностью. Однако TERCOM оказалась неэффективна над водной поверхностью, над сезонно изменяемой местностью, такой как песчаные дюны и местностью с различной сезонной отражательной способностью радара, такой как степь, тундра и тайга, где снегопады могут изменить высоту местности или скрыть её особенности. Ограниченная емкость электронной памяти ракет часто затрудняла хранение достаточного количества картографических данных.

Крылатая ракета «Boeing AGM-86 CALCM»

Будучи достаточной для оснащенных ядерными боеголовками КР Томагавк RGM-109A ВМФ и AGM-86 ALCM ВВС, TERCOM была явно не достаточной для уничтожения обычной боеголовкой отдельных зданий или сооружений. В связи с этим ВМС США оснастили TERCOM крылатых ракет Томагавк RGM-109C/D дополнительной системой основанной на так называемой технологии корреляции отображения объекта с его эталонным цифровым образом. Эта технология была использована в 1980-е годы на баллистических ракетах Першинг II, советских КАБ-500/1500Кр и американских высокоточных бомбах DAMASK/JDAM, а также на последних китайских управляемых противокорабельных ракетных комплексах, предназначенных для борьбы с авианосцами.

При корреляции отображения объекта используется камера для фиксации местности перед ракетой, а затем информация с камеры сравнивается с цифровым изображением полученным с помощью спутников или воздушной разведки и хранящейся в памяти ракеты.

Измеряя угол поворота и смещение, необходимые для точного совпадения двух изображений, прибор способен очень точно определить ошибку местоположения ракеты и использовать её для коррекции ошибок инерциальной и TERCOM навигационных систем. Блок цифровой корреляции системы наведения крылатых ракет DSMAC используемый на нескольких блоках КР Томагавк были действительно точными, но обладал побочными оперативными эффектами похожими на TERCOM, которую необходимо было программировать на полет ракеты над заданной местностью, особенно в непосредственной близости от цели.

В 1991г. во время операции Буря в пустыне, это привело к тому, что ряд шоссежных развязок в Багдаде были использованы в качестве таких привязок, что в свою очередь позволило войскам противовоздушной обороны Саддама расположить там зенитные батареи и сбить несколько Томагавков. Также как и TERCOM блок цифровой корреляции системы наведения крылатых ракет чувствителен к сезонным изменениям контраста местности. Томагавки, оснащенные DSMAC, также несли лампы-вспышки для освещения местности в ночное время.

В 1980-е годы в американские крылатые ракеты были интегрированы первые приемники GPS. Технология GPS была привлекательна, поскольку она позволяла ракете постоянно исправлять свои инерциальные ошибки независимо от рельефа местности и погодных условий, а также она действовала одинаково как над водой, так и над землей.

Эти преимущества сопровождались слабой помехозащищенностью GPS, так как сигнал GPS изначально слабый, восприимчивый к эффекту "повторного изображения" (когда сигнал GPS отражается от рельефа местности или зданий) и изменению точности в зависимости от количества принимаемых спутников и тому, как они распределены по орбитам. Все крылатые ракеты США на сегодняшний день оснащены приемниками GPS и пакетом инерциальной системы наведения, причем в конце 1980-х и начале 1990-х годов технологию механической инерциальной системы заменили более дешевой и более точной инерциальной навигационной системой на кольцевых лазерных гироскопах.

Крылатая ракета «AGM-158 JASSM»

Проблемы, связанные с точностью GPS, постепенно решаются путем введения широкодиапазонных методов GPS (Wide Area Differential GPS), при которых действительные коррекционные сигналы для данного географического положения, транслируются на приемник GPS по радиоканалу (в случае американских ракет используется WAGE -Wide Area GPS Enhancement). Основными источниками сигналов этой системы являются радионавигационные маяки и спутники на геостационарной орбите. Наиболее точные технологии подобного рода, разработанные в США в 1990-е годы, способны исправить ошибки GPS до нескольких дюймов в трех измерениях и являются достаточно точными, чтобы попасть ракетой даже в открытый люк бронемашины.

Проблемы с помехоустойчивостью и "повторным изображением" оказались сложно решаемыми. Они привели к внедрению технологии так называемых "умных" антенн, как правило, основанных на "цифровом формировании луча". Технология сложна в реализации.

Обычная антенна GPS принимает сигналы со всей верхней полусферы над ракетой, таким образом, включая спутники GPS, а также вражеские помехи. Так называемая антенна с управляемой диаграммой направленности (Controlled Reception Pattern Antenna, CRPA) при помощи программного обеспечения синтезирует узкие пучки, направленные к предполагаемому месторасположению спутников GPS, в результате чего антенна оказывается нечувствительна во всех других направлениях. Более совершенные конструкции антенн этого типа производят так называемые "нули" в диаграмме направленности антенны направленные на источники помех для ослабления их влияния.

Крылатая ракета «Томагавк»

Большая часть проблем, проявившихся в начале производства крылатых ракет AGM-158 JASSM, были результатом проблем с программным обеспечением приемника GPS, в результате которых ракета теряла спутники GPS и сбивалась с траектории.

Продвинутые приемники GPS обеспечивают высокий уровень точности и надежную помехоустойчивость к расположенным на земной поверхности источникам помех GPS. Они менее эффективны против сложных источников помех для систем GPS развернутых на спутниках, беспилотных летательных аппаратах или аэростатах.

Последнее поколение американских крылатых ракет использует GPS-инерциальную систему наведения, дополняет ее установленной в носовой части ракеты цифровой тепловизионной камерой, преследующей цель обеспечить возможности подобные DSMAC против неподвижных целей с соответствующим программным обеспечением и возможностью автоматического опознавания образов и против подвижных целей, таких как зенитно-ракетные системы или ракетные пусковые установки. Линии передачи данных, как правило, происходят от технологии JTIDS/Link-16, внедряемой для обеспечения возможности перенацеливания оружия в случае, когда подвижная цель изменила своё местоположение в время нахождения ракеты на марше. Использование этой функции главным образом зависит от пользователей обладающих разведкой и возможностями выявления таких перемещений цели.

Долгосрочные тенденции в развитии навигации крылатых ракет приведут к их большей интеллектуальности, большей автономности, большему разнообразию в сенсорах, повышенной надежности и снижению стоимости.

Системы наведения тактических крылатых ракет

Основной идеей всех крылатых ракет является то, что это оружие может быть запущено в цель вне пределов досягаемости систем противовоздушной и противоракетной обороны противника с целью не подвергать стартовую платформу ответной атаке.

В таблице 1 для сравнения приведены крылатые ракеты с разными системами наведения, а также их основные тактико-технические характеристики (ТТХ).

Таблица 1. ТТХ крылатых ракет

Название	Х-22 «Буря»	P-27 (AA-10 Alamo)	КСР – 5П
Тип	КР	КР класса «Воздух-воздух»	КР воздушного базирования
Статус	Состоит на вооружении	Состоит на вооружении	Снята с вооружения
Разработчик	А.Я.Березняк (СССР)	КБ «Вымпел» (СССР, Россия)	А.Я. Березняк (СССР)
Принятие на вооружение	1971 год	1990 год	1969 год
Система наведения	Активная и пассивная	Полуактивная	Пассивная
Тактико-технические характеристики			
Длина	11,6 м	4 м	10,6 м
Диаметр	0,9 м	0,23 м	0,92
Размах крыла	3,35 м	0,97 м	2,6 м
Масса	5635 - 5780 кг	253 кг	3952 кг
Скорость полета	M=3,5 - 4,6	M=4,5	M=3,0
Дальность стрельбы	140 - 300 км	58 км	300-700 км
Высота полета	25 км	25 км	22 км
Носитель	Ту-22	Су-27, Су-33, Су-35, МиГ-29, Як-141	Ту-16КРМ

Х-22 «Буря» — сверхзвуковая крылатая противокорабельная ракета воздушного базирования большой дальности.

Ракета входит в состав авиационного ракетного комплекса К-22. Ракета разрабатывалась в двух вариантах: для поражения радиолокационно-контрастных точечных целей (т.е. отдельных кораблей) и площадных целей (авианосные ордера, конвои, наземные цели). Систему наведения К-22У разрабатывало КБ-1 ГКРЭ в трех вариантах — с автономным инерциальным вычислителем пути ПСИ, а также с активной и пассивной радиолокационными ГСН. Ракета оснащалась фугасной или специальной боевой частью (БЧ).

Аппаратура головки самонаведения отрабатывалась на летающей лаборатории Ту-16К-22 [6].

Р-27Р (Р-27Т, Р-27П) — Управляемая ракета класса «воздух-воздух» средней дальности, предназначенная для поражения воздушных целей (высокоманевренных самолетов, вертолетов и т.п.) в любое время суток, на всех ракурсах при наличии естественных и организованных помех, на фоне земной и водной поверхностей.

Р-27 предназначена для поражения целей в диапазоне высот от 20 м до 25 км с максимальным превышением (при снижении) 10 км при скорости целей до 3500 км/ч и перегрузками до 8g. Возможен пуск двух ракет по двум целям. Обеспечена готовность ГСН к применению через секунду после получения целеуказания от системы управления вооружением носителя типа МиГ-29.

Взрывательные устройства ракет выполнены на основе радиолокационных неконтактных и контактных датчиков цели.

В компоновке ракет реализован модульный принцип конструкции. Ракеты входят в состав вооружения самолетов марки МиГ, Су и др.

Подвеска ракеты на самолет-носитель, обеспечение необходимым электропитанием в совместном полете, боевой пуск и аварийный сброс осуществляется с помощью авиационного пускового устройства АПУ-470 или авиационного катапультного устройства АКУ-470 [7].

КСР-5 (Д-5) (по классификации НАТО AS-6 Kingfish) — советская сверхзвуковая крылатая ракета воздушного базирования дальнего радиуса действия авиационного ракетного комплекса К-26. Предназначена для поражения радиолокационно-контрастных морских или наземных целей (надводные корабли, мосты, плотины, электростанции) [8].

Выводы

Современные крылатые ракеты являются перспективным видом высокоточного оружия (в сочетании с корректируемыми авиабомбами, системами залпового огня и другими видами ВТО).

Системы наведения современных КР являются сложными информационными системами, в которых заложены как автономные информационные возможности, так и современные внешние информационные возможности.

Системы наведения современных КР включают в себя системы вывода КР в нужный район и систему самонаведения, а так же системы выбора объекта поражения, помехозащиты и преодоления системы ПВО.

Системы самонаведения обеспечивает большую точность наведения, чем телеуправляемая система. Однако система самонаведения имеет небольшую дальность действия, что считается существенным ее недостатком. Особенность системы самонаведения в том, что относительные ошибки в определении взаимного положения ракеты и цели уменьшаются с уменьшением расстояния между ракетой и целью.

Аналитический анализ данной работы позволяет проектировать автономные бортовые информационно-измерительные системы носителей ВТО с сенсорами различного диапазона [9-12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. <http://militaryarticle.ru/nauka-i-voennaya-bezopasnost/2008/12107-sistemy-upravlenija-i-navedenija-krylatyh-raket-i>
2. <https://topwar.ru/17195-metody-navigacii-krylatyh-raket.html>
3. <http://samonavedenie-raket.ru/obshchie-printsipy-samonavedeniya/klassifikatsiya-sistem-upravleniya>
4. Военный энциклопедический словарь (ВЭС), ВИ, 1984 г., стр. 468
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_управления_ракетой
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/X-22>
7. [https://ru.wikipedia.org/wiki/P-27_\(авиационная_ракета\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/P-27_(авиационная_ракета))
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/КСР-5>
9. В.Н.Легкий, Б.В.Галун, Киселев М.В., Толбанов О.П., Тяжев А.В., Мокеев Д.Ю. Фотоприемный стенд УФ – диапазона для измерения структуры сигнала при разработке многоспектральных оптико-электронных систем. 21-я Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. –М: ФГУП ФНПЦ НПО «Орион», 25 - 28 мая, 2010г. – с. 161-162.
10. В.Н.Легкий, Б.В.Галун, М.В.Киселев, О.П.Толбанов, Д.Ю.Мокеев, А.В.Тяжев Арсенид галлиевые ФПУ УФ-диапазона для многоспектральных оптоэлектронных систем». // «Прикладная физика». – 2, 2011г.-с.115-118.
11. Легкий В. Н., Топорков В. Д., под ред. В.Н. Легкого. Лазерные системы ближней локации. Оптоэлектронные датчики. Монография:– Новосибирск.: НГТУ, 2002. – 179 с.
12. Легкий В. Н., Галун Б. В., Санков О. В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения – Новосибирск: НГТУ, 2011. -455с.

УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НА СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА С ПОМОЩЬЮ ПРИСТАНЦИОННОГО СТВОРЧАТОГО КЛАПАНА

М.О. Гундарева

Научный руководитель: Е.Ю. Русский

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, amur.mo@ya.ru

В работе рассматривается управление воздухораспределением на станции метрополитена с помощью пристанционного створчатого клапана для уменьшения расхода электроэнергии на проветривание станций. Обсуждается функциональная схема системы управления воздухораспределением. Рассматривается критерий оптимальности управления проветриванием. Представлена потребляемая мощность станционного вентилятора в зависимости от коэффициента раскрытия створок клапана, требуемого расхода воздуха на станции, длительности времени между поездами. В работе показана возможность использования поршневого действия поездов за счет регулирования устройства створчатого типа в совокупности со станционным вентилятором для повышения расхода воздуха через станцию метрополитена. Предлагаемая система вентиляции позволяет снизить энергопотребление станционного тоннельного вентилятора.

This article considers the management of the metropolitan by means of the proximity valve to reduce the power consumption for airing stations. A functional diagram of the air distribution control system is discussed. The criterion of the optimal control of ventilation is considered. Presented power consumption, depending on the degree of opening of the valve stem, the required air flow at the station, the length of time between trains. The paper shows the possibility of using a piston type in conjunction with a station fan to increase air flow through a metro station. The proposed ventilation system can reduce the power consumption of the station tunnel fan.

Функционирование системы тоннельной вентиляции метрополитенов требует решения целого ряда актуальных и важных задач, главной из которых является обеспечение требуемых микроклиматических параметров воздушной среды в пассажирских и служебных помещениях станций. Одним из важных параметров микроклимата в подземных сооружениях метрополитена является величина объема воздуха на станции, проходящего через путевые тоннели и пассажирские помещения. Эта величина зависит от уровня пассажиропотока и изменяется в течение суток. В часы пик энергопотребление вентиляторов наиболее велико и встает вопрос об уменьшении потребляемой энергии метрополитеном [1].

Действующий в настоящее время СНиП 32–02 «Метрополитены» регламентирует подачу наружного воздуха на станции в объеме не менее 50 м³ на одного человека в часы «пик» и не менее 30 м³ на человека в остальное время суток [3].

В соответствии с этими требованиями был вычислен требуемый расход воздуха на станции «Октябрьская» (Рис.1).

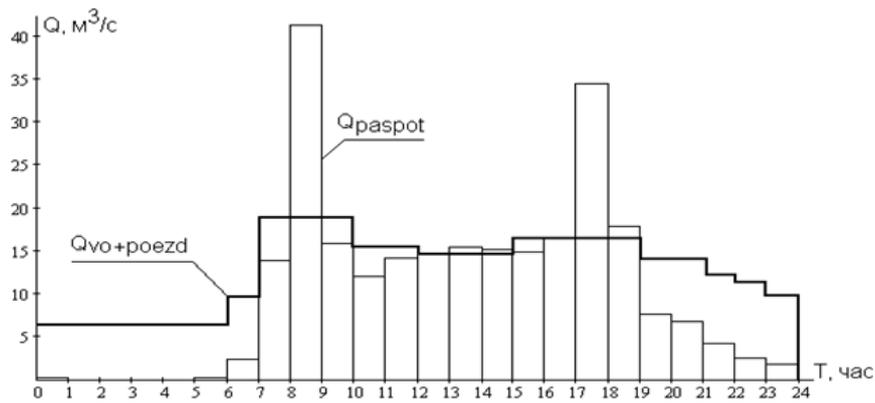


Рисунок 1 – График расхода воздуха на платформе станции «Октябрьская». Q_{paspot} – требуемый по пассажиропотоку расход воздуха; $Q_{vo+poezd}$ – расход воздуха на платформе станции, который должен быть обеспечен совместным действием станционного вентилятора и движущимися поездами

Исходя из приведенных данных необходимая величина расхода воздуха в часы «пик» с 8:00 до 9:00 и с 16:00 до 19:00 будет равна $40 \text{ м}^3/\text{с}$, в дневное время с 12:00 до 16:00 – $20 \text{ м}^3/\text{с}$.

Впервые предлагается стабилизировать заданный расход воздуха на платформе станции совместным управлением створками КВУ и частотой вращения ротора вентилятора, отслеживая поршневое действие поездов (Рис.2). Для вычисления требуемого расхода воздуха на платформе станции используется формула:

$$Q_{ПЛ} = (Q_{КВУ1} + Q_{КВУ2}) \times k_{КВУ} + Q_{ПДП1} + Q_{ПДП2} + Q_{СТВ} \times k_{СТВ} + Q_{ДОБ},$$

где $k_{КВУ}$ – коэффициент открытия створок; $Q_{ДОБ}$ – расход воздуха, приходящий на платформу вследствие естественной тяги.

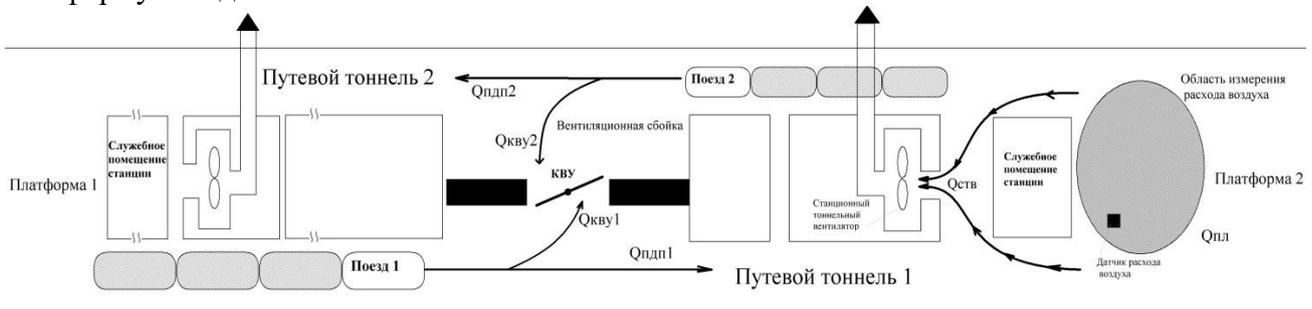


Рисунок 2 – Схема типового участка вентсети метрополитена в момент расположения поездов перед вентиляционной сбойкой: $Q_{ПДП}$ – расход воздуха, вызванный поршневым действием поезда, $Q_{КВУ}$ – расход воздуха через клапан КВУ, $Q_{ПЛ}$ – расход воздуха через платформенный зал станции; $Q_{СТВ}$ – расход воздуха через тоннельный вентилятор; КВУ – створчатый регулятор воздухораспределения на основе клапана вентиляционного утепленного.

Критерием оптимальности управления проветриванием была выбрана минимальная мощность станционного вентилятора:

$$N = \frac{Q_{СТВ} \times P}{\eta_B \times \eta_{ДВ}},$$

где P – давление воздуха, η_B – КПД вентилятора, $\eta_{ДВ}$ – КПД приводного электродвигателя.

Таблица 1 - Значения потребляемой мощности при разных исходных данных

Кол-во пар поездов, шт	$Q_{\text{СТВ}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$k_{\text{КВУ}}$	Дельта Т, с						Мощность нерегулируемого вентилятора, кВт
			0	50	100	150	200	250	
7	10	0	0,16	0,142	0,129	0,129	0,129	0,129	0,203
		0,5	0,159	0,139	0,123	0,122	0,122	0,122	
		1	0,159	0,139	0,122	0,12	0,12	0,121	
12	15	0	0,449	0,363	0,302	0,301	0,332	0,405	0,687
		0,5	0,433	0,321	0,233	0,229	0,274	0,377	
		1	0,43	0,317	0,222	0,217	0,262	0,37	
15	20	0	0,958	0,76	0,621	0,727	0,91	0,939	1,628
		0,5	0,886	0,57	0,331	0,523	0,794	0,828	
		1	0,871	0,539	0,271	0,472	0,765	0,812	
15	40	0	8,855	8,243	7,835	8,123	8,71	8,898	13,021
		0,5	7,566	5,863	4,65	5,586	7,157	7,555	
		1	7,222	4,916	3,23	4,586	6,595	7,01	

На рис.3-4 представлены результаты расчетов потребляемой вентилятором мощности в зависимости от времени между парами поездов.

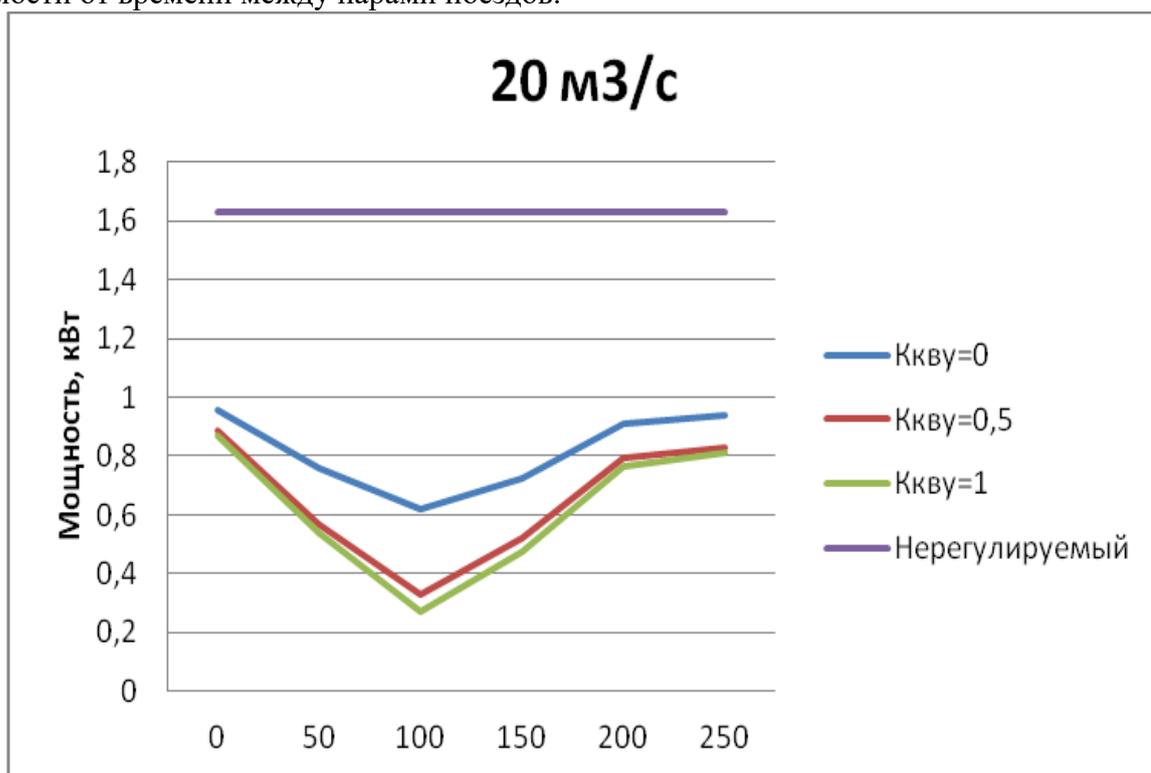


Рисунок 3 – Графики зависимостей потребляемой вентилятором мощности от времени между парами поездов

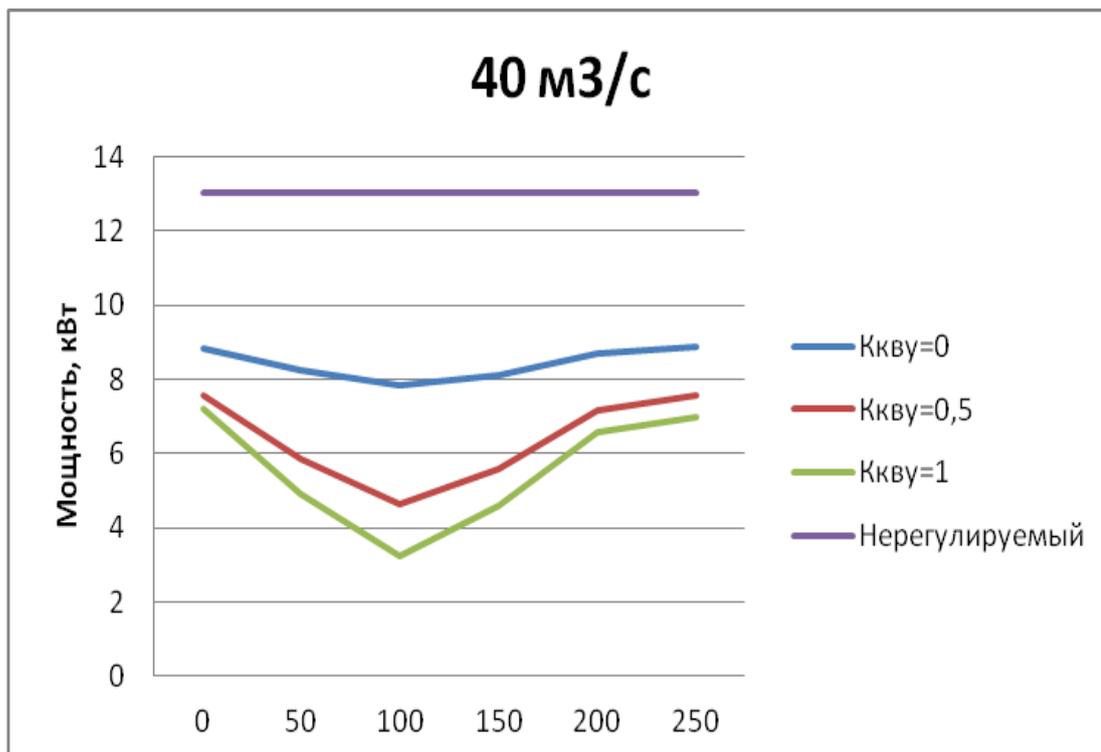


Рисунок 4 – Графики зависимостей потребляемой вентилятором мощности от времени между парами поездов

Таким образом, закрытие створок ($K_{кву}=1$) позволяет снизить производительность станционного вентилятора, тем самым уменьшая энергопотребление. При этом минимальное энергопотребление достигается в том момент, когда поезда на станцию приходят в противофазе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Красюк А.М. Тоннельная вентиляция метрополитенов / А.М. Красюк. – Новосибирск: Наука, 2006. – 164 с.
2. Зедгенизов Д.В. Система автоматического управления частотным электроприводом тоннельного вентилятора метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. М. МГГУ. – 2008. - №4. – С. 207 – 210.
3. СНиП 32-02-2003 «Метрополитены».
4. Цодиков В.Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Недра», 1975. –568 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЯМОТОЧНЫМ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

С.В. Дворецкий

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Е.Ю. Русский

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, sergei-dvoreckii@mail.ru

В статье рассмотрена система регулирования прямоточного воздушно-реактивного двигателя, его функциональная и структурная схемы работы. Для объекта управления с целью минимизации времени переходного процесса, рассчитывается регулятор частотным методом синтеза. Цель данного метода состоит в применении аппарата ЛАЧХ для нахождения структуры и параметров корректирующего звена, обеспечивающих формирование требуемых показателей качества переходных процессов в замкнутой системе. В результате синтеза алгоритмов автоматического управления прямоточным воздушно-реактивным двигателем получена новая передаточная функция регулятора с учетом введения корректирующего звена.

The article considers the system for regulating a ramjet air-jet engine, its functional and structural scheme of operation. For the control object in order to minimize the time of the transient process, the regulator is calculated by the frequency synthesis method. The purpose of this method is to use the LACHH device to find the structure and parameters of the correcting link that ensure the formation of the required quality indicators of transients in a closed system. As a result of the synthesis of algorithms for automatic control of a straight-flow air-driven engine, a new transfer function of the regulator was obtained, taking into account the introduction of the correcting link.

Прямоточный воздушно-реактивный двигатель применяется на бесплотных, боевых, крылатых ракетах одноразового применения, летающих в диапазоне скоростей 2160-5400 км/ч. Благодаря своей простоте, дешевизне и надежности он предпочтителен. Так же прямоточный воздушно-реактивный двигатель используется в летающих минометах. Недостаток: неработоспособен при низких скоростях полета, тем более при нулевой скорости. Не используется на пилотируемых самолетах.

Двигатель летательного аппарата и регулятор образует замкнутую систему автоматического регулирования (рисунок 1).

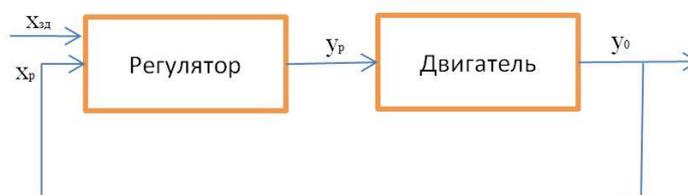


Рисунок 1. Блок схема системы автоматического регулирования.

При исследовании процессов регулирования в двигатели его динамические свойства описываются системой дифференциальных уравнений или передаточной функцией. Регулятор характеризуется передаточной функцией или уравнением, учитывающие динамические параметры элементов регулятора. В регуляторах силовых установок летательных аппаратов широко применяются стабилизирующие и корректирующие устройства. Стабилизирующие элементы регуляторов обычно обеспечивают регулирование по производным и компенсацию динамических погрешностей чувствительных элементов [1].

Прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД) как объект регулирования: ПВРД относится к типу двигателей прямой реакции, в которых тяга создается исключительно за счет реактивной струи, истекающей из сопла. В ПВРД нет компрессора, и увеличение давления воздуха достигается в результате скоростного напора при полете летательного аппарата. ПВРД широко применяется как маршевый двигатель в крылатых ракетах, а также в летательных аппаратах большой дальности. Рабочий процесс ПВРД зависит от числа полета. Чтобы изменить скорость и соответственно число полета, необходимо изменить подачу топлива (G_T) в двигатель. Регулирование ПВРД можно осуществить воздействием на расход топлива, а также изменением сечений диффузора и реактивного сопла. Регулятор температуры ПВРД дозирует расход топлива в зависимости от числа M . По принципу действия это незамкнутый регулятор [1].

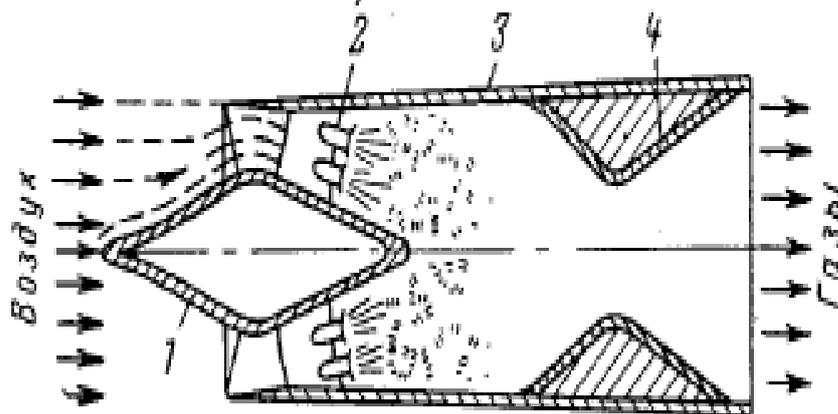


Рисунок 2. ПВРД как объект регулирования: 1- игла воздухозаборника, 2-форсунки, 3-камера сгорания, 4- реактивное сопло.

Передаточная функция ПВРД имеет вид: $W_{MG_T} = \frac{k_T}{T_p s + 1}$. Для реальных ПВРД $k_T = 20$, $T_p = 1$ с. Также учитывая внутреннюю динамику двигателя вводится апериодическое звено с малыми значениями k и T ($k=1$, $T= 0,1$ с.). С учетом этих параметров исследуемая структурная схема ПВРД имеет вид (рисунок 3).

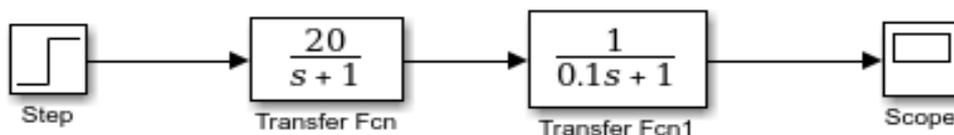


Рисунок 3. Структурная схема для синтеза системы управления ПВРД.

Представив передаточную функцию в виде системы дифференциальных уравнений, получили структурную схему объекта управления без регулятора. Выполнив моделирование объекта управления (рисунок 4) выяснили, что время переходного процесса в системе составляет 3 секунды.

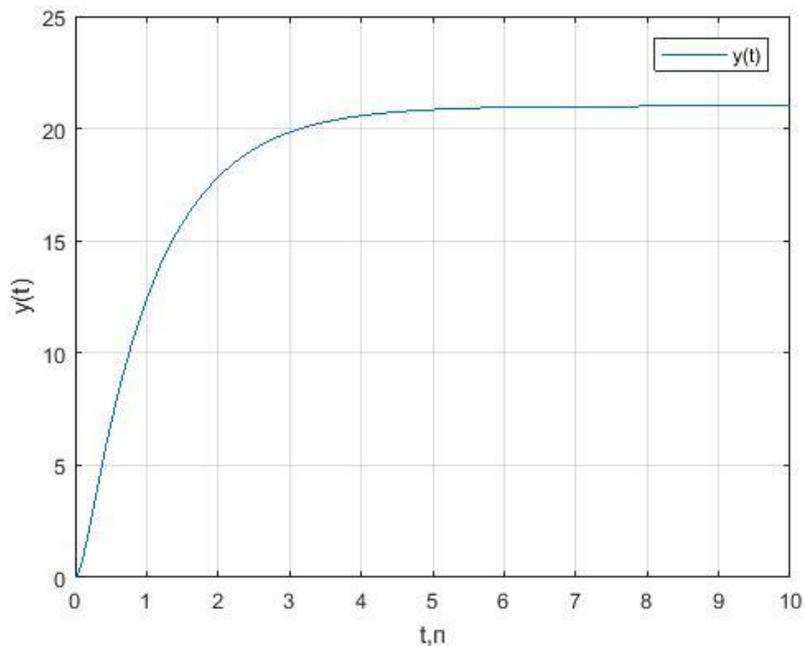


Рисунок 4. Результат моделирования системы без регулятора.

С целью минимизации времени переходного процесса произведем расчет корректирующего звена частотным методом синтеза. Зададим желаемые показатели качества переходных процессов для данного метода:

$\sigma = 20\%$ – перерегулирование выходной величины; $t_n = 1$ сек – время переходного процесса; $e_0 = 1\%$ – ошибка в установившемся режиме.

Выполнив процедуру частотного метода синтеза, находим ЛАЧХ нормированного корректирующего звена (рисунок 5). По виду ЛАЧХ находим нормированную передаточную функцию корректирующего звена [2].

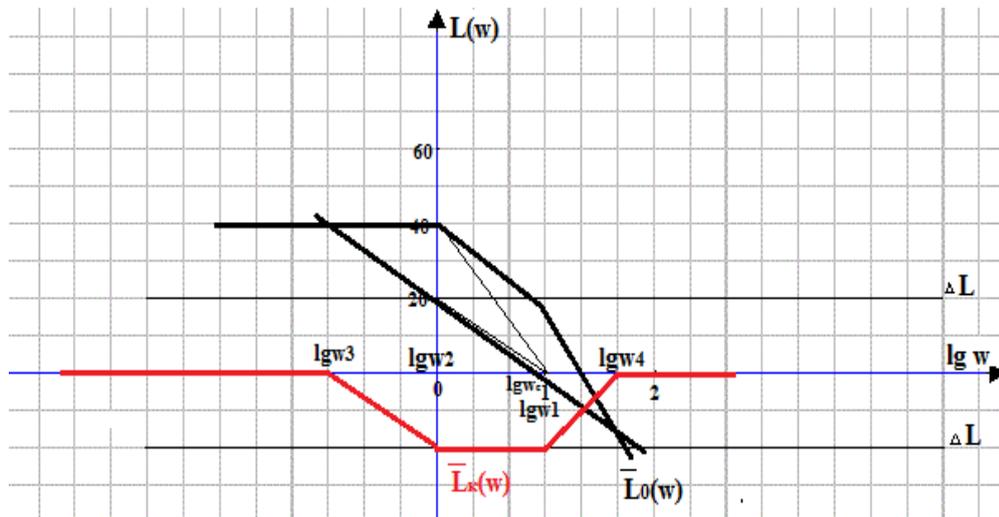


Рисунок 5. ЛАЧХ корректирующего звена.

$$\bar{W}_k(\omega) = k_k \frac{(T_2 p + 1)(T_4 p + 1)}{(T_3 p + 1)(T_1 p + 1)} = 5 \frac{(p + 1)(0,016p + 1)}{(10p + 1)(0,1p + 1)} = \frac{0,08p^2 + 5,08p + 5}{5p^2 + 50,5p + 5}$$

Далее выполняем переход от передаточной функции корректирующего звена к структурной схеме для его практической реализации.

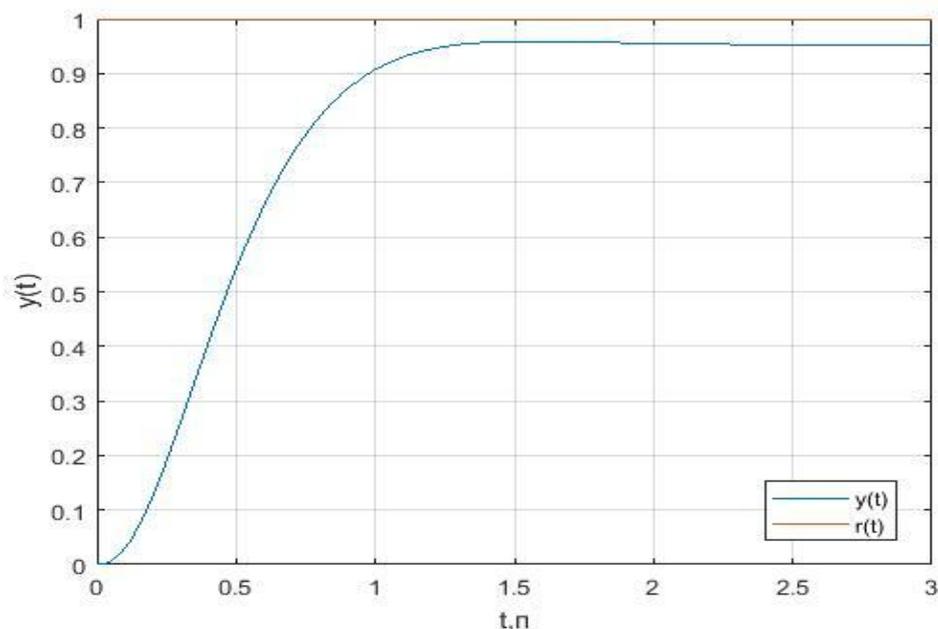


Рисунок 6. Результат моделирования системы, рассчитанной частотным методом синтеза.

Из результатов моделирования видно, что время переходного процесса в системе благодаря введению корректирующего звена составляет 1,3 секунды. По полученным параметрам корректирующего звена его можно реализовать как четырехполюсник на базе RC и RL элементов.

Таким образом, при расчете корректирующего звена частотным методом синтеза, удалось получить регулятор, снижающий время переходного процесса с 3 секунд до 1,3 секунды. Алгоритм управления, полученный на основе синтеза ПВРД, позволяет регулировать расход топлива в двигатели в зависимости от числа полетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Добронравов О.Е., Кириленко Ю.И. Основы автоматического регулирования, автоматы и системы управления летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1965. – 450 с.
2. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования. – М.: Высшая школа, 2003. – 364 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Добрынченко Валентина Васильевна, магистрант;
Легкий Владимир Николаевич, доктор техн. наук, зав. каф. АИУС;
Гибин Игорь Сергеевич доктор техн. наук, профессор каф. ОИТ

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, nomer47@mail.ru

Оптико-электронные системы, предназначенные для обнаружения и контроля за объектами, работают в видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах длин волн, которые чувствительны к влиянию фонового (рассеянного) излучения, что приводит к снижению обнаружительных характеристик оптоэлектронных систем в дневное время суток. Работа оптико-электронной системы в УФ диапазоне длин волн позволяет ослабить влияния солнечного фонового излучения. Проведены экспериментальные исследования линеек УФ диапазона на основе арсенида галлия, компенсированного примесями с глубокими уровнями, которые обладают высокой чувствительностью в данном диапазоне спектра.

Результаты исследования УФ фотоприемников, в том числе многоэлементных, показывают возможность практической реализации локационных систем УФ диапазона.

At present, optoelectronic systems designed for the detection and remote observation of objects operate in the visible, near and middle IR wavelengths that are sensitive to the influence of background radiation, which results in limiting the operation of these systems during the daytime. The operation of the optoelectronic system in the UV range of wavelengths would eliminate the interference created by solar radiation, which would allow the system to work at any time of the day. A small wavelength range: $0.2 \div 0.4 \mu\text{m}$, allows to obtain a small value of the radiation attenuation coefficient. In order to assess the possibility of applying UV radiation in the optical location, materials were collected and analyzed, which showed that this possibility is promising, in view of the advantages of UV radiation over others. However, the subject of this work has been little studied and requires more careful study.

Введение

Излучение оптического диапазона (УФ, видимый и ИК) проходит через атмосферу и может использоваться в оптических локационных системах. Для эксплуатации оптоэлектронных систем в любое время суток представляет интерес УФ диапазон длин волн. Исходя из этого, возникли следующие задачи, последовательное решение которых должно помочь определить целесообразность использования УФ диапазона в системах локации и видения:

1. Изучить исследования влияния озонового слоя Земли на УФ излучение.
2. Рассмотреть распространения в слоях земной атмосферы.
3. Оценить дальность зондирования в УФ диапазоне (при наличии материалов).

Теория

Ультрафиолетовое излучение – это электромагнитное излучение в пределах длин волн от 1 до 400 нм. Область УФ спектра условно делят на ближнюю (200 – 400 нм) и вакуумную (1 – 200 нм) области. Практический интерес представляет ближняя область. Это обусловлено тем, что излучения с длиной волны более 200 нм легче проходят через некоторые газы (и пары), присутствующие в земной атмосфере, а именно: CO_2 , H_2O , O_2 , O_3 [1]. Это можно отметить исходя из рис. 1.

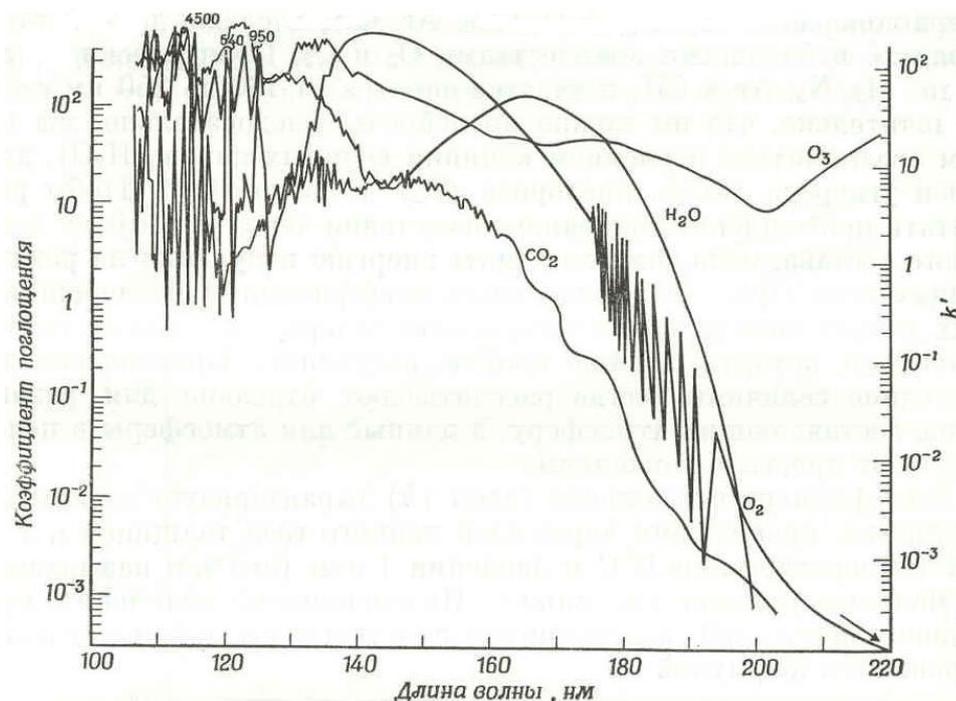


Рис. 1. Коэффициенты поглощения для четырех атмосферных газов, играющих важную роль в поглощении солнечного ультрафиолета с длиной волны от 100 до 220 нм [2].

Озон распределен в атмосфере необычным образом. Он образуется в верхних слоях атмосферы из кислорода, подвергающегося действию солнечного излучения. Оно разбивает молекулы кислорода на более активные отдельные атомы, часть которых соединяется в трехатомные молекулы озона. Конвекционные токи атмосферы несут этот газ вниз. Но экспоненциальное распределение озона не может установиться, так как озон, едва достигнув поверхности Земли, реагирует с минералами и органическими веществами, окисляя их. Окислительный потенциал озона намного выше, чем у кислорода, и он практически мгновенно исчезает с поверхности Земли.

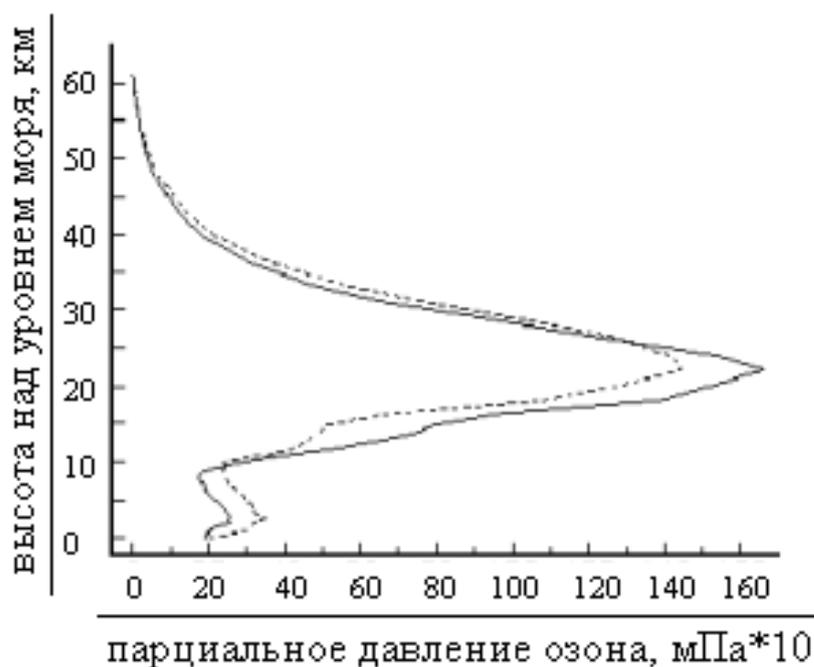


Рис. 2. Высотное распределение атмосферного озона.

Рис. 2 показывает, как распределяется атмосферный озон в зависимости от высоты над уровнем моря [3]. Отсюда видно, что в тропосфере, где работают лазерные системы локации и видения, до высот, приблизительно равных 10 км, концентрация атмосферного озона мала [4]. В стратосфере же его содержание резко увеличивается. Таким образом, применение УФ излучения на высоте до 10 км не будет терпеть сильного влияния от озона.

В работе [5] проводились расчеты для горизонтальной трассы зондирования при метеорологической дальности видимости 10 км, безоблачной атмосфере и зенитном угле Солнца 45°. Энергия в импульсе для всех лазеров была задана одинаковой – 10 мДж, длительность импульса – 10 нс. Угол расходимости излучения лазерного локатора и поле зрения приемной оптической системы также были одинаковы и были, соответственно, равны 1 мрад и 2 мрад. Отношением сигнал/шум = 10. Альбедо поверхности ламбертовского отражателя = 0,1. Данные занесены в таблицу 1.

Таблица 1. Предельные дальности зондирования.

λ , мкм	0,266	0,308	0,355	0,532
Предельная дальность зондирования, м	2510	3310	3380	5690

Из результатов видно, что максимальной дальности обнаружения в УФ диапазоне можно достичь при длинах волн 0,308 – 0,355 мкм. Эти результаты, конечно, хуже, чем при зондировании в видимом диапазоне излучения, однако, их можно увеличить, изменив параметры передающего и приемного каналов лазерного локатора.

Создан научно-технологический задел для разработки многоэлементных УФ приемников на основе GaAs. [6,7].

Проведены экспериментальные исследования линеек УФ диапазона на основе арсенида галлия, компенсированного примесями с глубокими уровнями, которые обладают высокой чувствительностью в данном диапазоне спектра. Результаты показывают, что в спектральном диапазоне (200 – 400) нм структуры на основе арсенида галлия, компенсированного хромом, обладают токовой чувствительностью до 0,1А/Вт, пороговой чувствительностью – не хуже 10^{-14} Вт/Гц^{0,5}. [8,9]

Может быть создан функциональный ряд фотоприемных модулей УФ-диапазона линейчатого и матричного типов: (128*1, 256*1, 128*2, 256*2, 512*2, 8*8, 4*16) с размерами чувствительного элемента 50-120мкм для многоспектральных систем.

Выводы

Теоретический анализ показал, что применение УФ диапазона длин волн в оптической локации является перспективным и требует дальнейшего изучения, а также проведения более подробных расчетов и практических исследований.

Результаты исследования принципов построения и технологии изготовления УФ фотоприемников, в том числе многоэлементных, доказывают возможность практической реализации локационных систем УФ диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мосин О. В. Поглощение солнечного излучения атмосферой и гидросферой Земли и происхождение жизни
2. Berkner L. V., Marshall L. C., On the origin and rise of oxygen concentration in the earth's atmosphere, J. Atmospheric Sci., 22, 225-261 (1965).
3. Белов М. Л., Городничев В. А., Пашенина О. Е. Сравнительный анализ мощности входных сигналов лазерных систем локации и видения ультрафиолетового диапазона.
4. Зашакуев З. Т. Исследование прозрачности атмосферы в горных условиях в ультрафиолетовом диапазоне электромагнитных волн.
5. Городничев В.А., Пашенина О.Е., Белов М.Л., и др. Оценка дальности обнаружения систем лазерной локации УФ спектрального диапазона.
6. З. Кривченко В.А., Лопаев Д.В., Пащенко П.В. и др. // ЖТФ. 2008. Т.78. №8. С. 107.
7. Айзенштат Г.И., Вилисова М.Д., Другова Е.П. и др. // ЖТФ. 2006. Т.78. №8. С. 46.
8. В.Н.Легкий, Б.В.Галун, Киселев М.В., Толбанов О.П., Тяжев А.В., Мокеев Д.Ю. Фотоприемный стенд УФ – диапазона для измерения структуры сигнала при разработке многоспектральных оптико-электронных систем. 21-я Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. –М: ФГУП ФНПЦ НПО «Орион», 25 - 28 мая, 2010г. – с. 161-162.
9. В.Н.Легкий, Б.В.Галун, М.В.Киселев, О.П.Толбанов, Д.Ю.Мокеев, А.В.Тяжев Арсенид галлиевые ФПУ УФ-диапазона для многоспектральных оптоэлектронных систем». // «Прикладная физика». – 2, 2011г.-с.115-118.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ В ОТНОШЕНИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Евтушенко Семен Викторович

Научный руководитель: доктор техн. наук, зав. каф. АИУС.Н. Легкий

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, evtyshenkosemen@mail.ru

В системах управления, работа которых связана с движением небесных тел, часто требуется наличие автоматической ориентации оборудования по отношению к последним. Упрощенные алгоритмы ориентации имеют ряд недостатков, из-за наличия которых ставится под вопрос целесообразность их применения.

Причиной разработки устройства и программного обеспечения, описанного далее, стала высокая цена, ограниченная функциональность и непригодность для модифицирования аналогичных систем.

In control systems, which work is related to the motion of celestial bodies, it's often necessary to have an automatic orientation of the equipment. Primitive orientation algorithms have series of disadvantages, therefore expediency of application of these algorithms is questioned due to this disadvantages. High price, limited functionality and unsuitability for modification of similar control systems are the reasons to develop the device and it's software which will be described below.

Система контроля аэродинамических и космических объектов позволяет выдерживать заданный угол ориентации оборудования по отношению к небесному телу. Принцип действия системы заключается в просчете орбиты тела, определении углов элевации (вертикального отклонения) и азимута направления на него. Углы передаются на микроконтроллер, установленный на борту опорно-поворотного устройства. Микроконтроллер управляет шаговыми двигателями опорно-поворотного устройства и таким образом контролирует правильность установки ориентации оборудования.

Программа Orbitron (Рис. 1) [1] позволяет рассчитать углы направления на Луну, Солнце, а также любой объект для которого имеются данные об орбите или траектории в формате TLE [2]. Orbitron содержит функционал, позволяющий:

1. Загружать свежие элементы TLE из общедоступной базы объектов NORAD [3]
2. Вести выбранный объект
3. Определять величину доплеровского сдвига частоты
4. Транслировать рассчитанные данные во внешнюю программу (в нашем случае – в программу контроля поворотного устройства, используя метод DDE [4])

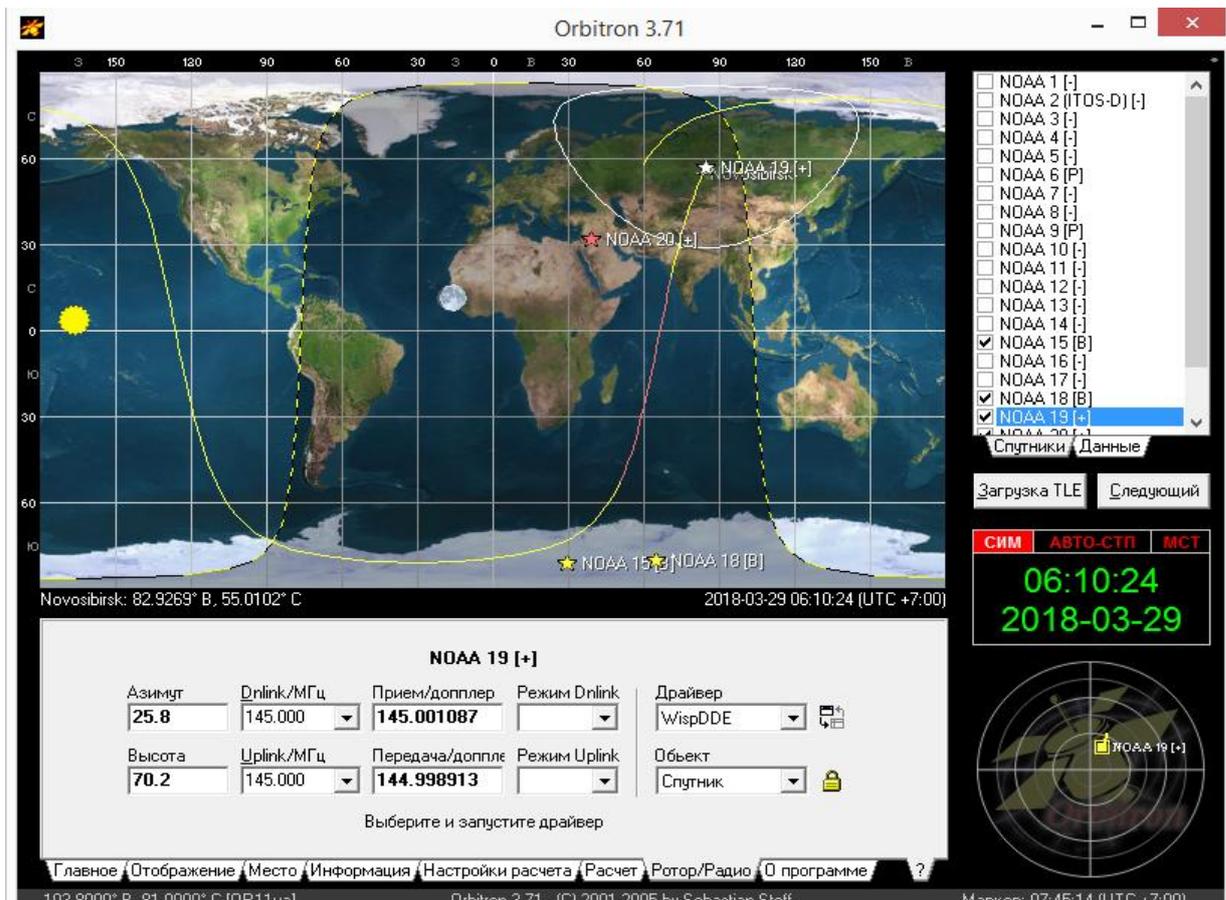


Рис. 1. Программа Orbitron

Программа управления поворотным устройством (Рис. 2) осуществляет управление контроллером поворотного устройства – отдает управляющие команды на установку углов, произвольный поворот антенны и аварийную остановку ее вращения. От контроллера в программу передаются отчеты о выполнении команд, данные о текущем положении антенны и состоянии системы.

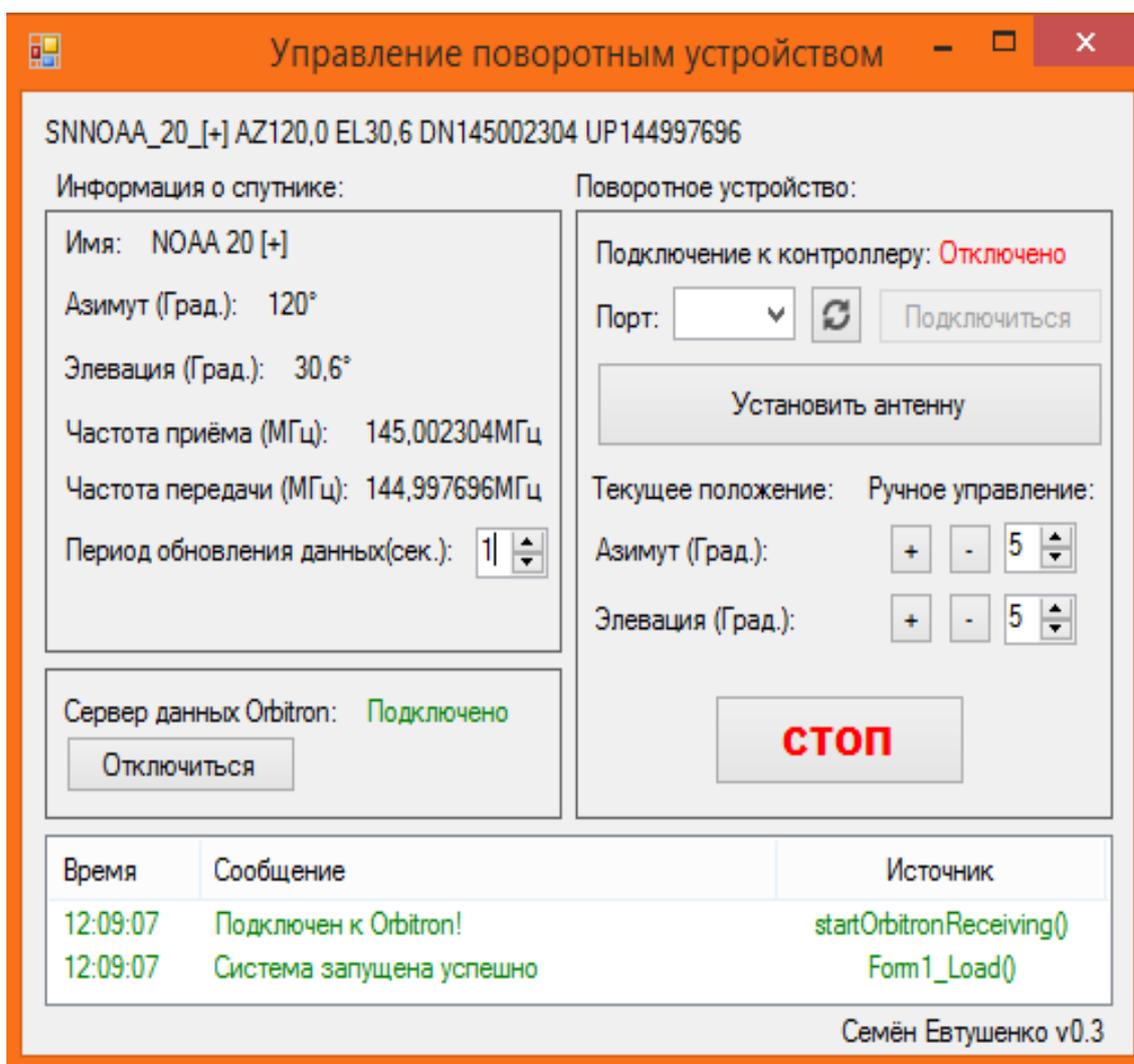


Рис. 2. Программа управления опорно-поворотным устройством

Основной частью опорно-поворотного устройства является система редукторов с двумя степенями свободы, приводимая в движение шаговыми двигателями. На неподвижной раме закреплена основная плата (Рис.3), с основным микроконтроллером (ATmega8a), контроллерами драйверов двигателей (ATtiny13), силовыми ключами (L293D) и магнитным компасом. На рис. 4 изображена принципиальная электрическая схема контроллера поворотного устройства.

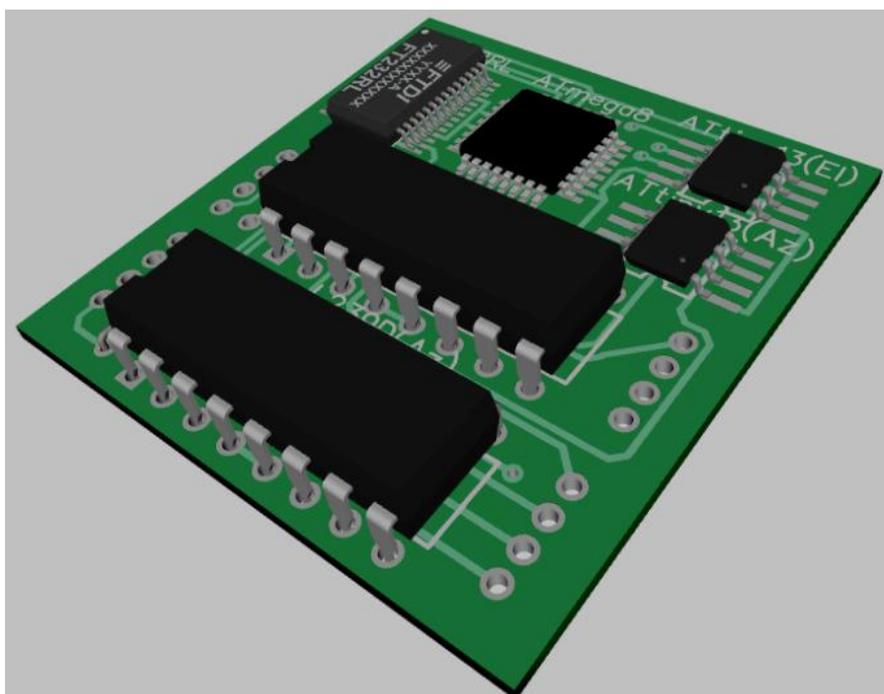


Рис. 3. 3D модель печатной платы контроллера поворотного устройства

В качестве оборудования, размещаемого на поворотном устройстве, могут выступать: приемопередающая антенна, солнечная батарея, телескоп, научное оборудование.

Антенна закрепляется на опорно-поворотном устройстве с учётом диаграммы направленности. В программу Orbitron заносятся TLE данные орбиты объекта, с которым планируется радиообмен. Таким образом, достигается максимальная мощность приема/передачи сигнала.

При использовании датчиков освещенности для позиционирования солнечных батарей, перекрытие облаком или другим объектом солнца, вызывает поворот батарей перпендикулярно максимуму освещенности, а затем – обратно. В таком случае энергетически не выгодно использовать поворотное устройство вообще. Солнечная батарея, приводимая в действие данной системой контроля, остаётся строго перпендикулярной солнцу в любой момент времени, независимо от положения облаков и находящихся рядом объектов.

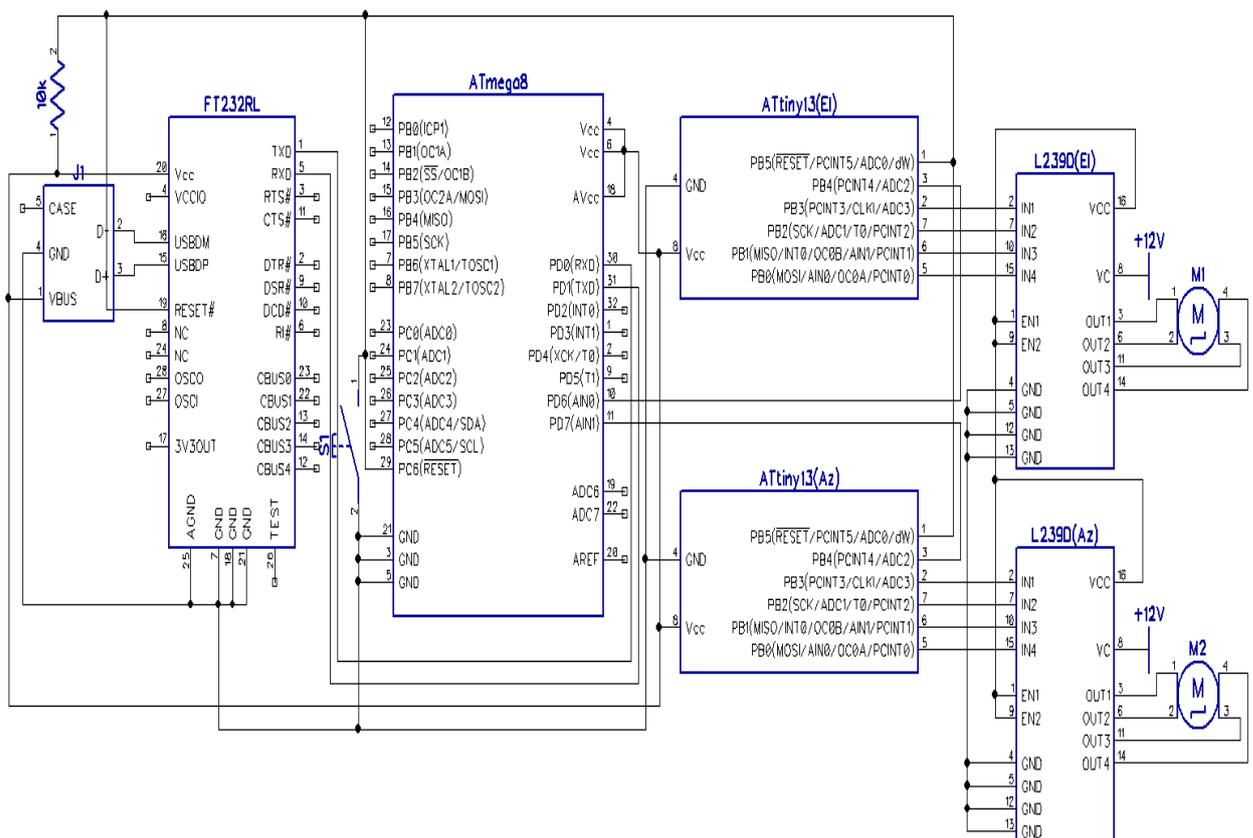


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема контроллера поворотного устройства

Позиционирование телескопа предложенным методом позволяет: автоматически наводить его на интересующий объект; сопровождать объект во время нахождения на траектории, при этом исключаются неточности человеческого фактора; быстро переключаться между объектами наблюдения в меню «Спутники» программы Orbitron.

Вывод:

Описанная система позволяет осуществлять наведение различного оборудования на космические и аэродинамические объекты. При этом система значительно дешевле и функциональнее аналогов. Основной вариант системы можно дорабатывать по мере необходимости, внося изменения в конструкцию и исходные коды программ. Система может быть востребована силовыми структурами, предприятиями навигации и связи, астрономами и учеными разных направлений деятельности, радиолюбителями,

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Satellite Tracking System: Orbitron by Sebastian Stoff [Электронный ресурс]. URL: <http://www.stoff.pl/> (дата обращения: 6.04.2018).
2. NORAD Two-Line Element Set Format [Электронный ресурс]. URL: <https://www.celestrak.com/NORAD/documentation/tle-fmt.asp> (дата обращения: 6.04.2018).
3. CelesTrak: Current NORAD Two-Line Element Sets [Электронный ресурс]. URL: <https://www.celestrak.com/NORAD/elements/> (дата обращения: 6.04.2018).
4. About Dynamic Data Exchange (Windows) [Электронный ресурс]. URL: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms648774\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms648774(v=vs.85).aspx) (дата обращения: 6.04.2018).

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ ЛОКАЦИИ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Емельянов Владимир Викторович, Шмидт Отто Сергеевич
Научный руководитель: доктор техн. наук, зав. каф. АИУС В.Н. Легкий

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г.Новосибирск, guron.2013@mail.ru

Введение: В последнее время БПЛА находят все большее применение. Они используются в различных сферах, начиная от аэрофотосъемки и до корректировки артиллерийского огня. БПЛА должен быть оснащен системой датчиков, позволяющих сканировать окружающее его пространство и корректно обрабатывать полученную информацию. Для этой цели могут использоваться различные датчики, основанные на разных физических принципах: радиолокация, эхолокация, оптическая локация. Целью данного проекта является создание сканирующего лазерного дальномера с фазовым принципом действия для последующей установки на БПЛА.

Теория: Были рассмотрены два принципа сканирования пространства. Первым рассматривался ультразвуковой дальномер, способный измерять расстояние до определенных объектов и строить трехмерную карту, по которой можно судить о наличии или отсутствии препятствия по направлению движения летательного аппарата и в поперечном направлении.

На данный момент авторами создан рабочий образец, однако принцип его действия основан на ультразвуковой локации и использовать его, планируется исключительно для отработки алгоритмов уклонения летательного аппарата от препятствий. Датчик излучает УЗ сигнал частотой 40 кГц – 8 импульсов, длительностью не менее 60 мкс. После обработки принятого сигнала на Echo выставляется логическая единица. На микроконтроллере срабатывает прерывание по восходящему фронту и он уходит в вектор прерывания. После чего считывается длительность входного сигнала и вычисляется расстояние до препятствия.

Для случая не горизонтального положения датчиков предусмотрен акселерометр и гироскоп, для определения положения датчика в пространстве. Испытания показали недостаточную скорость и дальность измерения, что потребовало рассмотреть оптические методы локации. Классическим устройством для оптического сканирования является лазерный дальномер, и программно-аппаратный комплекс, способный обработать и объединить в целостную картину все полученные данные.

Лазерные дальномеры имеют несколько основных принципов действия. В полете БПЛА обладает высокой скоростью, что требует большого быстродействия датчиков.

Характеристики зондируемого объекта случайны. Он может являться практически черным или белым, иметь шероховатости и неровности, что приведет к искажению отраженного луча, и как следствие приведет к снижению точности измерений. Исходя из данных условий выбраны следующие возможные принципы действия датчиков препятствий:

1. Импульсный
2. Фазовый

Импульсный метод локации заключается в том, что система накачки формирует сверхкороткие импульсы с высокой частотой порядка нескольких МГц. Излучатель посылает эти импульсы в объект, который их отражает в направлении приемника.

При импульсном методе необходимо использовать быстродействующую элементную базу на основе полевых транзисторов, так как они имеют более высокую скорость отпирания затвора. Так же проблемы возникают и при приеме сигнала. Многие фотоэлементы не способны воспринимать столь короткие импульсы.

Фазовый метод - фазовые дальнометры – определяют расстояние за счет измерения сдвига фазы зондирующего сигнала при отражении от объекта, проанализировав этот сдвиг, можно измерить расстояние до объекта.

К плюсам данного метода можно отнести:

- 1) Высокая точность.
- 2) Отсутствие необходимости в использовании быстродействующей элементной базы.

• Существуют различные способы измерения разности фаз, как аналоговые, так и цифровые. Аналоговые значительно проще, цифровые дают большую точность. При этом цифровыми методами измерить разность фаз высокочастотных сигналов сложнее — временная задержка между сигналами измеряется наносекундами (эта задержка возникает также, как и в импульсном дальнометре).

• Для того, чтобы упростить задачу, часто используют гетеродинное преобразование сигналов — сигналы от фотоприемника и лазера по отдельности смешивают с сигналом близкой частоты, который формируется дополнительным генератором — гетеродином. Частоты модулирующего сигнала и гетеродина различаются на килоггерцы или единицы мегагерц. Из полученных сигналов при помощи ФНЧ выделяют сигналы разностной частоты. Разность фаз сигналов в таком преобразовании не изменяется. После этого разность фаз полученных низкочастотных сигналов измерить цифровыми методами значительно проще — можно оцифровать сигналы низкоскоростным АЦП, или измерить задержку между сигналами.

Предложено использовать фазовый принцип дальнометрии.

В данной системе использовался лавинный фотодиод, сигнал с которого поступал на операционный усилитель, фазовый детектор и блк обработки – управления.

Вывод: Исходя из проведенного анализа, наиболее оптимальным методом лазерной локации для БПЛА является фазовый метод. Он позволяет достаточно точно определить расстояние до объекта, не требует специализированной элементной базы и позволяет значительно повысить скорость измерения расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. В. Н. Легкий, И. Д. Миценко, Б. В. Галун. Малогабаритные генераторы накачки полупроводниковых лазеров. – Томск: Радио и связь, Томский отдел, 1990. – 216с.
2. В. Н. Легкий, В. Д. Топорков. Лазерные системы ближней локации: оптоэлектронные датчики. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2004. – 152с.
3. Легкий В. Н., Галун Б. В., Санков О. В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения – Новосибирск: НГТУ, 2011. -455с.
4. <https://geektimes.ru/post/258416/>

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В. В. Кирбижекова, И. Ю. Ермиенко
Научный руководитель: А.В. Делков

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева,
г. Красноярск, delkov-mx01@mail.ru

Рассмотрена возможность применения компьютерных методов моделирования на различных этапах проектирования современных космических аппаратов.

The possibility of application of computer methods of modeling at various design stages of modern spacecrafts is considered.

Современный космический аппарат (КА) представляет собой сложную техническую систему, включающую в себя комплекс подсистем, выполняющих определенные функции и задачи. В связи с этим процесс проектирования КА представляет собой путь компромиссных решений между разнохарактерными по решаемым задачам направлениями общего процесса проектирования при выполнении единой цели создания оптимального проекта.

Проектирование КА начинается с определения основных задач (миссии) и граничных условий функционирования (ограничений по площади, массе, габаритам). При этом необходимо также определение требований к надежности конструкции. На основании этой информации разрабатываются разнообразные схемные решения (технические предложения), для каждого из которых производится предварительная оценка характеристик, в результате которой отбираются перспективные варианты. В результате анализа технических предложений отбирается один вариант для дальнейшего проектирования и детальной проработки. При этом допускается вариантность технических решений по некоторым особо сложным вопросам. В результате проектирования создается конструкторская документация на изготовление изделия, под которой понимают в зависимости от назначения совокупность документов, содержащих данные, необходимые для разработки, изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта изделия. Цель проектирования - обеспечить производство КА с заданными свойствами при наименьшей трудоемкости изготовления [1].

Проектирование изделий КА отличается значительной долей исследований в формате научно-исследовательских работ (НИР) и опытно-конструкторских работ (ОКР) [1], положение которых в структуре процесса можно отразить в схеме на рисунке 1. НИР проводятся перед составлением аванпроекта, ОКР после него.

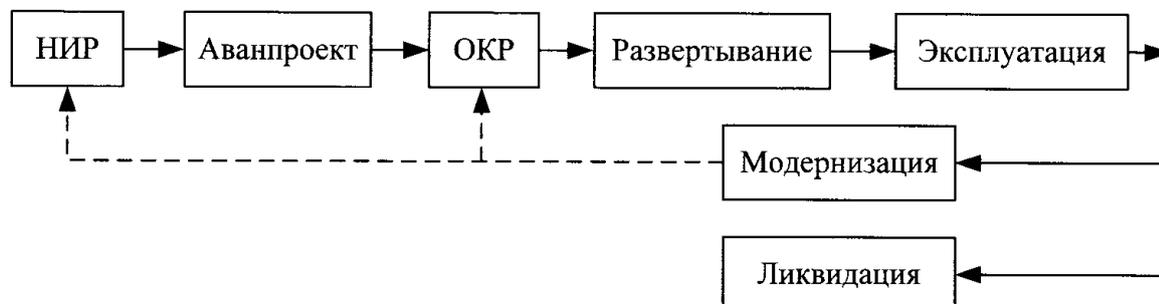


Рисунок 1 – Схема процесса проектирования [1]

Процесс проектирования КА весьма сложный, что обусловлено, во-первых, комплексным характером взаимосвязей между составными элементами КА, и во-вторых, работой в различных, в т.ч. экстремальных условиях. Вследствие этого на этапах проектирования очень много времени и сил тратится на натурные испытания [2]. Цель натурных испытаний заключается в определении работоспособности конструкции в условиях принятых конструкторских решений. В случае успешного прохождения натурных испытаний принимается решение о вводе системы в эксплуатацию [2].

С применением аппарата вычислительного моделирования становится возможным существенно сократить программу натурных испытаний, сэкономив тем самым время и средства.

Аппарат математического моделирования в данной схеме может быть использован на двух этапах – НИР и ОКР. Однако на каждом из них он выполняет различные функции. Если на этапе НИР необходимо оценить эффективность возможных схемных решений (предварительная оценка на основе анализа значительного числа решений), от которых в конечном итоге будет зависеть облик проектируемой системы, то на этапе ОКР идет доработка и оптимизация принятого схемного решения по режимно-конструктивным параметрам.

Инструменты, используемые при математическом моделировании КА на различных этапах проектирования, отличаются по уровню моделирования и глубине проработки моделей [3].

По вопросу математического моделирования технических систем, реализующих разнообразные физические процессы (теплообмен, массообмен, магнитные явления и т.д.), в настоящее время нарабатана развернутая методологическая и расчетная база [3,4]. Для анализа объектов методами математического моделирования технических систем приемлемо использование компьютерных систем и численных методов.

Компьютерные методы расчета и анализа разнообразных систем, механизмов и явлений получают все большую актуальность с развитием вычислительной техники. В прикладной стороне данного аспекта в рамках настоящей работы особо необходимо отметить два направления:

- системы CAE (computer-aided engineering), предназначенные для расчётов, анализа и симуляции физических процессов и основанные большей частью на численных методах решения дифференциальных уравнений. Среди таких систем можно назвать достаточно популярные ANSYS, STAR-CD, Femap, MSC.Nastran, OpenFOAM, SALOME;

- системы COP (component-oriented programming), предназначенные для компонентно-ориентированного моделирования сложных технологических систем. Среди них можно назвать SimulationX, Aspen HYSYS, Modelica в ее различных реализациях и т.д.

CAE в современной практике достаточно распространены и используются большей частью для анализа и исследования узкоспециализированных задач (основанных на использовании уравнений конкретной области – гидродинамики, теплопроводности и т.д.), - расчета течения в турбине, расчета температурных полей панели радиатора космического аппарата.

COP большей частью сосредоточены на моделировании системы целиком, - с учетом взаимодействия элементов между собой и с окружающей средой.

Для расчета на различных этапах проектирования КА применимы оба подхода. COP большей частью ориентирован на определение облика и параметров системы терморегулирования на начальных этапах. CAE ориентирован на доработку и оптимизацию отдельных узлов системы терморегулирования, и соответственно реализуется на этапе ОКР. Необходимо также отметить, что в чистом виде COP-программы для КА в настоящее время не получили широкого распространения.

Сложившаяся практика использования программного обеспечения для КА определяет применение специализированных пакетов для решения узконаправленных задач. Например, для расчета потоков теплового излучения от Солнца и планет, используются ESARAD (ALSTROM), TRASYS (JSC/LMSC, COSMIC). Их расчетные алгоритмы предназначены для определения коэффициентов видимости внешних поверхностей космического аппарата и их изменения в зависимости от ориентации КА относительно солнца и планет.

Распространенной практикой является использование нескольких пакетов для анализа одной системы. Среди используемых для анализа тепломассообменных процессов в космических аппаратах можно назвать SINDA/FLUINT и ESATAN-FHTS. Данные пакеты содержат элементы как COP-, так и CAE- подхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Чеботарев В.Е., Косенко В.Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения. Учебное пособие. – Красноярск: СибГАУ, 2011. – 488 с.
2. Мельников, И.В. Роль испытаний в оптимизации процесса проектирования изделий ракетно-космической техники / И.В. Мельников // Молодой ученый. – 2011. – №2. Т.1. – С. 38-41.
3. Попырин, Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1978. – 416 с.
4. Macdonald M., Badescu V. The International Handbook of Space Technology. Springer Publishing, Chichester, UK, 2014. – 731 p.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СИСТЕМЫ РАЗГОНА БОЕПРИПАСОВ ДЛЯ ГИПЕРЗВУКОВОГО ОРУЖИЯ

А.О. Леонов, К.А. Бузмаков, С.А. Литвиненко

Научный руководитель: доктор техн. наук, зав. каф. АИУС.Н. Легкий

Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, leonov.96@bk.ru

Электромагнитные системы разгона снарядов (электромагнитные разгонные блоки) относятся к системам вооружения на новых принципах действия, имеют в перспективе преимущества перед традиционными видами оружия.

An electromagnetic system of projectile acceleration is weapon systems based on new principles of action. They have got in the long term advantages over traditional weapons.

Пушка Гаусса — одна из разновидностей электромагнитного ускорителя масс [1]. Она состоит из соленоида, внутри которого находится ствол (как правило, из диэлектрика). В один из концов ствола вставляется снаряд (сделанный из ферромагнетика). При протекании электрического тока в соленоиде возникает магнитное поле, которое разгоняет снаряд, «втягивая» его внутрь соленоида. Для наибольшего эффекта импульс тока в соленоиде должен быть кратковременным и мощным. Как правило, для получения такого импульса используются электролитические конденсаторы с высоким рабочим напряжением.

Параметры ускоряющих катушек, снаряда и конденсаторов должны быть согласованы таким образом, чтобы при выстреле к моменту подлета снаряда к соленоиду индукция магнитного поля в соленоиде была максимальна, но при дальнейшем приближении снаряда резко падала.

Важным элементом пушки Гаусса являются конденсаторы, параметры которых, в сущности, и определяют ее энергетические параметры.

Зная емкость конденсатора и его максимальное напряжение можно найти энергию, которую он может накапливать: $E = CU^2/2$ [Дж] [2].

Зная энергию конденсатора можно найти ориентировочную кинетическую энергию снаряда – или попросту мощность будущего магнитного ускорителя. Как правило, КПД МУ примерно равен 1% . Однако при оптимизации гаусса его КПД можно будет поднять даже до 4-7%, что уже существенно [3].

Кинетическая энергия штатного малокалиберного снаряда (пули) находится по формуле $E = mV^2/2$ [Дж]. Снаряд весом 1кг имеет начальную энергию около 150-200 кДж. Пуля 6,8x43 весом 7,45г имеет энергию около 2,5кДж.

Отношение энергии катушек к кинетической энергии снаряда определяет КПД системы.

Упрощенная принципиальная электрическая схема системы приведена на Рис. 1. Катушка выполняется проводом 0.8 мм на пластиковой трубке диаметром 7-8мм. Всего 7 слоев длиной 40мм.

Через выпрямительный диод и резистивные цепи R1-R4 происходит заряд конденсаторов C1-C4.

При поступлении напряжения на управляющий электрод тиристора относительно анода, тиристор открывается и замыкает конденсаторы с катушкой. При протекании импульса тока через открывающийся тиристор в катушке создается магнитное поле, которое втягивает снаряд. Когда снаряд находится в середине катушки, энергия, запасенная в конденсаторах, расходуется, магнитное поле прекращается, а снаряд продолжает движение.

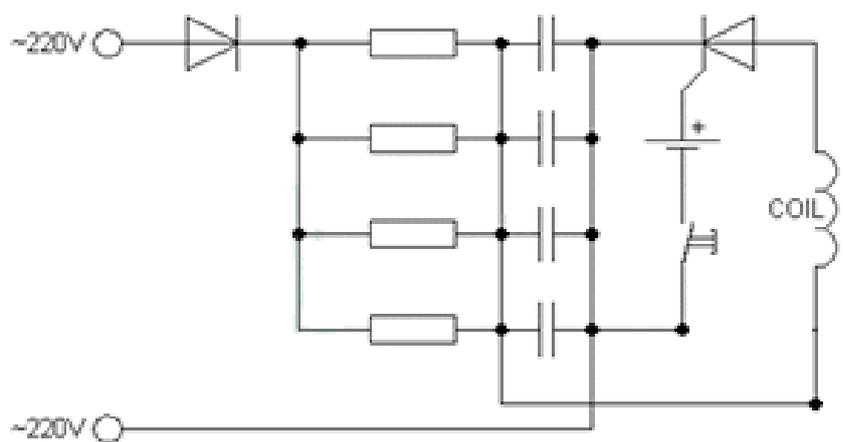


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема пушки Гаусса

При создании компактных и мощных источников питания, наряду с использованием «суперконденсаторов» [4] и импульсных ключевых элементов (тиратроны, тиристоры, мощные транзисторы) [5,12] Гаусс-пушка действительно может стать эффективным оружием.

Параметры конденсаторов и конструкция соленоида выбираются и разрабатываются для конкретного снаряда (пули).

Если для пушки требуется импульс в 25 мегаватт [6], при длительности импульса (времени разряда) $t_{\text{разр}} = 1$ мс энергия в конденсаторе емкостью 402Фх12В равна $E = 25$ кДж. С учетом формы импульса и переходных процессов в системе требованиям соответствует конденсатор 10ЭК501-14,5 (600Ф, вес 9,4 кг) [7].

Для длительности импульса, разгоняющего большую массу, $t_{\text{разр}} = 10$ мс требуется десять таких конденсаторов (вес = 94 кг).

Таким образом для $t_{\text{разр}} = 10$ мс, установить электромагнитную малокалиберную пушку, реально установить на автомобиль, танк, а крупнокалиберную – на корабль.

Более мощное электромагнитное оружие - рельсотрон - ускоритель масс, работа которого базируется на силе Лоренца. Она служит для разгона снаряда между рельсами (отсюда и название). На рельсы подается мощнейший токовый импульс. Сила разряда превышает энергию молнии более чем в сто раз. Между рельсами (электродами) тут же загорается плазменная дуга. От одного рельса к другому через плазму потечет ток. Ток вызывает возникновение мощнейшего электромагнитного поля, которое будет воздействовать на все устройство. Так как рельсы закреплены жестко, то единственным подвижным элементом системы окажется плазма, через которую, словно через обычный металлический проводник, проходит ток. Под действием силы Лоренца этот самый проводник (плазма) начнет быстро перемещаться вдоль ствола. Сгусток плазмы называют «плазменным поршнем», он как бы является аналогом порохового заряда в огнестрельном оружии. Если впереди поршня был размещен метательный снаряд, то его скорость при выходе из ствола может составить до 13–15км/с (Для справки: современные артиллерийские орудия способны разгонять снаряд максимум до 2км/с) [8]. В США предложен в качестве платформы под рельсотрон специальный корабль с силовой установкой мощностью 78 мегаватт. Прототип пушки способен вести прицельный огонь на 180 км (в перспективе увеличение до 400 км) [9]. Выстрел снарядом весом в 2–3кг для рельсотрона обойдется при этом в 20–25 тысяч долларов [6], что экономически выполнимо. Боекомплект рельсотрона безопасен при транспортировании и в служебном обращении, т.к. не содержит взрывчатых веществ и пиротехники. Рельсотрон обеспечивает энергию в 33МДж, достаточную чтобы разогнать массивный снаряд до скорости, в семь раз превышающей скорость звука [11]. Даже 3-килограммовый снаряд на такой скорости способен нанести поражающий урон крупной надводной или поверхностной цели.

Вывод

Анализ информации показал, что компактные и мощные источники электрического тока позволяют создать пушку Гаусса. Она может также применяться для запуска легких спутников на орбиту и для поражения космических аппаратов (снарядами с большим количеством мелких поражающих элементов) при базировании на орбитальных станциях и спутниках.

Системы высокоточного наведения управляемых средств поражения в ближайшее время позволят обходиться без осколочной боевой части, поражая цель механически при прямом попадании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. <https://ru.wikipedia.org>
2. Физика. 10-11 класс. Электродинамика. Мякишев Г.Я., Синяков А.З.
3. <http://gauss2k.narod.ru/calc.htm>
4. <http://www.electrosad.ru/Electronics/SuperCon.htm>
5. <http://www.texnokor.com/mne.html>
6. <https://geektimes.ru/post/246270/>
7. <http://ao-energiya.ru>
8. <http://www.shovkunenko-book.ru/arsenal/relsotron.html>
9. <http://www.innoros.ru/publications/analytics/15/plyusy-i-minusy-elektromagnitnogo-oruzhiya>
10. <https://geektimes.ru/post/246270/>
11. <http://www.dni.ru/tech/2010/12/11/204224.html>
12. <http://gauss2k.narod.ru/triggers.htm>

ШИРОКОПОЛОСНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ГЕОРАДАРНЫХ СИСТЕМ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ ЛОКАЦИИ ГУМАНИТАРНОГО РАЗМИНИРОВАНИЯ

М.А. Марков, И.В. Прокофьев, Ю.В. Назаркина
Научный руководитель: Старший преподаватель, Л.В. Шебалкова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, cj.mj12@yandex.ru

В статье рассматриваются особенности проектирования антенных систем для георадаров, их виды и параметры, определяется целесообразность применения антенных решеток в георадиолокационных системах разминирования.

Antennas and arrays for GPR demining application are described in this article, the basic array and elements requirements were defined. Radar waveform radiated from bow-tie antenna was simulated by Discontinuous Galerkin Finite Element Method (DGTD). The characteristics of antennas that are operated very close to a lossy dielectric were described.

Существующие системы обнаружения незаметных пластиковых мин, расположенных в почве, как правило, используют радиопередатчики. Принцип обнаружения этих систем связан с измерением различий в диэлектрических свойствах почвы в месте минирования. Ввиду низкой контрастности мины уровень ложных срабатываний в минных детекторах недопустимо высок при достаточном уровне обнаружения. Это относится прежде всего к отражениям радиосигналов от природных неоднородностей, присутствующих в почве и ее поверхности.

Одним из способов решения возникающих трудностей является использование широкополосных систем обнаружения. Преимущества широкополосных систем заключаются в их более высокой эффективности и возможности снижения вероятности ложных тревог в ходе разминирования за счет пространственной селекции [1].

Также проблемы возникают в подповерхностной локации при обнаружении длинных объектов, таких как: кабели, трубы, фрагменты старых фундаментов и так далее. Достаточно надежные выводы относительно типа зондируемого объекта могут быть сделаны на основе формы контура, полученной путём переноса результатов зондирования на геодезический план. В этом случае отражения от подповерхностных объектов представляют собой коррелированные последовательности, которые можно идентифицировать даже при высоких уровнях локальных отражений; а в случае обнаружения подземных мин их можно отличить от локальных неоднородностей почвы по их форме и размеру, поскольку известен характерный размер мин (20 – 30) см.

Георадары используются для поиска мин в пластиковом корпусе, содержащих минимальное количество металла. Такие мины не могут быть обнаружены металлодетекторами. Кроме того, в ряде случаев минное поле на месте боёв покрыто большим числом осколков. Это делает практически невозможным эффективное использование металлодетекторов, или имеет место очень большое число ложных срабатываний металлодетектора. Иногда мины устанавливаются в железнодорожной насыпи, в непосредственной близости от металлических и железобетонных конструкций. В этом случае использование индукционных металлодетекторов затруднено или вовсе невозможно.

Подповерхностная локация относится к геофизическим методам, использующим радиолокационные импульсные сигналы для построения изображений предметов и полостей в грунте. При этом используется широкий спектр электромагнитного излучения от десятков мегагерц до нескольких гигагерц. Выбор диапазона частот зависит от требований по разрешению и глубине обнаружения объекта. Системы подповерхностной локации (георадары) основаны на принципах построения классических радиолокационных систем, но в отличие от последних излучение сигнала происходит не в открытое пространство, а в

диэлектрическую среду с потерями. Чтобы получить хорошее разрешение и глубину обнаружения объекта необходимо, чтобы антенная система имела широкую полосу пропускания, высокий коэффициент усиления, компактный размер для обеспечения возможности применения в носимых системах.

Сверхширокополосные антенны можно условно разделить по критерию соотношения между размером антенны и пространственной длительностью возбуждающего импульса $\chi = c \cdot \tau$ (c – скорость света, τ – длительность импульса) на три основных типа:

- антенны бегущей волны (размеры намного превышают χ),
- квазирезонансные антенны (размеры примерно равны χ),
- элементарные антенны (размеры намного меньше χ).

Распространенными примерами антенн бегущей волны являются ТЕМ-рупоры. Положительными особенностями являются высокая эффективность и направленность излучения, а недостатком большие габариты, особенно в случаях, когда χ составляет несколько дециметров или метров.

Квазирезонансные антенны имеют меньшие габариты, но уступают антеннам бегущей волны по эффективности и направленности излучения, а также они требуют применения сложных нагрузок, которые должны препятствовать появлению послеимпульсных колебаний в излученном сигнале. На рисунке 1 показаны результаты расчета импульсного сигнала на входе печатного вибратора в форме бабочки для полосы частот от 2 до 5 ГГц дискретным методом Галёркина во временной области. При расчетах учитывался слой грунта с диэлектрической проницаемостью 6.

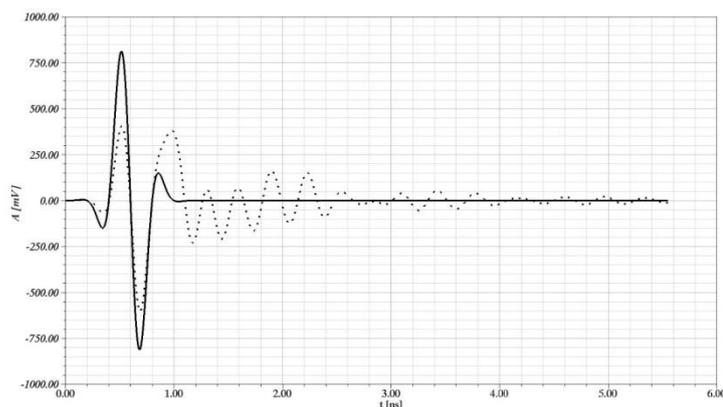


Рисунок 1 – Сверхширокополосный сигнал на входе печатного биконуса

Элементарные антенны способны излучать и принимать сверхширокополосные сигналы без послеимпульсных колебаний, их можно использовать как в качестве одиночных антенн, так и в качестве элементов передающих и приемных антенных решеток, позволяющих не только существенно повысить энергетический потенциал георадара), но и осуществлять пространственную обработку сигналов.

К наиболее часто применяемым антеннам можно отнести рупорные, имеющие один существенный недостаток, а именно большие габариты, а также компактные антенны в виде печатного биконуса, антенны Вивальди, диполи, рамочные антенны, монополи и пр. Печатные антенны имеют большое преимущество из-за невысокой стоимости, малого размера и веса. Если антенная система будет иметь неидеальные параметры, то потребуются увеличение мощности передатчика и аккумуляторных батарей, что приведет к удорожанию георадара.

При проектировании антенной системы следует учитывать особенности применения, прежде всего ее размещение в непосредственной близости от поверхности земли для использования эффекта проникновения в грунт с целью снижения отражения от данной поверхности. При проектировании также следует учитывать эффекты ближнего поля,

влияние угла скольжения может быть ограниченным, поскольку он снижает возможности для полноценной 3D визуализации из-за показателя преломления грунта [2].

Излучаемый импульс без боковых лепестков является основной целью при проектировании антенны, это является сложной задачей из-за нескольких факторов, прежде всего многие электрически большие антенны излучают с различных частей своей структуры электромагнитные поля разных частот, соответственно с разными диаграммами направленности. Если положение фазового центра антенны будет зависеть от частоты, то форма импульса будет искажаться, поскольку сигналы на каждой частоте будут проходить различные пути.

Электродинамическая модель антенны показана на рисунке 2.

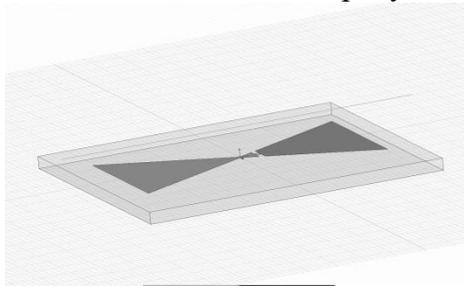


Рисунок 2 – Модель антенны

В георадарах различного назначения часто используются и антенные решетки (АР), так как их применение увеличивает скорость обследования участков земного ландшафта. Существуют два метода проектирования данных АР. Во-первых, используется несколько отдельных элементов, соединенных с контроллером, при этом обработка данных происходит для каждого элемента отдельно. Другой подход заключается в разработке системы, использующей АР в целом, при этом система обладает повышенной пропускной способностью и использует алгоритмы радаров с синтезированной апертурой.

Один элемент антенны, например, диполь имеет ограниченный потенциал с точки зрения усиления. Таким образом, решетка элементов, используется для формирования диаграммы направленности с высоким коэффициентом усиления. В зависимости от ориентации элементов относительно оси решетки, существует два типа: «точка-точка» и коллинеарный тип.

Сравнение излучаемой мощности на плоскости, отстоящей на расстоянии 20λ от решетки с 5 элементами и 11 элементами и с расстоянием между элементами λ , показано на рисунке 3.. Формирование луча достигается за счет правильного фазирования элементов, фазы которых, как правило, фиксированы. В более сложных методах управления используется управление фазами элементов, что позволяет управлять лучом или даже нулем ДН.

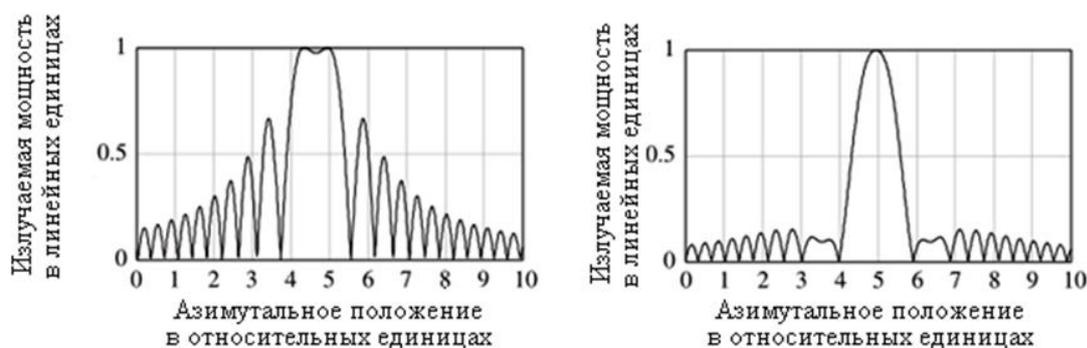


Рисунок 3 – Сравнение излучаемой мощности 5-элементной и 11-элементной решеток

Шаг между элементами имеет большое влияние на множитель решетки и сказывается на верхней границе полосы рабочих частот антенны. Большой шаг между элементами приводит к большому КНД. Тем не менее, расстояние между элементами, как правило, выбирается меньшим, чем $\lambda/2$ для ненаправленных элементов, чтобы избежать возникновения дифракционных лепестков. Если возникают дифракционные максимумы, то КНД решетки резко снижается [3].

Все системы решетки ориентированы на получение изображения скрытых целей, и для этого точное позиционирование элементов имеет решающее значение. Это может быть достигнуто с помощью дифференциальной GPS (DGPS) системы в сочетании с инерциальными навигационными системами [4].

В заключении можно отметить, что тип антенн, используемых в геолокационных системах обнаружения скрытых объектов определяется диапазоном рабочих частот, а также требованиями компактности и дизайном архитектуры самой системы. При расчете прохождения сверхширокополосного сигнала сквозь грунт необходимо учитывать границы раздела сред с разными электрофизическими свойствами. Для анализа влияния геометрических и электрических характеристик антенн на параметры излученного и принятого импульсов, а именно, на возникновение послеимпульсных колебаний можно использовать численные методы во временной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ivashov S.I., Makarenkov V.I., Razevig V.V., Sablin V.N., Sheyko A.P., Vasilyev I A. Wide-span systems of mine detection, 2003
2. Questions ground penetrating radar. The collective monograph / Under the editorship of Y. A. Grineva. - M.: Radio Engineering, 2005. – 416 p. (in Russian) [Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. А.Ю. Гринёва. – М.: Радиотехника, 2005. – 416 с.]
3. Ultra-wideband Antennas and Propagation for Communications, Radar and Imaging Edited by B. Allen, M. Dohler, E. E. Okon, W. Q. Malik, A. K. Brown and D. J. Edwards, 2007, John Wiley & Sons
4. David J. Daniels, EM Detection Of Concealed Targets. 284 p, January 2010, Wiley-IEEE Press.

АНАЛИЗ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ НАЗЕМНЫХ ЦЕЛЕЙ

Ю.В. Назаркина, М.А. Марков, И.В. Прокофьев

Научный руководитель: старший преподаватель каф. АИУС Л.В. Шебалкова

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, yulya.naz11@mail.ru

Рассмотрена проблема обнаружения и определения координат и параметров движущихся объектов на примере комплексов отечественного и зарубежного производства. Произведен сравнительный анализ тактико - технических особенностей данных комплексов целью определения их лучших показателей. Описана возможная замена используемых в современных радиолокационных комплексах, плоских волноводно-щелевых антенных решеток, на более экономически целесообразные, современные и дающие лучшие рабочие показатели, микрополосковые антенные решетки.

In this article, there is considered the problem of location, coordinate detection and determination of moving objects in the case of domestic and foreign production systems. Comparative analysis of technical specifications of given systems is made to determine the best of their rate. It is described that used planar slot waveguide arrays in modern radar systems are possible to be replaced for more economically feasible modern microstrip antenna arrays, giving better working rates.

Комплексы обнаружения и определения координат и параметров движущихся объектов применяются в различной технике военного назначения. Они предназначены для обнаружения наземных, надводных неподвижных и движущихся целей, таких как, например, колонны людей, танков, автомобилей, катеров, кораблей и многих других целей.

Радиолокационные станции охраны объектов начали использовать в гражданской технике сравнительно недавно. Благодаря способности обеспечивать круглосуточную, всепогодную охрану объектов.

Следует сравнить аналоги двух таких станций российского и итальянского производства (стандарты НАТО).

1. Радиолокационная станция охраны объектов СОВА

Состоит из приемопередатчика и кронштейна для крепления приемопередающего устройства. Имеет размер 705x1133 мм и вес 217 кг.

РЛС «Сова» предназначена для автоматического обнаружения и распознавания движущихся наземных объектов (человек, техника) в любое время суток и года с возможностью интеграции в охранные системы и комплексы.

К основным преимуществам РЛС относятся: значительная дальность действия, высокая разрешающая способность, круговой обзор, высокая информативность, твердотельная СВЧ элементная база и современные цифровые алгоритмы формирования и обработки сигналов.

Основные тактико-технические характеристики РЛС «Сова» показаны в Таблице 1 [1].

Таблица 1 - Основные тактико-технические характеристики (ТТХ) РЛС «Сова»

• Зона обзора	
по дальности, км	0,1-20
по азимуту, градус	24-360
по углу места, градус	±18
• Дальность обнаружения движущихся целей	
Грузовой автомобиль, км	20
человек, км	8
• Срединные ошибки определения координат движущихся целей	
по дальности, м	5
по азимуту, градус	0,5
• Беспроводная связь	Wi-Fi (IEEE 802.11 a,b,g,n,ac)
• Время непрерывной работы, час	24
• Рабочая температура эксплуатации	.-30°C +50°C
• Питание РЛС	
от источников постоянного тока, В	12-32
от источников переменного тока, В	176-264

2. Переносная система внешней охраны MMD производства бренда Cias

Переносная система внешней охраны MMD использует микроволновые барьеры для создания невидимой зоны обнаружения в пространстве повышенного риска, например, в местах временного хранения материалов, на стоянках автомобилей и т.д.

Интеллектуальные микроволновые барьеры MMD уже используются на многих гражданских и военных аэродромах для охраны периметра и / или для охраны особых мест типа ангаров, стоянок самолетов и т.п. Уже несколько лет такие барьеры используются в системе надзора и управления авиационным движением при плохой видимости.

Основные тактико-технические характеристики переносной системы внешней охраны MMD представлены ниже (Таблица 2) [2].

Таблица 2 - Основные ТТХ переносной системы внешней охраны MMD

Рабочее расстояние	200 м
Рабочая частота микроволнового барьера	10,5887 ГГц или 9,9 ГГц
Питание	Автономное от батареи до 20 дней
Диапазон рабочей температуры	от - 40 ° С до + 65 ° С
Проводка	Бронированные кабели и военные коннекторы
Комплект для перевозки	Устойчивые к повреждению транспортировочные чемоданы
Номинальный диапазон передачи сигнала тревоги и регулирования барьера	Радиоканал, примерно 500 м

При сравнении рассматриваемых в данной статье комплексов, мы видим, что переносная система внешней охраны MMD более устойчива к изменениям погодных условий, имеет автономное питание от батареи до 20 дней, в отличие от РЛС «Сова» которая не имеет автономного питания, но при установке переносной системы внешней охраны MMD на территории нужны бронированные кабели и военные коннекторы, а также ее рабочее расстояние крайне мало, по сравнению с РЛС «Сова».

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что рассматриваемые в этой работе комплексы могут быть использованы в качестве системы защиты периметра, профессионально защищать от незаконного вторжения на охраняемую территорию. Они способны уловить проникновение на периметр, доступ к которому должен быть закрыт для

посторонних, но каждая из систем имеет свои преимущества и недостатки. Эти комплексы подходят для защиты промышленных объектов, режимных предприятий, складских комплексов, таможенных зон, аэропортов, частных домов и других типов помещений и территорий.

В таких РЛК широко применяется радиолучевой метод формирования охраняемой зоны. Оптимальный поперечный размер охраняемой зоны может быть получен при применении остронаправленных антенн за счет сужения главного луча антенны в обеих плоскостях [3]. В качестве остронаправленных антенн используются зеркальные и плоские волноводно-щелевые антенны. Эти антенны дороги и трудоемки, имеют большие габаритные размеры.

Для замены плоской волноводно-щелевой антенной решетки, в данной работе предложена микрополосковая антенная решетка (МΠΑР), состоящая из 64 прямоугольных излучателей с синфазной схемой возбуждения, формирующая узкий главный луч для увеличения дальности работы системы, снижения уровня взаимных помех, увеличения развязки.

К антенной системе предъявлены следующие требования: частота 10 ГГц, ширина диаграммы направленности (ДН) по уровню половинной мощности $7 \times 7^\circ$, коэффициент усиления (КУ) более 20 дБ.

Такие решетки обладают рядом достоинств: небольшая толщина, малый вес, большая степень интеграции с другими элементами СВЧ тракта [4].

Для того чтобы главный максимум антенны был направлен по нормали к плоскости антенны, где можно использовать ее внутреннюю симметрию, обычно используют решетки с корпоративным делителем мощности. Один из недостатков корпоративного делителя состоит в том, что он требует значительного места на плате.

Чтобы нейтрализовать сильное излучение с элементов делителя, в окончательном варианте антенны в качестве материала подложки был выбран фольгированный диэлектрик ФАФ-4Д толщиной 1 мм, диэлектрической проницаемостью 2,5 и тангенсом угла диэлектрических потерь 0.001.

Сама плата с 64 излучателями выполнена стандартным методом фотолитографии. Точность процессов травления обеспечивает однородность образцов в процессе производства. На рисунке 4 представлены теоретические и измеренные диаграммы направленности (ДН) в двух взаимно ортогональных плоскостях.

В результате измерений параметров экспериментального образца получены следующие величины: ширина ДН $7,4 \times 8,2^\circ$, коэффициент усиления 24,1 дБ, уровень боковых лепестков не более -12 дБ.

Как видно из рисунка 1 теоретические и экспериментальные диаграммы направленности практически совпадают, остальные параметры также удовлетворяют требованиям, предъявляемым к антенной системе [5].

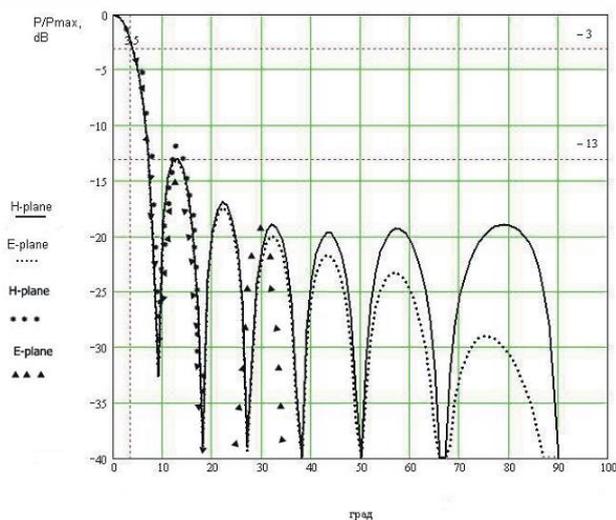


Рисунок 1 – Теоретические и измеренные диаграммы направленности

Предложенная МПАР значительно выигрывает в технологичности изготовления по сравнению с традиционно применяемыми волноводно–щелевыми решетками, зеркальными и рупорными антеннами и может быть успешно использована в качестве передающей и приемной антенн радиолучевых систем охраны периметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. http://www.almaz-antey.ru/osnovnaya-produktsiya-grazhdanskaya-naznacheniya/radiolokatsionnaya-stantsiya-okhrany-obektov-sova/?sphrase_id=2992
2. <http://biss.ua/index.php?page=1&cid=166&pid=702&m=9>
3. Иванов Н. В. Охрана периметров. М.: Радио и связь, 1997. – 100 с.
4. Панченко Б.А., Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986. – 144 с.
5. В.Б. Ромодин, Л.В. Шебалкова. Антенная решетка для систем охраны периметра. с.18-24. Сборник трудов Всероссийской конференции «Конверсия, вооружение, безопасность», часть II, Пенза, 2003г.

МЕХАНИЗМ И ОСОБЕННОСТИ ДЕТОНАЦИОННОГО СИНТЕЗА НАНОАЛМАЗОВ

Непомнящая В.В.
Научный руководитель: Л.В. Шебалкова

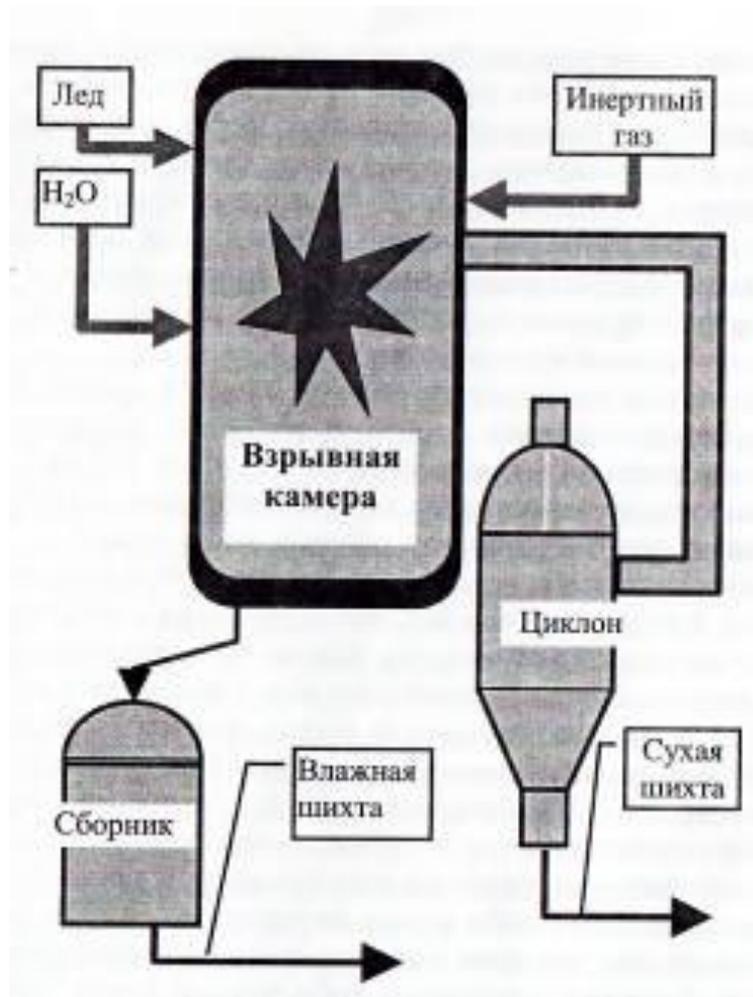
Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, nepomnyashchayav@inbox.ru

Для прямого перехода графита в алмазную фазу необходимо давление не ниже 11 ГПа и температура не менее 2000 К, при статическом методе такие условия должны сохраняться длительное время. Чтобы снизить эти показатели, нужно использовать активаторы, наиболее эффективными из которых являются расплавленные металлы VIII группы Периодической системы: Fe, Ni, Co, Pt, Pa, а также Mn и Cr. При этом температура и давление являются независимыми параметрами, процесс статического синтеза может протекать от нескольких минут до десятков часов.

Ударно-волновой синтез имеет ряд бесспорных достоинств перед статическим. Прежде всего, нет необходимости в металлах-катализаторах, примеси которых снижают прочность и термостойкость алмаза. Вдобавок, нормы взрывного процесса, такие как давление, скорости нагружения, температуры сжатия и остаточные температуры, можно регулировать способом сжатия, подбором взрывчатого вещества с определенными свойствами, предварительным нагревом или охлаждением. В результате синтеза в сильнонеравновесных условиях получают редкие нанокристаллические структуры, каждая частица алмаза имеет множество режущих кромок.

Ещё особенность данного метода является возможность получать наноалмаз непосредственно из содержащегося во взрывчатом веществе углерода. Для этого необходимо использовать составы с отрицательным кислородным балансом (количество кислорода меньше количества окисляемых компонентов), тогда свободный углерод конденсируется в наноалмазной фазе. Полученный продукт называется алмазной шихтой (смесь алмаза с неалмазными формами углерода).

При детонационном синтезе процесс проводят в специальных взрывных камерах (рис.1) [1]. Образование наночастиц алмаза происходит за 0,2-0,5 мкс, температура продуктов взрыва достигает 2000-4000 °С, а графитизация алмаза начинается уже при 1000°С. Поэтому камеры заполняют инертным или углекислым газом, который предотвращает окисление образовавшихся алмазных частиц и их превращение в графит. Также чтобы снизить остаточные температуры, подрыв осуществляют в водной среде или в ледяной бронировке заряда - продукты детонации совершают работу по сжатию и разгону окружающей среды.



Детонационный синтез во взрывной камере

Механизм синтеза УДА в детонационной волне можно показать следующим образом. В распространяющейся по твердому заряду детонационной волне происходит разрушение бензольных колец, находящихся в составе молекул взрывчатого вещества, на отдельные связки из атомов углерода. В следствие последующих многократных взаимодействий из них образуются углеродные соединения, в частности циклогексан. Эти молекулы несут в себе элементы структуры кристаллической решетки алмаза, поэтому их можно рассматривать как зародыши алмазной фазы углерода. Их объединение в подвижной среде продуктов взрыва приводит к образованию малых частиц - алмазных кластеров. В результате последующих столкновений и колебательных взаимодействий частиц, приводящих к сцеплению их кристаллических решеток, за фронтом вырастают более крупные частицы (до 40-90 нм). Эти оценки соответствуют результатам известных исследований [2-5].

А также после взрыва конденсированные продукты синтеза собирают и подвергают химической обработке для удаления сажи и других примесей. Полученные агрегаты имеют сложную, разветвленную форму, поэтому могут быть «сцеплены» друг с другом механически и под действием сил Ван-дер-Ваальса. Продукт подвергают диспергированию ультразвуком, затем разделяют на фракции с помощью центрифуг.

В заключении можно отметить, что детонационный метод имеет ряд недостатков, среди которых противоречие необходимости быстрого снижения остаточной температуры и максимально долгого сохранения повышенного давления, чтобы повысить стабильность

алмазной фазы. Для устранения этой задачи применяют камеры больших размеров (до 5 м³ на 1 кг взрываемого заряда). Помимо этого, для синтеза алмаза обычно требуются дорогие и мощные взрывчатые вещества (гексоген, сплав ТГ40), которые изготавливаются только на оборонных предприятиях. Эту проблему отчасти решает необходимость экологически чистой утилизации различных боеприпасов, взрывчатое вещество которых является материалом для синтеза наноалмазов.

Наноалмазы детонационного синтеза имеют отличительные черты как свойствами природного алмаза, так и набором уникальных качеств, которые сильно зависят от особенностей синтеза и очистки, могут кардинально различаться. Широкий спектр использования делает детонационные наноалмазы перспективным материалом. Способы синтеза и модификации улучшаются, выявляются новые физические и физико-химические свойства, появляются новые области использования. Спрос на наноалмазные порошки и продукцию растет, быстро налаживается промышленное производство наноалмазов в России и за рубежом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. - СПб.:СПбГПУ, 2003.
2. http://studbooks.net/2285460/matematika_himiya_fizika/mehanizm_osobnosti_detonatsionnogo_sinteza_nanoalmazov
3. Даниленко В.В. Синтез и спекание алмаза взрывом. - М.: Энергоатомиздат, 2003.
4. Верещагин А.Л. Свойства детонационных наноалмазов. - Барнаул, 2005.
5. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. - М.: Энергоатомиздат, 2010

РАЗДЕЛКА БОЕПРИПАСОВ КРУПНОГО КАЛИБРА ГИПЕРЗВУКОВОЙ СТРУЕЙ

Петрова Анастасия Александровна, студент; Щемелинина Александра Олеговна студент; Кропачева Ирина Петровна, старший преподаватель

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, fl41petrova@gmail.com

В настоящее время практически нет универсального метода расснаряжения боеприпасов. Это связано с очень большим разнообразием как конструкций боеприпасов, взрывателей, так и используемых для их снаряжения рецептур ВВ, имеющих большой диапазон физико-механических и физико-химических свойств.

Вскрытие боеприпаса при расснаряжении может выполняться множеством способов. В данной статье автор рассматривает возможные перспективы использования резки гиперзвуковой струей взамен сверхзвуковой струи и гидрорезки.

At present, there is practically no universal method for ammunition disposal. This is due to the very large variety of both the designs of ammunition, fuses, and explosives used for their equipment, which have a wide range of physicomachanical and physico-chemical properties.

The opening of the ammunition in the course of the outfitting can be carried out in a number of ways. In this article, the author considers possible prospects for using cutting a hypersonic jet instead of a supersonic jet and a water jet.

1. Постановка задачи

Вскрытие боеприпаса для обеспечения доступа к взрывчатому веществу может выполняться следующими средствами и способами:

- гидроабразивной резки;
- взрывной резкой кумулятивными струями;
- ультразвуковой резкой;
- прожиганием корпусов продуктами сгорания пиротехнических составов (термитных резачков);
- разламыванием корпусов в химически активных средах;
- резанием (фрезерованием, сверлением) лезвием (резцом) на металлообрабатывающих станках;
- изламыванием после предварительного резания;
- химическим растворением корпусов или их частей;
- электрохимическим растворением (травлением);
- воздействием лазером.

Технология вскрытия корпуса боеприпаса гидрорезкой представляется наиболее перспективной, взрывобезопасной и к тому же позволяет использовать утилизируемые пороха в качестве источника (генератора) высокого давления (500—700 МПа). [1]

2. Физический подход

Рассмотрим 2 вида вскрытия боеприпаса:

1. Гидроабразивной резкой;
2. Сверхзвуковой резкой.

Технология вскрытия корпуса боеприпаса гидрорезкой представляется наиболее перспективной, взрывобезопасной и к тому же позволяет использовать утилизируемые пороха в качестве источника (генератора) высокого давления (500—700 МПа). [1]

В основе технологии гидроабразивной резки лежит принцип эрозионного воздействия смеси высокоскоростной водяной струи, выступающей в качестве носителя, и твердых

абразивных частиц на обрабатываемый материал.

Вместе с гидроабразивной резкой существует и кислородная резка

При сверхзвуковой резке металл удаляется из зоны реза в результате его сгорания в струе газа.

Сверхзвуковой способ вскрытия корпусов боеприпасов для извлечения зарядов ВВ из средств взрывания пригоден при любом снаряжении боеприпаса. При необходимости сверхзвуковым инструментом проделываются отверстия для доступа к ВВ в корпусах из любых материалов практически в любом сечении.

Технология создания сверхзвуковой струи.

Используется сопло Лавалья.

В сверхзвуковом сопле, газовый поток преобразуется таким образом, что скорость истечения становится больше скорости звука:

$$M > 1, \omega_a > a.$$

Струя газа, взаимодействуя с преградой, разделяется надвое. Одна часть струи растекается по поверхности пластины, проникая через зазор, а другая – устремляется в узкую щель, ширина которой во много раз меньше диаметра сопла. Однако, не смотря на то, что щель узкая, она хорошо продувается, при этом перед щелью мы видим два больших противоположно направленных вихря. На выходе из щели наблюдается периодическое образование малых вихрей, которые, попеременно отрываясь, сложным образом объединяются и двигаются как единое целое. Внутри щели линии тока существенно отклоняются от оси сопла и внутренней стенки канала, имитирующей фронт лазерного реза. Наблюдается отрыв потока газа от фронта реза и образование возвратного течения, которое вовлекает в свое движение газ из внешней среды, схема технологии резки показана на Рис. 1.

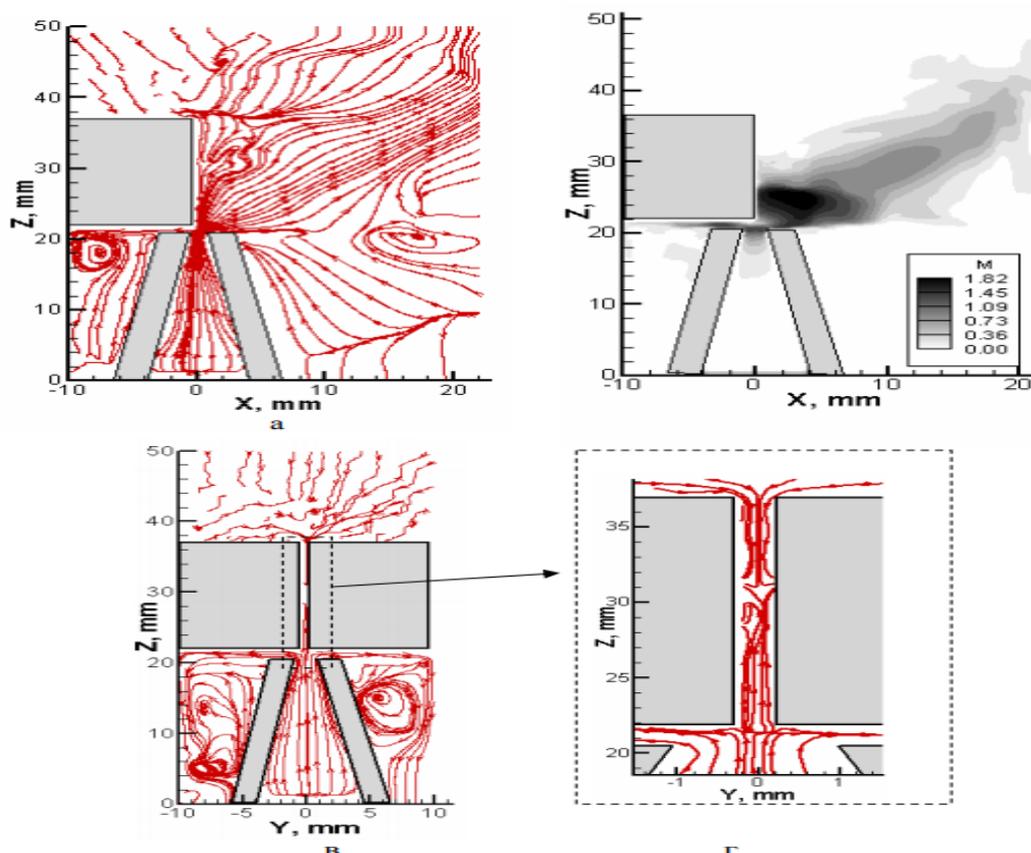


Рис. 1. Схема технологии резки

Имеющийся опыт работы в области создания пиротехнических средств позволяет принципиально решить вопрос о бездетонационном вскрытии корпусов боеприпасов и извлечения из них зарядов ВВ. Метод заключается в прожигании корпуса струей продуктов сгорания пиротехнического состава и создании в нем избыточного давления, приводящего к вскрытию корпуса, дроблению и выбросу заряда ВВ. [3]

3. Результаты и обсуждения

Сравним преимущества и недостатки двух видов резок.

Преимущества технологии гидроабразивной резки:

- Универсальность

Возможность использования одной и той же установки для резки широкого спектра материалов, без смены или переналадки режущего инструмента.

- Диапазон толщин разрезаемых материалов от 0,1 до 300 мм.

- Низкая температура в зоне реза 60-90°C

• Образующееся в процессе резания тепло практически сразу уносится водой. В результате не происходит заметного повышения температуры заготовки, что обеспечивает по сути «холодный» рез всех материалов. Это позволяет при использовании гидроабразивной технологии: исключить оплавление и пригорание материала в прилегающей зоне;

Недостатки и ограничения метода:

- обязательное создание высокого давления жидкости

- большой расход жидкости

• необходимость применения специальных камер и обеспечения соосности сопел и корпусов боеприпасов

Преимущества способа вскрытия боеприпаса сверхзвуковой и гиперзвуковой струей.

Такой способ вскрытия корпусов боеприпасов для извлечения зарядов ВВ из средств взрывания пригоден при любом снаряжении боеприпаса. При необходимости сверхзвуковым инструментом проделываются отверстия для доступа к ВВ в корпусах из любых материалов практически в любом сечении.

Взрыво-, пожаро- и экологическая безопасность обеспечивается применением способа в водной среде. Затраты воды на данный способ меньше, чем для гидроабразивной резки. Т.к. для сверх-, гиперзвуковой резки вода нужна для погружения боеприпаса в воду, впоследствии при помощи фильтров из резервуара с водой выделяют ВВ. А для гидроабразивной резки вода должна поступать постоянно под большим давлением.

В итоге для сверхзвуковой струи мы имеем: применение недорогого оборудования, отсутствие жестких требований по герметичности, низкая температура и давление жидкости и относительная простота операций, что позволяет нам рассматривать этот способ как один из перспективных, но малопроизводительных.

Гиперзвуковое течение газа – предельный случай сверхзвукового течения газа, при котором скорость v частиц газа во всей области течения или в её значительной части намного превосходит скорость звука a в газе, так что $v \gg a$ или число Маха $M = v/a \gg 1$. Так как скорость звука по порядку величины равна средней скорости теплового (хаотического) движения молекул, то при гиперзвуковом течении кинетическая энергия поступательного движения частицы газа намного превосходит её внутреннюю тепловую энергию. Поэтому при гиперзвуковом течении небольшие относительные изменения v в результате

превращения кинетической энергии частиц газа во внутреннюю вызывают сильное изменение внутренней тепловой энергии газа, то есть его температуры. При уменьшении кинетической энергии, например при торможении газа в ударной волне перед обтекаемым телом или при торможении газа в пограничном слое у поверхности тела, в газе могут возникать области с очень высокой температурой [3].

4. Выводы

Таким образом, использование гиперзвуковой струи сможет решить главный недостаток сверхзвуковой резки – малая производительность, т.к скорости течения газа гиперзвуковой струи значительно превосходит скорость сверхзвуковой струи.

Однако, при наличии высоких скоростей возникает большая взрыво- пожароопасность применения данного метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. В.С. Соловьев. Безопасность снаряжения в процессе утилизации боеприпасов– М.: МГТУ им. Баумана, 2016. –139 с.
2. Ю.Г. Щукин. Промышленные взрывчатые вещества на основе утилизированных боеприпасов– М.: Недра, 1998. – 319 с.
3. А.В. Зайцев. Численные исследования влияния характеристик излучения и струйных течений газа на качество поверхности в технологиях газолазерной резки толстолистовых металлов– М.: СО РАН, институт теоретической и прикладной механики, 2007.– 100 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ В ПОДЛОЖКУ ВОЛНОВЕДУЩЕЙ ЛИНИИ И МИКРОПОЛОСКОВОГО ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Сиротин Алексей Александрович, старший преподаватель Шебалкова Любовь Васильевна

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, serioussx@yandex.ru

В статье представлено решение одной из важных задач систем ближней локации, такое как максимальное снижения массы и габаритов компонентов систем, путем проектирования и анализа четырехканальной системы возбуждения антенной решетки с применением интегрированной в подложку волноведущей линии и микрополоскового делителя мощности. В результате полученные количественные данные и графические результаты показывают целесообразность применения данной технологии для решения поставленной задачи, за счет оптимальной компоновки структуры и меньшим размерам чем в традиционных прямоугольных волноводах. А также как результат успешного проведенного эксперимента представлена спроектированная четырехканальная система в программном обеспечении ANSYS HFSS.

The article presents a solution to one of the important problems of near radiolocation systems, such as reduction maximum mass and dimensions of system components, by designing and analyzing a four-channel antenna array excitation system using integrated waveguide line and a microstrip power divider. As a result, the obtained quantitative data and graphical results show the expediency of using this technology to solve this problem, due to the optimal arrangement of the structure and smaller dimensions than in traditional rectangular waveguides. And also as a result of a successful experiment presented a projected four-channel system in the software ANSYS HFSS.

1. Введение

Одной из важнейших задач систем ближней локации является максимальное снижение массы и габаритов компонентов систем. Это связано с широким диапазоном использования СБЛ, особенно для малоразмерных подвижных систем [1]. Для решения данной задачи применяются комплексная микроминиатюризация, высокие технологии, замена механических узлов электронными блоками, замена волноводных и объемных резонаторов полосковыми линиями, а также усложнение формы зондирующих сигналов, использование активных антенных решеток [2].

2. Методика экспериментального исследования

Проектирование проводилось с целью максимального снижения массы и габаритов компонентов систем, а также удешевления производства. Решение представлено в виде спроектированной и проанализированной четырехканальной волноведущей системы возбуждения антенных решеток, интегрированной в подложку. Проектирование и анализ производились в среде программного обеспечения ANSYS HFSS представлено на рис. 1.

Количественные данные и графические результаты, полученные в ходе экспериментального проектирования системы, показывают, что интегрированные в подложку волноводные линии передачи могут объединяться с микрополосковыми линиями передачи в одну структуру с общей диэлектрической подложкой. А также может быть достигнута оптимальная компоновка структуры, благодаря меньшим размерам, чем в традиционных прямоугольных волноводах, позволяющая при использовании той же частоты

уменьшать габариты и вес системы.

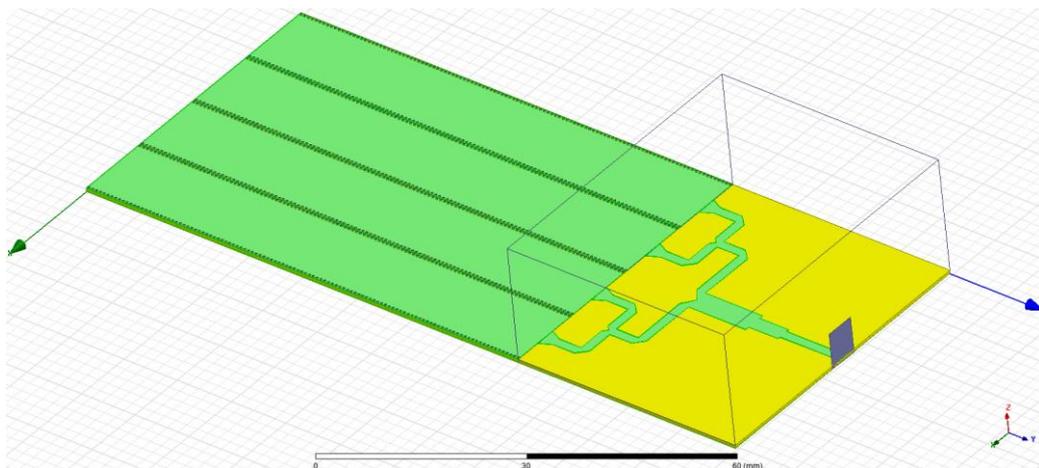


Рис. 1. Внешний вид четырехканальной волноведущей структуры системы возбуждения с микрополосковым делителем мощности

3. Результаты и обсуждение

При использовании диэлектрического материала Rogers 5880 получены следующие габариты волновода – ширина 11 мм, толщина 0.652 мм. На частоте 12.45 ГГц коэффициент стоячей волны не выходит за значение равное 2, коэффициенты передачи имеют допустимые значения, фазы коэффициентов передачи совпадают, а значения сопротивлений на портах не имеют существенной разницы. Все это доказывает, что проектирование и анализ проведены успешно.

4. Выводы

В ходе проведенного экспериментального проектирования четырехканальной системы возбуждения антенной решетки, был получен результат в виде уменьшения массы и габаритов волноведущей структуры с применением технологии интеграции волноведущей линии в подложку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Теоретические основы радиолокации. Я.Д. Ширман, В.Н. Голиков, И.Н. Бусыгин и др.; Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. Радио, 1970, - 559 с.
2. Легкий В.Н., Миценко И.Д., Орлов В.Н., Орлова М.В., Останина Н.П. Системы ближней локации. Учеб. Пособие. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2000.

СРЕДСТВА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМАМ ИНФРАКРАСНОГО НАВЕДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

**Федоров Павел Михайлович, студент,
Прошин Иван Юрьевич, студент,
Легкий Владимир Николаевич, доктор техн. наук, зав. каф. АИУС**

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

Средства инфракрасного противодействия предназначены для противодействия ракетам с инфракрасной головкой самонаведения. При появлении такой ложной цели в поле наведения, ракета перенацеливается на более мощный тепловой сигнал.

Генерирование пульсирующих инфракрасных помех вносит в систему наведения ракеты помехи, приводящие к отклонению ракеты от защищаемой цели.

Infrared countermeasures are designed to counteract missiles with an infrared homing head. When such a false target appears in the guidance field, the missile is retargeted to a more powerful thermal signal.

The generation of pulsating infrared interference introduces interference into the missile guidance system, which leads to the missile deflection from the target being protected.

Средства инфракрасного противодействия – системы, используемые в военной авиации, предназначенные для противодействия ракетам с инфракрасной головкой самонаведения (ИКГСН), таким как Р-27(Э)Т, Р-60, Р-73, ракеты ПЗРК и т.п.

Используется два вида помех: отстреливаемые ложные тепловые цели (ЛТЦ) и стационарные генераторы пульсирующих инфракрасных помех.

Ложные тепловые цели — пиротехнические устройства, выделяющие большое количество тепла при сгорании горючего состава, также известны как «тепловые ловушки» и «ИК-ловушки».



Локхид МС-130 отстреливает ЛТЦ



Су-27 отстреливает ЛТЦ

ЛТЦ на борту самолёта устанавливаются в специальные держатели, так называемые автоматы сброса или автоматы постановки помех. Сами автоматы сопрягаются с системами бортового комплекса обороны и в ряде случаев их применение автоматизированно, в зависимости от характера угрозы. При появлении такой ложной цели в поле наведения, ракета перенацеливается на более мощный тепловой сигнал.



Держатели АПП-50 (для отстрела 50 мм ИК и ПРЛ патронов)

Держатели АПП-50 (для отстрела 50 мм ИК и ПРЛ патронов) конструктивно представляют собой небольшую ёмкость с твердым горючим составом (пирофорным или пиротехническим) — конструкция в принципе подобна зарядам сигнальных или осветительных ракет.

Существуют специальные снаряды для авиационных пушек, снаряженные высокотемпературной горючей смесью и также предназначенные для постановки ИК-помех. Они так и называются: Противо Инфра-Красные Снаряды (ПИКС).

Следует отметить, что некоторые типы головок самонаведения (в частности, ультрафиолетовые) могут отличать спектральные характеристики излучения ЛТЦ и самолета.



Пример генератора пульсирующих инфракрасных помех ALQ-144 «Хот брик» на фюзеляже самолёта OV-10D «Бронко»

Генератор пульсирующих инфракрасных помех представляет собой мощную инфракрасную лампу с вращающимся отражателем, в кожухе из прозрачного для инфракрасного излучения материала, расположенную на корпусе защищаемого объекта.

Ракеты с инфракрасной головкой самонаведения относятся к самым простым управляемым средствам поражения воздушных целей. При генерировании пульсирующих инфракрасных помех с частотой, равной рабочей частоте внутренних элементов наведения, и мощностью, сопоставимой с естественным тепловым излучением защищаемой цели, в систему наведения ракеты вносится помеха, приводящая к отклонению ракеты от защищаемой цели.

Станция оптико-электронных помех «Липа» (Л166В1А). Предназначена для защиты вертолетов и самолётов от ракет с ИКГСН, таких как «Сайдуиндер», «Ред Ай», «Чапарэл», «Питон», «Стрела-10М2», «Стингер».

С 1982 года на вертолетах используется станция оптико-электронных помех СОЭП-В1А (изделие Л-166 или «Липа»), установленная наверху фюзеляжа. При помощи нагревательного элемента (мощной ксеноновой лампы или лампы с нихромовой спиралью) и системы вращающихся линз «Липа» создавала вокруг вертолётa импульсный поток непрерывно перемещающихся ИК-лучей. Комплекс применяется одновременно с тепловыми ловушками и затрудняет определение выделения вертолета на фоне ловушек, что приводило к «рысканию ракеты» между ловушками и вертолетом. Станция оказалась чрезвычайно эффективной, хотя имела «мертвые зоны» внизу и не обеспечивала полностью защиту от «Стингеров». Суммарная эффективность СОЭП «Липа» при использовании ловушек и средств снижения заметности в ИК-диапазоне в боевых условиях Афганистана достигала 70-85% (по числу предотвращенных ударов к общему числу пусков).

Устанавливалась на Ми-24 в войне в Афганистане. Всего по Ми-24 произведено 563 пуска ракет «Стингер», 89 попаданий, из них 31 попадание привело к гибели 18 вертолётов. Большая часть попаданий зафиксирована в корму вертолётa из-за расположения станции в верхней полусфере. В целом применение СОЭП на Ми-24 снизило вероятность поражения тепловыми ракетами «Стингер» до 3,2 % (Су-25 до 4,7 %, Ми-8 до 18 %). Применение СОЭП в комплексе с ЭВУ срывало наведение в 70-85% случаев.

«АДРОС» КТ-01 АВЭ – станция оптико-электронного подавления (СОЭП).

Станция предназначена для активной защиты вертолетов от управляемых ракет с инфракрасными головками самонаведения различных видов. Способна эффективно срывать захват защищаемой цели от таких ракет, как «Стингер», «Игла», Р-60, Р-73, «Сайдуиндер» и других.

«Адрос» способна противодействовать система самонаведения с амплитудно-фазовой, частотно-фазовой, времяимпульсной модуляцией и повышенной помехозащищенностью. При этом не требуется значительное превышение сигнала помехи над сигналом от цели. Работа станции основана на новом способе оптикоэлектронного подавления и особой

конструкции модулятора с электронным управлением на основе микроконтроллеров.

«АДРОС» не требует информации о типе и частоте работы инфракрасной головки само наведения ракеты, а также наличия системы обнаружения пусков ракет.

Для достижения максимальной эффективности защиты вертолета станция «Адрос» применяется совместно с экрановыхлопными устройствами, которые позволяют значительно снизить инфракрасную заметность вертолета, однако это увеличивает воздушное сопротивление и снижает ТТХ вертолета.

Станция предназначена для установки на вертолеты Ми-24, Ми-8, Ми-17 всех модификаций. После доработки размещение станции «Адрос» возможно также на других типах вертолетов.

Аналогичная американская станция ANQ-12 при массе в 350 кг стоит \$1 млн., в то время как «АДРОС» гораздо дешевле и легче, имеет более простую конструкцию и высокую надёжность.

Вероятность срыва атаки ракеты ПЗРК при использовании станции составляет 0,7-0,8 в то время как у других систем не превышает 0,5.

Спорная эффективность при обстреле вертолета в заднюю полусферу.

Вероятность срыва атаки вертолета ПЗРК типа «Стингер»: 0,7-0,8

Время полного срыва захвата ПЗРК типа «Стингер»: 0,5-0,8 секунд.

Станция обеспечивает одновременное противодействие ракетам с инфракрасными головками самонаведения различных типов (с амплитудно-фазовой, частотно-фазовой, времяимпульсной модуляцией) без перенастройки.

Масса, не более: 27 кг.

Вывод

Рассмотренные системы предназначены для противодействия ракетам с инфракрасной головкой самонаведения. При этом они превосходят аналоги по цене и функциональным возможностям.

Применение данных систем позволяет существенно повысить эффективность действий ВКС России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Средства инфракрасного противодействия [Электронный ресурс]. URL: <http://ru-wiki.org/wiki> (дата обращения: 09.04.2018).
2. Ми-8 в Афганистане [Электронный ресурс]. URL: <http://www.airwar.ru/history/locwar/afgan/mi8/mi8.html> (дата обращения: 09.04.2018).
3. АДРОС СОЭП [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1716681> (дата обращения: 09.04.2018).
4. В. Н. Легкий, И. Д. Миценко, Б. В. Галун. Малогабаритные генераторы накачки полупроводниковых лазеров. – Томск: Радио и связь, Томский отдел, 1990. – 216с.
5. В. Н. Легкий, В. Д. Топорков. Лазерные системы ближней локации: оптоэлектронные датчики. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2004. – 152с.
6. Легкий В. Н., Галун Б. В., Санков О. В. Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения – Новосибирск: НГТУ, 2011. – 455с.

СЕКЦИЯ: РАДИОЛОКАЦИЯ, РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

ДВУХЧАСТОТНАЯ ПЕЧАТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА

С. А. Алексейцев

Научный руководитель: д.т.н., доцент А. П. Горбачев
Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
aleksevtsev94@mail.ru

Представлен вариант двухчастотной печатной антенной решетки S – диапазона. В качестве излучающих элементов использовался двухчастотный дипольный излучатель с печатным симметрирующим устройством. Для равномерного амплитудного распределения получены диаграммы направленности (ДН) решетки при отклонении луча на 7 и на 14 градусов от нормали к решетке.

A novel dual – frequency printed S – band antenna array is presented in the topic. The dual – frequency dipole antenna with printed balancing unit is used as a single radiating element in the array. For uniform amplitude excitation of the array elements the radiation patterns for two elevation angles 7 and 14 deg on both frequencies are presented.

Введение

Печатные излучатели и антенные решетки являются неотъемлемыми компонентами в организации систем связи в условиях, где выдвинуты жесткие требования к габаритам и массе устройства. Их конкурентные преимущества перед классическими антеннами становятся критичными, когда спор идет за граммы веса конструкции, например, при разработке радиолокационной станции (РЛС) для беспилотных летательных аппаратов (БЛА) или в составе разведывательных миссий на планетах солнечной системы.

Одним из развивающихся направлений исследования печатных антенных систем является проектирование пластичных решеток с использованием техники струйной печати (jet - printing). В [1] представлена активная фазированная одночастотная антенная решетка с переключаемыми линиями задержки. В качестве ключей использовались полевые транзисторы. Ее основным преимуществом является возможность установки на искривленных поверхностях радиоуправляемых передвижных платформ, что делает ее незаменимой в данной задаче.

Двухчастотный режим работы позволяет не только увеличить отношение сигнал/помеха (ОСП), но и получить более точную информацию о физических параметрах радиолокационной цели (эффективная поверхность обратного рассеяния (ЭПОР), координатах, скоростях и т. п.). Таким образом, актуальность разработок в области печатных антенных решеток очевидна.

1. Теория

Решетка спроектирована на диэлектрической подложке толщиной 1.5 мм с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 2.5$. Отдельный излучатель и сама решетка представлены на рисунке 1. Для согласования волновых сопротивлений однородных полосковых линий использовались трехступенчатые переходы с максимально плоской аппроксимацией функции рабочего затухания, поскольку она характеризуется большей широкополосностью при заданном уровне рассогласования, а также близкой к линейной фазо – частотной характеристикой по сравнению с чебышевской.

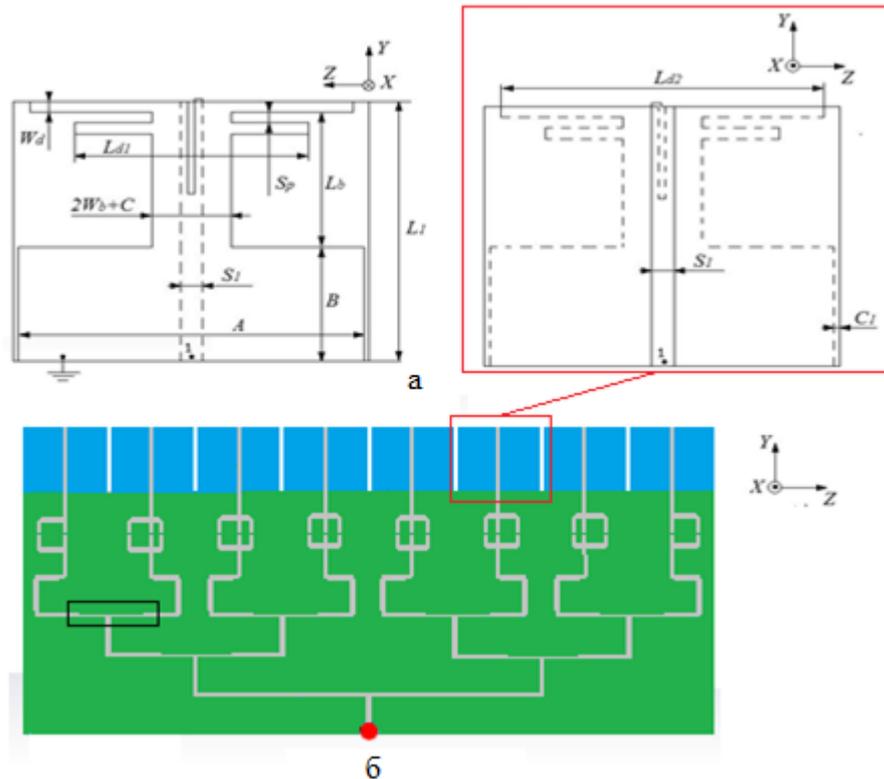


Рисунок 1. Двухчастотный дипольный излучатель (а) и двухчастотная антенная решетка (б).

Излучатели находятся на расстояниях $0.51\lambda_0$ и $0.9\lambda_0$ для 2.08 и 3.87 ГГц, соответственно. Основными недостатками, присущими печатным многоэлементным структурам, которые значительно осложняют процесс проектирования являются: допуски на размеры элементов при изготовлении; взаимное влияние излучающих элементов (в случае излучателей с неизотропными ДН оценивается численными методами [2]); паразитные излучения питающей сети; поверхностные волны [3]. Данные эффекты снижают коэффициент полезного действия (КПД) системы в целом.

2. Результаты

Частотная зависимость входного коэффициента отражения отдельного излучателя и всей решетки представлены на рисунке 2 а. Сравнения ДН решетки при моделировании с теоретической показаны на рисунке 2 б, в. На рисунке 2 г, д показаны ДН решетки при отклонении главного лепестка на 7 и на 14 градусов от нормали.

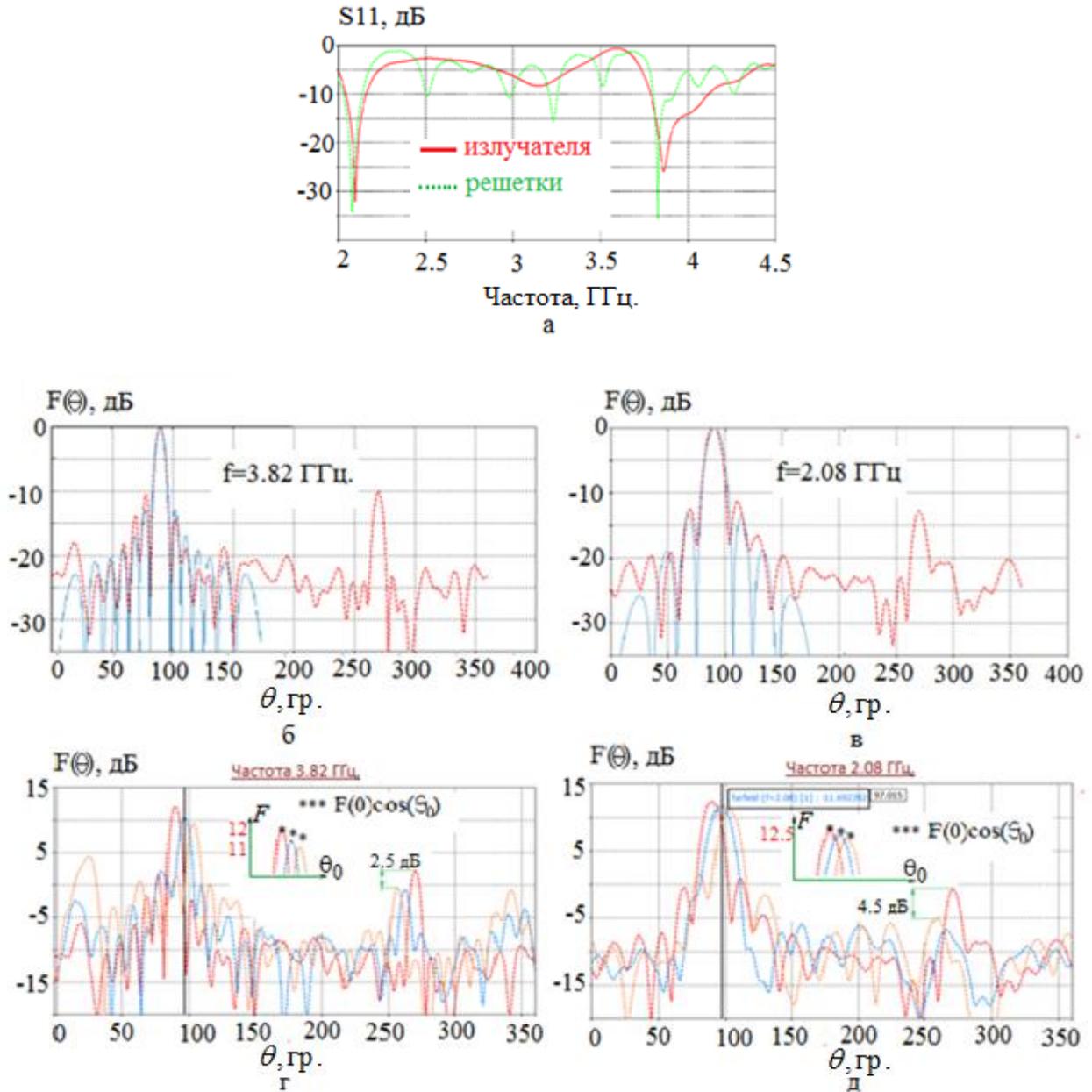


Рисунок 2. Параметр S11 (а), ДН на частоте 3.82 ГГц (б) и на частоте 2.08 ГГц (в) при сравнении с теоретической (сплошной линией). ДН решетки при сканировании на частоте 3.82 ГГц (г) и 2.08 ГГц (д).

Как и ожидалось, при сканировании коэффициент направленного действия (КНД) уменьшается. На рисунке звездочками отмечено уменьшение, пропорциональное $\cos(\theta_0)$, где θ_0 -угол отклонения от нормали. Здесь направление нормали к решетке соответствует 90 градусам на рисунке.

3. Выводы

На примере данной двухчастотной антенной решетки показан эффект, вносимый общей питающей сетью на итоговую ДН при проектировании двух/многочастотных антенных решеток на едином печатном полотне и возбуждаемых одним источником сигнала. Данная антенная решетка имеет две фиксированные частоты согласования 2.08 и 3.82 ГГц. На обеих частотах в плоскости вектора напряженности электрического поля ДН решетки характеризуется высоким уровнем «межлепесткового заполнения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Maggie Yihoung Chen, Xuejun Lu, Harish Subbaraman, Ray T. Chen “Fully Printed Phased – Array Antenna For Space Communications”. Micro – and nanotechnology Sensors, systems, and applications, edited by Thomas George, M. Saif islam, Achyut K. Dutta, Proc. of SPIE Vol. 7318, 731814, 2009.
2. Hoi-Shun Lui, H. T. Hui, and M. S. Leong, "A note on the mutual coupling problems in transmitting and receiving antenna arrays,"IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 51, no. 5, pp. 171-176, 2009.
3. Y. Wu and Qi Zhu, “Design of a Ka-band microstrip antenna array with sharpened beam pattern and high gain”, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 55, no. 10, pp. 2517–2520, October 2013.

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШУМОВ КООРДИНАТ, МОДЕЛИРУЕМЫХ ДВУХТОЧЕЧНОЙ МОДЕЛЬЮ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА НА КОРРЕЛИРОВАННЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ

Сабитов Тимур Ильясович¹; Степанов Максим Андреевич¹, к.т.н.;
Киселев Алексей Васильевич¹, д.т.н.

¹Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск

Рассмотрена геометрическая модель распределенного радиолокационного объекта на излучателях коррелированных сигналов. Для модели произведена оценка чувствительности параметров моделируемых шумов координат к нестабильности параметров излучаемых сигналов. Определены области значений параметров, для которых эта чувствительность минимальна. Найдены соотношения, позволяющие по заданным нестабильностям параметров шумов координат определить нестабильности параметров излучаемых сигналов. Теоритические выводы подтверждены результатами численных экспериментов.

We considered a geometric model of distributed radar object composed of radiators, which radiate correlated signals. For the model we estimated sensitivity of parameters of the modulated angle noise to instability of parameters of radiated signals. We defined the range of values of the parameters, for which that sensitivity is minimal. We obtained the equations, which allow for defined instability of parameters of the angle noise to calculate instability of parameters of radiated signals. We confirmed theoretical conclusions by the results of numerical experiments.

Введение

Все реальные радиолокационные объекты являются распределенными или многоточечными. Это означает, что при моделировании таких объектов необходимо учитывать явление шумов координат (ШК). Суть этого явления заключается в том, что при зондировании распределенного объекта наблюдаются флуктуации кажущегося центра излучения (КЦИ), с которыми необходимо считаться, так как они определяют точность пеленгации цели.

В настоящее время активно изучаются геометрические модели распределенных объектов на коррелированных излучателях. В сравнении с другими моделями, например на излучателях независимых случайных сигналов, эти позволяют обходиться меньшим количеством излучателей за счет использования статистически связанных сигналов. Однако нестабильность параметров излучаемых сигналов оказывает влияние на стабильность параметров моделируемых ШК. В связи с чем возникла необходимость изучить это влияние.

Теория

Для двухточечной модели распределенного объекта, параметры распределения шумов координат описываются системой [1]:

$$\begin{cases} \frac{\gamma^2 - 1}{1 + 2r\gamma + \gamma^2} = m \\ \frac{1 + 2r\gamma + \gamma^2}{2\gamma\sqrt{1 - r^2}} = \mu \end{cases}, \quad (1)$$

где γ^2 – отношение мощности, подводимой ко второму излучателю, к мощности, подводимой к первому; r – коэффициент взаимной корреляции сигналов; m – математическое ожидание; μ – параметр, от которого зависит ширина распределения. Само распределение ШК задается соотношением:

$$W(\xi) = \frac{\mu}{2 \cdot (1 + \mu^2 (\xi - m)^2)^{3/2}}.$$

Воспользуемся соотношением для определения абсолютной неустойчивости выходного параметра через неустойчивость входных параметров [2]:

$$\Delta f(x_1 \dots x_n) = A_1 \Delta x_1 + \dots + A_n \Delta x_n,$$

$$\text{где } A_i = \frac{\partial f(x_1 \dots x_n)}{\partial x_i}.$$

Определим соотношения для неустойчивости параметров распределения ШК:

$$\Delta m = A_1 \Delta \gamma + A_2 \Delta r, \quad \Delta \mu = A_3 \Delta \gamma + A_4 \Delta r. \quad (2)$$

Очевидно, что по параметру γ функции $m(\gamma, r)$ и $\mu(\gamma, r)$ являются симметричными относительно 1, что приводит к существенно разной скорости изменения этих зависимостей на эквивалентных в физическом смысле промежутках $\gamma \in (0; 1]$ и $\gamma \in [1, \infty)$. Это приведет к разным значениям коэффициентов чувствительности при физически эквивалентных значениях γ . Чтобы избежать этого, перейдем к логарифмической переменной $t = 20 \lg \gamma$. Тогда система (1) и соотношения (2) преобразуются к виду:

$$\begin{cases} \frac{10^{t/10} - 1}{1 + 2r \cdot 10^{t/20} + 10^{t/10}} = m \\ \frac{1 + 2r \cdot 10^{t/20} + 10^{t/10}}{2 \cdot 10^{t/20} \sqrt{1 - r^2}} = \mu \end{cases},$$

$$\Delta m = A_1 \Delta t + A_2 \Delta r, \quad \Delta \mu = A_3 \Delta t + A_4 \Delta r,$$

$$\text{при этом } \Delta t = \frac{20}{\ln 10} \frac{\Delta \gamma}{\gamma}.$$

Найдем коэффициенты чувствительности:

$$A_1 = \frac{\partial m}{\partial t} = \frac{10^{t/20} \ln 10 \cdot (2 \cdot 10^{t/20} + r 10^{t/10} + r)}{10 \cdot (1 + 2r 10^{t/20} + 10^{t/10})^2}; \quad A_2 = \frac{\partial m}{\partial r} = -\frac{2 \cdot 10^{t/20} \cdot (10^{t/10} - 1)}{(1 + 2r 10^{t/20} + 10^{t/10})^2};$$

$$A_3 = \frac{\partial \mu}{\partial t} = \frac{\ln 10 \cdot (10^{t/10} - 1)}{40 \sqrt{1 - r^2} \cdot 10^{t/20}}; \quad A_4 = \frac{\partial \mu}{\partial r} = \frac{2 \cdot 10^{t/20} + r + r \cdot 10^{t/10}}{2 \cdot 10^{t/20} \cdot (1 - r^2)^{3/2}}.$$

Интерес представляет наихудший или предельный случай неустойчивости, для которого соотношения принимают вид:

$$\Delta m = |A_1| \Delta t + |A_2| \Delta r, \quad \Delta \mu = |A_3| \Delta t + |A_4| \Delta r, \quad \Delta t > 0, \quad \Delta r > 0. \quad (3)$$

Найдем соотношения, позволяющие по заданным неустойчивостям Δm и $\Delta \mu$ определить неустойчивости Δt и Δr как функции от параметров $\{\Delta m, \Delta \mu, t, r\}$. Наиболее наглядным будет следующее решение: зададимся несколькими значениями Δt и для каждого построим уровневую диаграмму функции $\Delta r = f(\Delta m, \Delta \mu, \Delta t, t, r)$. Эта функция, очевидно, имеет следующий вид:

$$\Delta r = \min \left(\frac{\Delta m - |A_1| \Delta t}{|A_2|}, \frac{\Delta \mu - |A_3| \Delta t}{|A_4|} \right). \quad (4)$$

Зададимся значениями нестабильностей, которые представляют практический интерес: $\Delta m = 0.01B = 0.02$, где B – база или расстояние между излучателями, которые находятся в точках с нормированными координатами -1 и 1 , $\Delta \mu / \mu = 0.05$ – относительная нестабильность параметра μ 5%. Для значений $\Delta t = \{0.05; 0.1; 0.2; 0.3\}$ построим графики линий уровня функции (4).

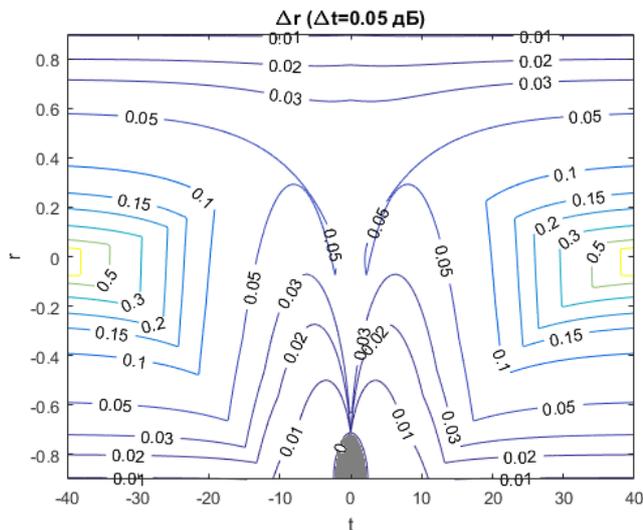


Рис. 1. График линий уровня функции Δr при $\Delta t = 0.05$ дБ

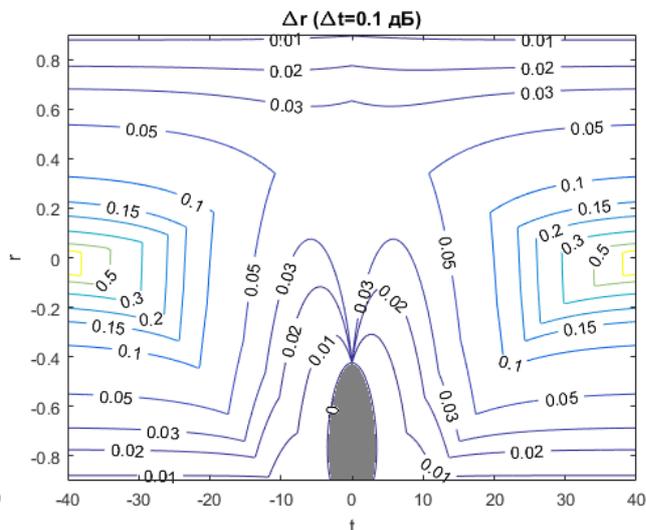


Рис. 2. График линий уровня функции Δr при $\Delta t = 0.1$ дБ

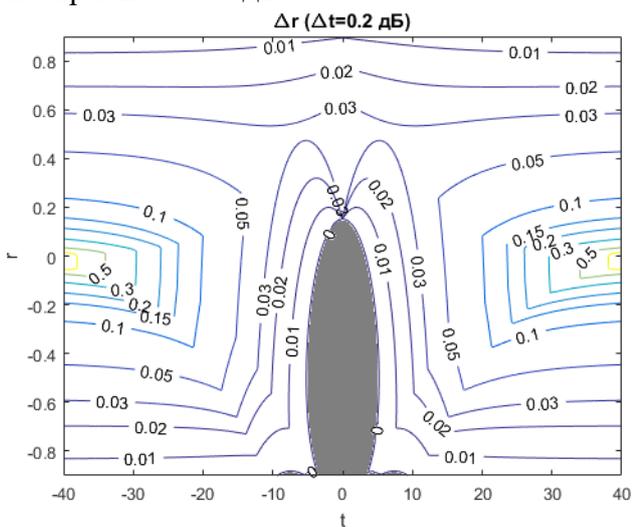


Рис. 3. График линий уровня функции Δr при $\Delta t = 0.2$ дБ

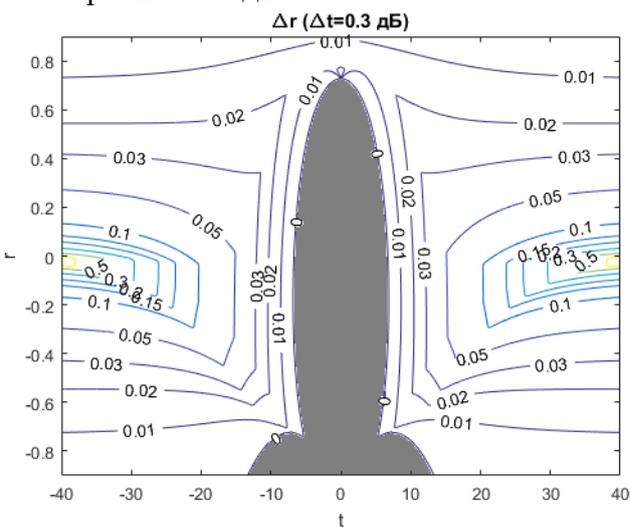


Рис. 4. График линий уровня функции Δr при $\Delta t = 0.3$ дБ

Из графиков видно, что чем больше нестабильность отношения мощностей излучаемых сигналов, тем большие требования предъявляются к стабильности коэффициента корреляции. Закрашенные области являются областями отрицательных значений, в которых требуемая стабилизация недостижима. Наиболее благоприятные условия работы обеспечиваются при работе с положительным коэффициентом корреляции, но при увеличении отношения мощностей допускается работать с отрицательными значениями.

Также произведя анализ функций коэффициентов чувствительности $A_i(t, r)$ и функций параметров ШК $m(t, r)$ и $\mu(t, r)$, приходим к выводу, что с уменьшением параметра μ уменьшается нестабильность самого параметра $\Delta \mu$, но увеличивается нестабильность мат. ожидания Δm .

Апробация результатов

Для подтверждения полученных результатов использовались методы численного моделирования. Была реализована двухточечная модель с излучателями в координатах -1 и 1 , к которым подводились коррелированные сигналы, квадратурные компоненты которых представляют собой нормальные случайные процессы. Задавались разные значения параметров моделируемых ШК m и μ , по которым определялись отношение СКО излучаемых сигналов и их коэффициент корреляции по соотношениям [3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma = \tan \left[\frac{1}{2} \arccos \left(\frac{-2m\mu^2}{1+m^2\mu^2+\mu^2} \right) \right] \\ r = \frac{\mu^2 - 1 - m^2\mu^2}{(1+m^2\mu^2+\mu^2) \sqrt{1 - \left(\frac{-2m\mu^2}{1+m^2\mu^2+\mu^2} \right)^2}} \end{array} \right.$$

Далее задавались нестабильности параметров ШК $\Delta m = 0.02$ и $\Delta \mu / \mu = 0.05$, а также различные значения нестабильности отношения СКО излучаемых сигналов Δt , по которым из найденных соотношений рассчитывались требуемые $\Delta \gamma$ и Δr . Полученные нестабильности реализовывались в виде аддитивных добавок к найденным γ и r . Положение точки излучения определялось по соотношению [4]:

$$F(i) = \operatorname{Re} \left(\frac{\Delta(i)}{\Sigma(i)} \right),$$

где $\Delta(i)$ – i -ый отсчет сигнала, принятого моделью разностной диаграммой направленности пеленгатора; $\Sigma(i)$ – i -ый отсчет сигнала, принятого моделью суммарной диаграммой направленности пеленгатора. По полученной выборке $F(i)$ оценивались параметры моделируемых ШК по формулам [1]:

$$\begin{aligned} m\% &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F(i), \\ \mu\% &= \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F(i)|}. \end{aligned}$$

По найденным оценкам определялись нестабильности параметров ШК $\Delta m\% = |m - m\%|$ и $\Delta \mu\% / \mu = |\mu - \mu\%| / \mu$. Получившиеся значения сравнивались с задаваемыми.

Для значений $m = 0$, $\mu = 1$, $\Delta t = 0.1$ дБ по формулам получены значения $\gamma = 1$, $r = 0$, $\Delta \gamma = 0.0115$, $\Delta r = 0.05$, а по результатам моделирования получены величины $\Delta m\% = 0.0108$ и $\Delta \mu\% / \mu = 0.0488$.

Для значений $m = 0.5$, $\mu = 4$, $\Delta t = 0.2$ по формулам получены значения $\gamma = 2.7203$, $r = 0.8087$, $\Delta \gamma = 0.0626$, $\Delta r = 0.0139$, а по результатам моделирования получены величины $\Delta m\% = 0.0062$ и $\Delta \mu\% / \mu = 0.0503$.

Стоит отметить, что нестабильность параметров моделируемых ШК может немного превышать заданные значения. Это связано с тем, что в формуле (2) сделано допущение $dm \cong \Delta m$, $d\mu \cong \Delta \mu$.

Выводы

1. Получены соотношения, позволяющие для каждого набора параметров шумов координат $\{m, \mu, \Delta m, \Delta \mu / \mu\}$ рассчитать предельно допустимые отклонения параметров излучаемых сигналов Δt и Δr .
2. Определены области значений γ и r , в которых предъявляются наименьшие требования к стабильности параметров излучаемых сигналов.
3. Методами численного моделирования подтверждена справедливость полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Островитянов Р. В., Басалов Ф. А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). - М.: Наука, 1973, - 832 с.
3. Модель распределенного радиолокационного объекта, составленная из излучателей коррелированных сигналов/ Т.И. Сабитов, А.В. Киселев, М.А. Степанов//Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая. - 2017. - вып. 4. - С. 40-43.
4. Канащенков А.И., Меркулов В.И. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. Т.1. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов. М.: «Радиотехника», 2006.—656 с.

СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЭХО-СИГНАЛОВ АНТИПОДА

Н.С. Зубанов

А.В. Киселёв, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой РПиРПУ

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, zubanov96@gmail.com

Рассмотрена геометрическая модель наблюдения радиолокационной станцией (РЛС) цели и антипода. Получены соотношения, позволяющие определить доплеровское смещение спектров принятых эхо-сигналов.

A geometric model for the observation of the target and antipode by the radar station is considered. Relations are obtained that make it possible to determine the Doppler shift of the spectrum of the received echo signals.

Введение

При радиолокационном наблюдении и сопровождении низколетящего объекта возникают ошибки определения положения цели. Эти ошибки вызваны многотрассовым распространением эхо-сигналов и обусловлены их отражением от поверхности земли [1, 2]. Так на вход приёмника кроме эхо-сигнала, прошедшего путь РЛС-цель-РЛС, попадают эхо-сигналы прошедшие путь РЛС-цель-подстилающая поверхность-РЛС и путь РЛС-подстилающая поверхность-цель-подстилающая поверхность-РЛС, что проиллюстрировано на рисунке 1. Приём такого сигнала РЛС интерпретирует это как появление двух целей: одной реально существующей и абстрактной (зеркального антипода) расположенной зеркально относительно отражающей поверхности. Учитывать эти ошибки, безусловно, необходимо.

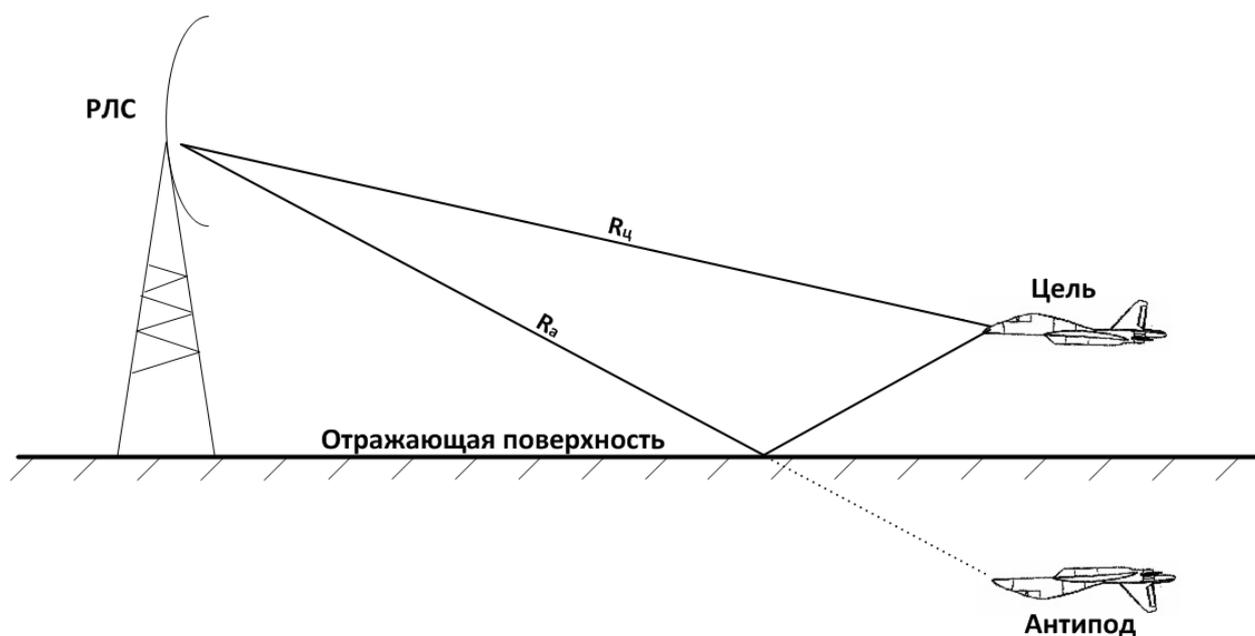


Рисунок 1 – Многотрассовое распространение эхо-сигналов

Теория

В спектре принятого сигнала присутствуют составляющие, характерные не только для прямого пути прохождения эхо-сигнала. Зная геометрию распространения эхо-сигналов, определить положение этих составляющих в спектре не представляет особого труда. Попробуем смоделировать данную ситуацию и получить расчётные соотношения для спектральных составляющих с учётом многотрассового распространения эхо-сигналов (см. рис. 2).

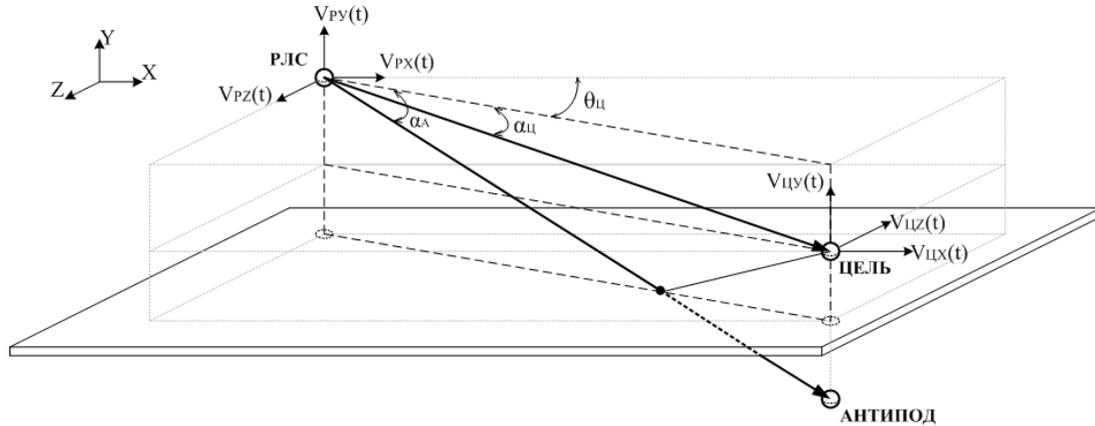


Рисунок 2 – Геометрическая модель

Зададимся начальными параметрами. Будем считать известными рабочую длину волны РЛС $-\lambda$, длительность зондирующего импульса $-\tau_u$, дистанцию между целью и РЛС по соответствующим координатам $-D_{X0}, D_{Z0}$, и высоты цели и РЛС $-H_{C0}, H_{P0}$. Пускай Δt – временной шаг между измерениями, а N – количество этих шагов. Тогда каждый момент времени можно определить как $t_n = n \cdot \Delta t$. Полагается, что скорости цели и РЛС в каждый момент времени известны, то есть заданы их проекции на соответствующие оси:

$$V_{PXn} = V_{PX}(t_n), V_{PYn} = V_{PY}(t_n), V_{PZn} = V_{PZ}(t_n) \text{ – для РЛС и}$$

$$V_{CXn} = V_{CX}(t_n), V_{CYn} = V_{CY}(t_n), V_{CZn} = V_{CZ}(t_n) \text{ – для цели.}$$

Исходя из геометрической модели, представленной на рисунке 2, введём зависимости высот РЛС и цели, а также дистанции между РЛС и целью в зависимости от момента времени. Так в каждый момент времени высота РЛС над землёй определяется выражением

$$H_{Pn} = H_{Pn-1} + V_{PYn} \cdot t_n,$$

а высота цели определяется выражением

$$H_{Cn} = H_{Cn-1} + V_{CYn} \cdot t_n.$$

Дистанция между целью и РЛС по координатной оси X определяется как

$$D_{Xn} = D_{Xn-1} + (V_{CXn} - V_{PXn}) \cdot t_n,$$

а по координатной оси Z как

$$D_{Zn} = D_{Zn-1} + (V_{CZn} - V_{PZn}) \cdot t_n.$$

Зная высоту и дистанцию между РЛС и объектом наблюдения, несложно определить азимутальное и угломестное положение цели. Зависимость углов места цели от момента времени имеет вид

$$\alpha_{Cn} = \arctg\left(\frac{H_{Pn} - H_{Cn}}{\sqrt{D_{Xn}^2 + D_{Zn}^2}}\right),$$

а зависимость угла места антипода от момента времени

$$\alpha_{An} = \arctg\left(\frac{H_{Pn} + H_{Cn}}{\sqrt{D_{Xn}^2 + D_{Zn}^2}}\right).$$

Азимутальные углы цели и антипода совпадают и определяются как

$$\theta_n = \operatorname{arctg}\left(\frac{DZ_n}{DX_n}\right).$$

Из рисунков 1 и 2 видно, что расстояние от РЛС до цели в каждый момент времени можно найти как

$$R_{Цn} = \sqrt{D_{Xn}^2 + D_{Zn}^2 + (H_{Pn} - H_{Цn})^2},$$

а расстояние до антипода больше и определяется как

$$R_{An} = \sqrt{D_{Xn}^2 + D_{Zn}^2 + (H_{Pn} + H_{Цn})^2}.$$

Временные задержки эхо-сигналов

Зная расстояние до объекта и скорость распространения электромагнитных волн в среде – c , можно определить временную задержку эхо-сигнала. Временная задержка эхо-сигнала отраженного от цели равна

$$\tau_{Цn} = \frac{2 \cdot R_{Цn}}{c}.$$

Для побочных путей распространения эхо-сигналов временные задержки определяются следующим образом:

$$\tau_{Цn} = \frac{2 \cdot R_{Цn}}{c}, \quad \tau_{Цn} = \frac{2 \cdot R_{Цn}}{c}.$$

Доплеровские смещения

Зная рабочую длину волны зондирующего сигнала, предполагаемые скорости движения РЛС и цели, а также предполагаемое угловое положение цели можно определить соответствующее доплеровское смещение спектра сигнала. Так для эхо-сигнала отраженного непосредственно от цели доплеровское смещение можно найти как

$$f_{Цn} = \frac{2}{\lambda} [(V_{ЦXn} - V_{PXn}) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\alpha_{Цn}) + (V_{ЦYn} - V_{PYn}) \cdot \sin(\alpha_{Цn}) + (V_{ЦZn} - V_{PZn}) \cdot \sin(\theta_n) \cdot \cos(\alpha_{Цn})].$$

А для эхо-сигналов пришедший по побочным путям распространения доплеровские смещения определяются как

$$f_{A1n} = \frac{1}{\lambda} [(V_{ЦXn} - V_{PXn}) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\alpha_{Цn}) + (V_{ЦYn} - V_{PYn}) \cdot \sin(\alpha_{Цn}) + (V_{ЦZn} - V_{PZn}) \cdot \sin(\theta_n) \cdot \cos(\alpha_{Цn}) + (V_{ЦXn} - V_{PXn}) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\alpha_{An}) + (V_{ЦYn} - V_{PYn}) \cdot \sin(\alpha_{An}) + (V_{ЦZn} - V_{PZn}) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\alpha_{An})],$$

$$f_{A2n} = \frac{2}{\lambda} [(V_{ЦXn} - V_{PXn}) \cdot \cos(\theta_n) \cdot \cos(\alpha_{An}) + (V_{ЦYn} - V_{PYn}) \cdot \sin(\alpha_{An}) + (V_{ЦZn} - V_{PZn}) \cdot \sin(\theta_n) \cdot \cos(\alpha_{An})].$$

Заключение

Получены формулы для расчета временных задержек и доплеровских смещений эхосигналов, пришедших к РЛС через многолучевой канал распространения. Эти соотношения могут быть использованы при решении задач численного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольникова. Пер. с англ. под общей ред. В.С. Вербы. В 2 книгах. Книга 1. М.: Техносфера, 2014, 672 с.
2. Морская радиолокация В. И. Винокуро. Л.: Судостроение, 1986, 256 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ДВОИЧНОГО АМПЛИТУДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

И.А. Бородулина

Научный руководитель: М.А. Степанов

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, borodulinairina1994@gmail.com

В работе исследованы двоичные амплитудные распределения для фазированной антенной решетки 1x84 элементов. Распределения получены с помощью разбиения решетки на подрешетки и последующего квантования оконных функций. Описаны преимущества использования таких амплитудных распределений.

The binary amplitude distributions for the phased array of 1×84 elements are investigated. The distributions are obtained by partitioning the lattice into sublattices and then quantifying the window functions. Advantages of using such amplitude distributions are described.

Радиолокация занимает важную позицию в современном мире. Обнаружение и сопровождение воздушных целей обеспечивается наземными радиолокационными комплексами. Антенной в таких комплексах часто служит фазированная антенная решетка (ФАР).

Важнейшим этапом разработки таких антенн является моделирование решеток и диаграмм направленности с заданными характеристиками, такими как уровень боковых лепестков, ширина луча, излучаемая мощность и др.

При моделировании АР достаточно остро стоит вопрос снижения уровня бокового излучения, удовлетворяющего требованиям, которые предъявляются современным ФАР. Именно поэтому большие усилия направлены на исследование и решения этой задачи. Одним из путей решения является использование амплитудных распределений. Исследования в данном направлении могут принести хорошие результаты.

Тема разреженных антенных решеток ранее неоднократно затрагивалась в научных изданиях, однако мной был рассмотрен такой алгоритм их моделирования, который ранее не затрагивался в научных работах других исследователей. При рассмотрении немалого количества исследований на подобную тематику, аналогичных работ других авторов в общедоступных источниках мной обнаружено не было.

При использовании стандартных куполообразных распределений излучаемая мощность антенной решетки сильно падает в сравнении с равномерным распределением, двоичное распределение при достаточно большом количестве включенных элементов позволяет получить выигрыш в излучаемой мощности в сравнении с обычными амплитудными распределениями.

Кроме того, имеется погрешность при выставлении ослабления на аттенюаторах излучающих элементов, что влечет за собой образование ДН с характеристиками, отличающимися от заданных. Решением такой проблемы может стать задание двоичных амплитудных распределений, где излучающий элемент находится либо во включенном, либо в выключенном состоянии.

Для задания двоичного амплитудного распределения, решетка 1x84 разбивается на подрешетки, состоящие из 3, 4 или 5 элементов. В качестве примера рассмотрим разбиение решетки на подрешетки из трех элементов. Квантуем весовую функцию на 2^n-1 (где n количество элементов в подрешетке) уровней. Для подрешетки из трех элементов равномерно распределяем 7 уровней (001, 010, 011, 100, 101, 110, 111) Рисунок 1.

Для формирования двоичного амплитудного распределения решетки применяем наиболее распространенные весовые функции, такие как как окно Хемминга, окно Блэкмана-

Харриса, окно Чебышева, Гаусса, Кайзера, Тьюки и др.

Выбираем среднее значение весовой функции для подрешетки, состоящей из трех элементов и приводим ей в соответствие двоичное число амплитудного распределения. В результате получаем двоичное амплитудное распределение для решетки 1x84 элементов. Для подрешетки, состоящей из 4 или 5 элементов проводятся аналогичные расчеты.

При квантовании вышеназванных амплитудных распределений для подрешеток из 3, 4 и 5 элементов, были получены диаграммы направленности, у которых произведена оценка уровня боковых лепестков и ширина луча на уровне -3 дБ.

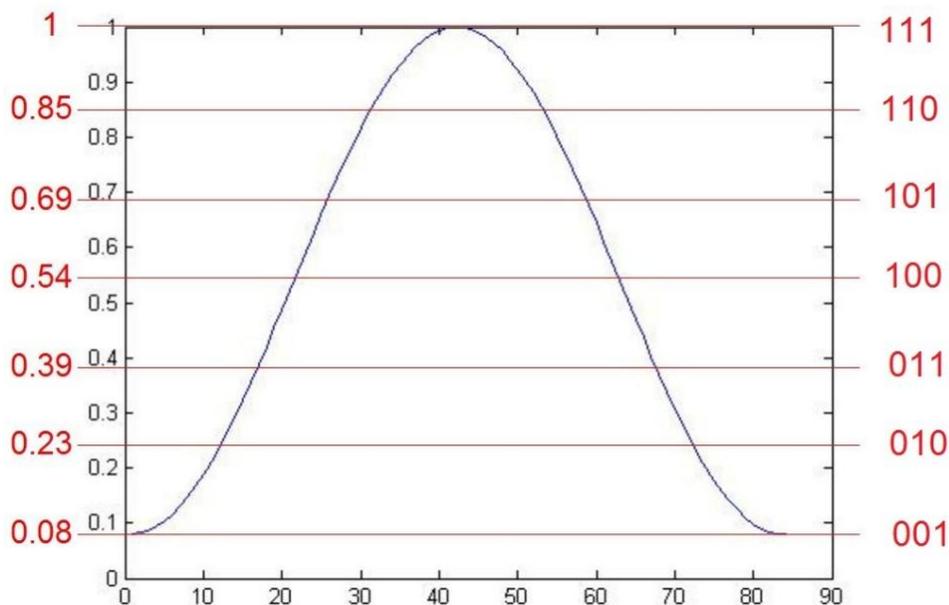


Рисунок 1 – Разбиение амплитудного распределения на уровни.

Наиболее оптимальным по уровню боковых лепестков (-18,56 дБ) и ширине главного лепестка ($1,24^\circ$) оказалось окно Тьюки (количество элементов в подрешетке 5) распределение приведено на Рисунке 2. Количество включенных элементов при таком распределении равно 68.

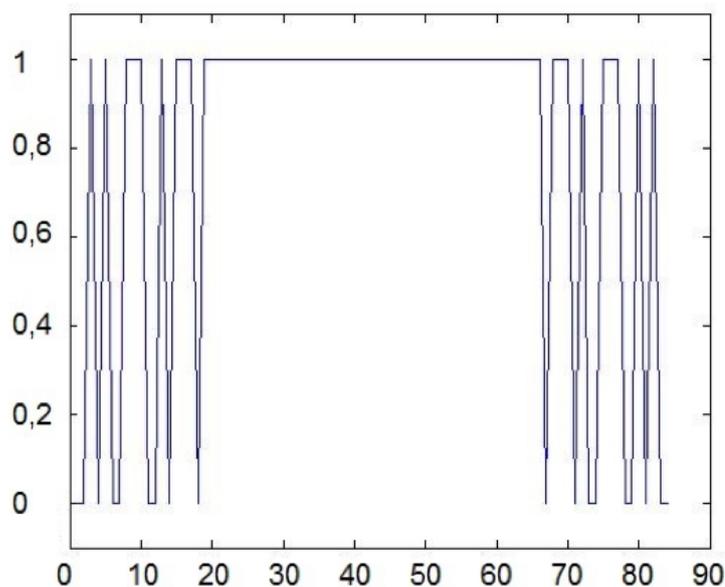
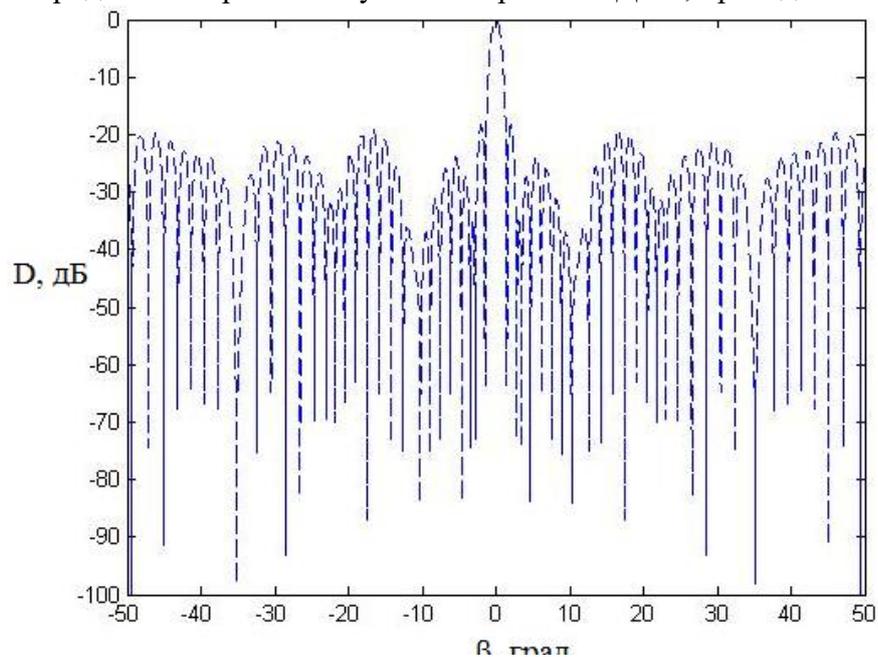


Рисунок 2 – Двоичное амплитудное распределение проквантованного окна Тьюки.

Результатом проделанной работы служит построенная ДНА, приведенная на Рисунке 3.



Полученные результаты актуальны в современном мире и могут быть применены в радиолокационной технике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Воскресенский Д. И., Грановская Р. А., Гостюхин В. Л., Филипов В. С. и др. «Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов». Под редакцией профессора Воскресенского Д. И., М., Учебное пособие для вузов. «Советское радио», 1972.
2. И. Н. Корбанский «Антенны». М., Учебное пособие для вузов. «Энергия», 1973.
3. А. Л. Драбкин и В. Л. Зусенко «Антенно-фидерные устройства», М., Учебник по курсу антенно-фидерных устройств. «Советское радио», 1961.

СВОЙСТВА ОТРАЖЕНИЙ ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ МОДЕЛИ

М.В.Орешкина

Научный руководитель: д.т.н., профессор А.В.Киселев

**Новосибирский Государственный Технический Университет
г. Новосибирск, oreskina.m@yandex.ru**

Представлен обзор математических моделей сигналов, отраженных от поверхности земли, для наземных РЛС кругового обзора. Предложена модель эхосигнала на основе дискретного задания отражающих свойств поверхности.

The article presents an overview of the land clutter mathematical models for surface-based all-round looking radars. The model of echo signal based on a discrete reflecting property specification of the surface is proposed.

Введение

Имитационное моделирование является распространенным способом проверки работоспособности РЛС. Одной из задач моделирования является выбор модели отражений, которая зависит от параметров станций и требуемой радиофизической сцены [1-3]. Целью данной статьи является обзор параметров эхосигналов от поверхности и модели, описывающие эти свойства.

Энергетические свойства сигналов.

Основным параметром отраженного сигнала для поверхностно распределенных объектов, к которым относится земная поверхность, является мощность сигнала, которая пропорциональна удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР) [1-8]. Сложность ее аналитического задания заключается в крайней широком разнообразии покровов земной поверхности. Также на значения отраженной мощности влияет время года, содержание влаги в почве и параметры радиолокационной станции (РЛС), такие как поляризация и рабочая частота [1-4]. На значение УЭПР сильно влияет угол, под которым происходит обзор поверхности [2,3]. С уменьшением угла падения значение УЭПР уменьшается. Для малых углов скольжения, на которых работают наземные РЛС, наибольшее отражение приходит от вертикальных объектов, поэтому интенсивность отражений больше зависит от вертикальной протяженности объектов, чем от горизонтальной [1-5].

Модели отражений от земной поверхности на основе математической статистики.

С математической точки зрения сигнал от поверхности земли представляет собой случайный процесс [1-8]. Изменение сигнала происходит со временем (в результате движения покровов по действием ветра) и в пространстве (при смещении положения ДН антенны). Интенсивность отраженного сигнала зависит от плотности распределения вероятностей (ПРВ), а закон ее изменения определяют корреляционные характеристики [1]. Свойства, заданные корреляционными функциями в пространстве и времени эквивалентны информации, содержащейся в спектре случайного процесса. Рассмотрим подробнее статистические зависимости для УЭПР.

Временная статистика: ПРВ интенсивности отражений.

Исследованию статистических зависимостей интенсивности от времени наблюдения посвящено много работ [1,2]. В настоящее время наиболее приближенной к реальности считается модель распределения Вейбулла [1,2,7,8]:

$$p(\sigma) = \frac{1}{a_w} \cdot c \cdot \sigma^{\frac{1}{a_w}-1} \cdot \exp\left(-c \cdot \sigma^{\frac{1}{a_w}}\right),$$

где c – УЭПР, a_w – параметр формы, c – параметр масштаба.

Временная статистика: корреляционная функция.

Для импульсных РЛС, при использовании в качестве модулирующего сигнала последовательности прямоугольных импульсов, спектр сигнала зондирующего радиоимпульса представляет собой последовательность гармоник с огибающей вида $\sin(x)/x$. Расстояние между гармониками равно частоте повторения импульсов. Вследствие движения покровов из-за воздействия ветра, а так же при движении антенны РЛС в режиме обзора, в спектре отраженного сигнала эти гармоники расширяются [2,4].

В настоящее время наиболее точной моделью расширения гармонических составляющих спектра сигнала, вызванное ветровым воздействием, является экспоненциальная модель [1,2]:

$$S(f) = \frac{\ln(2)}{B_3} \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot \ln(2)}{B_3} \cdot |f|\right),$$

где B_3 - ширина спектра по уровню минус 3 дБ.

Корреляционная $r(t)$ функция связана с энергетическим спектром парой преобразований Фурье.

Пространственная статистика: ПРВ интенсивности отражений.

Пространственные статистические распределения показывает, насколько сильные отражения у данного множества точек. Интенсивность отражений зависит от типа покрова, угла обзора и частоты РЛС [1-3,8]. В пределах одного покрова отражения так же не являются однородными.

В [8] на основе анализа законов распределения локальных углов наклона было получено следующее распределение:

$$p(\sigma) = \frac{1}{\sigma^{\left(1-\frac{10}{A}\right)} \cdot \frac{A}{10} \cdot C^{A/10} \cdot \sigma_\zeta \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\sigma^{10/A} - \psi \cdot C^{10/A})^2}{2 \cdot C^{A/5} \cdot \sigma_\zeta^2}\right),$$

где σ – УЭПР покрова, σ_ζ^2 – дисперсия распределения локальных углов наклона, A и C – параметры зависящие от типа покрова, ψ – угол скольжения.

Как видно среднее значение УЭПР имеет сложное нестандартное распределение. Однако в [8] представлено доказательство, того что для растительных покровов, при низких углах скольжения эта плотность распределения оказывается гауссовой в области неотрицательных значений.

Пространственная статистика: корреляционная функция.

Движение луча РЛС во время обзора так же вызывает пространственную декорреляцию. В [1,7] описаны эксперименты, результаты которых показали наличие пространственной корреляции, как по дальности, так и в азимутальном направлении. Однако аналитические выражения получены не были.

Анализ монохроматических изображений [9] показал, что коэффициент корреляции флюктуационной составляющей имеет вид:

$$r(\alpha) = \exp\left(-\frac{\alpha}{C_c}\right),$$

где C_c – радиус корреляции флуктуаций УЭПР.

Так как радиолокационные изображения подобны монохроматическим, то соответственно это корреляционная зависимость актуальна для мощностей и, соответственно, УЭПР отраженных сигналов.

Применение математических моделей для имитации эхосигналов.

Изучение статистических характеристик помеховых сигналов нужно для разработки оборудования для проверки РЛС – имитаторов эхо-сигналов. Для имитации сигналов необходимо сформировать случайный процесс, статистические характеристики которого соответствуют выбранной модели поверхности земли, представленной картой местности. Как видно из обзора отраженный сигнал представляет собой случайный процесс характеристики которого, как в пространственные, так и временные, определяются двумя факторами – типом данного покрова и флуктуациями его УЭПР.

Учитывая вышесказанное можно предложить следующую модель интенсивности отраженного сигнала можно представить в виде:

$$P(\alpha, d, t) \sim \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} [(\sigma_{cp}(\alpha, d) + \sigma_{случ}(\alpha, d, t)) \cdot k(\alpha_m - \alpha) \cdot k(d_n - d)],$$

где

$$k(\alpha) = \begin{cases} 1, & \text{если } -0,5 \cdot \Delta \leq \alpha < 0,5 \cdot \Delta \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

α, d – координаты азимута и дальности, t – время, σ_{cp} – постоянная компонента, зависящая от типа покрова, $\sigma_{случ}$ – случайная компонента, имеющая пространственно-временные ПРВ и корреляционную функцию, Δ – шаг дискретизации.

Приведенная модель отражает, как статистические свойства УЭПР, так и, требуемую для имитации, дискретность задания поверхности.

Заключение.

В статье рассмотрено современное состояние проблемы моделирования помех от поверхности земли. На основании обзора статистических свойств земной поверхности предложена модель эхосигнала при дискретном задании карты местности. Полученная математическая модель может использоваться для оценки параметров имитируемых сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. J. B. Billingsley, *Low-Angle Radar Land Clutter – Measurement and Empirical Models*, Norwich, NY: William Andrew Publishing, 2002.
2. Под редакцией М.И. Скольникова, *Справочник по радиолокации*, пер. с английского под общей ред. В.С. Вербы, в 2 книгах, Москва: Техносфера, 2014.
3. D. Le Hellard, *Ground clutter simulation for surface-based radars*, in IEEE International Conference, pp. 579-582, 1995.
4. N. Levanon, *Radar Principles*, First Edition, Wiley-Interscience, 1988.
5. F. E. Nathanson, *Radar Design Principles*, Second Edition, SciTech Publishing, Inc., 1999.
6. П. А. Бакулев, В. М. Степин, *Методы и устройства селекции движущихся целей*. – М: Радио и связь, 1986.
7. J. B. Billingsley, A. Farina, F. Gini, M. V. Greco, L. Verrazzani, *Statistical Analyses of Measured Radar Ground Clutter Data*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol.35, no. 2, pp.579-593, 1999.
8. Г.П. Кулемин, Е.А. Горошко, Е.В. Тарнавский, *Пространственно –временные характеристики обратного рассеяния от земной поверхности*, Успехи современной радиоэлектроники, №12, с. 60-70, 2004.
9. А. Хабиби, *Двумерная байесовская оценка изображений*, ТИИЭР, № 7, с. 153-159, 1972.

АНАЛИЗ РАБОТЫ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА ДВУМЕРНОЙ ПРВ КОРРЕЛИРУЮЩИХ АМПЛИТУД

А. В. Калинин

Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, temon93@mail.ru.

Методами численного моделирования проведено сравнение эффективности распознавания целей для случаев использования в качестве признака распознавания интенсивностей эхо-сигналов и совместно интенсивностей эхо-сигналов и корреляции межпериодных флуктуаций их амплитуд.

Numerical simulation methods compare the efficiency of target recognition for cases of use as a sign of recognition of echo signal intensities and jointly intensities of echo signals and correlation of interperiodic fluctuations of their amplitudes

Рассматривается алгоритм распознавания по двумерному признаку – средней ЭПР класса и коэффициенту корреляции амплитуд отраженного сигнала. Возможность применения коэффициента корреляции как признака распознавания основывается на том, что скорость флуктуаций амплитуд эхосигнала зависит от размеров цели [1].

Совместное распределение амплитуд отраженных сигналов в двух соседних лучах ДНА (или разнесенных во времени положениях луча ДНА) описывается двумерным распределением Рэлея [2], которое имеет вид:

$$W_2(A_1, A_2 / i) = \frac{A_1 \cdot A_2}{\sigma^4 \cdot (1 - R^2)} \cdot \exp\left(-\frac{A_1^2 + A_2^2}{2 \cdot \sigma^2 \cdot (1 - R^2)}\right) I_0\left(\frac{R \cdot A_1 \cdot A_2}{\sigma^2 \cdot (1 - R^2)}\right), \quad (1)$$

где A_1 и A_2 – амплитуды эхосигналов в разнесенные моменты времени; σ – среднеквадратическое отклонение амплитуд, определяемое величиной средней ЭПР и уровнем тепловых шумов приемника; R – коэффициент корреляции амплитуд; $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка; i – номер класса, к которому относится цель. Подробное описание и вывод решающих правил для двух и трех классов данного алгоритма представлено в [3].

В алгоритме распознавания, основанном на двумерной ПРВ коррелирующих амплитуд, решение выносится по совокупности двух признаков – корреляционного и энергетического (среднее значение ЭПР).

Цель настоящей работы – оценить влияние корреляционных признаков на вероятность правильного распознавания.

Для этого сравним характеристики распознавания для ПРВ (1) при $R \neq 0$ (см. непосредственно (1)) и $R=0$. В последнем случае имеем:

$$W_2(A_1, A_2 / i) = \frac{A_1 \cdot A_2}{\sigma^4} \cdot \exp\left(-\frac{A_1^2 + A_2^2}{2 \cdot \sigma^2}\right) \quad (2)$$

Моделирование работы алгоритма

Моделирование работы алгоритма проводилось путем генерации случайных последовательностей чисел, которые подчиняются распределению Рэлея и имеют задаваемые корреляционные свойства. Полученные последовательности применялись в

качестве моделей эхосигналов для объектов с различными параметрами.

Сведем параметры объектов, эхосигналы которых имитировались, в таблицы 1.1, 1.2.

Таблица 1.1 Параметры моделируемых радиолокационных объектов
(алфавит из двух классов)

Тип бъекта	L, м	v, м/с	F _{рыск} , град/с
Малоразмерный	4.45	825	2
Крупноразмерный	56.3	220	1

Таблица 1.2 Параметры моделируемых радиолокационных объектов
(алфавит из трёх классов)

Тип бъекта	L, м	v, м/с	F _{рыск} , град/с
Малоразмерный	4.45	825	2
Среднеразмерный	16.5	585	1.5
Крупноразмерный	56.3	220	1

где F_{рыск} – частота рыскания по курсу, L_{max} – максимальный просматриваемый размер объекта (длина или размах крыльев для самолетов), v – путевая скорость движения объекта;

Методы получения случайных величин с необходимыми корреляционными свойствами описаны в [4]. Корреляционные свойства описываются следующей формулой:

$$R(t) = \exp(-\pi t^2 F_{\sigma_e}^2), \quad (3)$$

вывод формулы (3) описан в [5].

Опираясь на методы, описанные в [4], случайную величину с рэлеевской ПРВ можно получить используя две независимые нормальные величины:

$$\xi(t) = \sigma \sqrt{\xi_1(t)^2 + \xi_2(t)^2}, \quad (4)$$

где σ – СКО генерируемых величин; $\xi_{1,2}(t)$ – нормально распределенные случайные величины с определенными корреляционными свойствами.

Алгоритм, позволяющий получить последовательность случайных чисел с нормальной ПРВ с заданными корреляционными свойствами выглядит следующим образом:

$$\xi(j) = \sum_{i=1}^N c[i]x[j-i], \quad (5)$$

где $x[j-i]$ – нормальная случайная величина с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией; N – объем генерируемой выборки; $c[i]$ – коэффициент, который зависит от требуемых корреляционных свойств случайного процесса. Для формулы (3) он вычисляется как:

$$c[i] = \frac{\sigma \sqrt{2\gamma}}{\sqrt[4]{\pi}} \exp(-2\gamma^2 i^2), \quad (6)$$

где $\gamma = \pi^{3/2} F_{\sigma_e} \Delta t$; Δt – шаг дискретизации отсчетов.

Моделирование работы алгоритмов (1) и (2) проводилось на основании формул (3) – (6), для значений параметров $\lambda=10$ см, дальностей до цели распознавания 10-250 км (шаг 10 км). Для каждого класса целей в каждом элементе дальности генерируется сто последовательностей (4), состоящих из сто отсчетов каждая.

Результаты моделирования

По результатам моделирования построим серию графиков, отражающих зависимости вероятности правильного распознавания для различного числа классов объектов без учёта корреляционного признака.

Распознавание трех классов

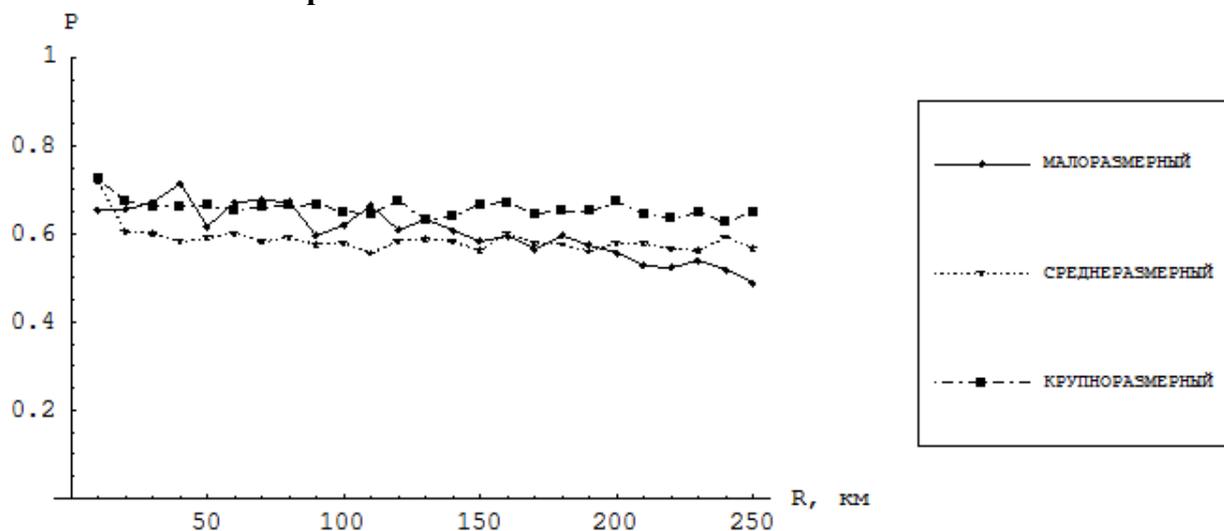


Рис.1. Зависимости вероятностей правильного распознавания трех классов без корреляционного признака.

Средние вероятности правильного распознавания:

Малоразмерная цель $P_{ср.м}=0.61$,

Среднеразмерная цель $P_{ср.с}=0.58$,

Крупноразмерная цель $P_{ср.к}=0.65$;

Распознавание двух классов

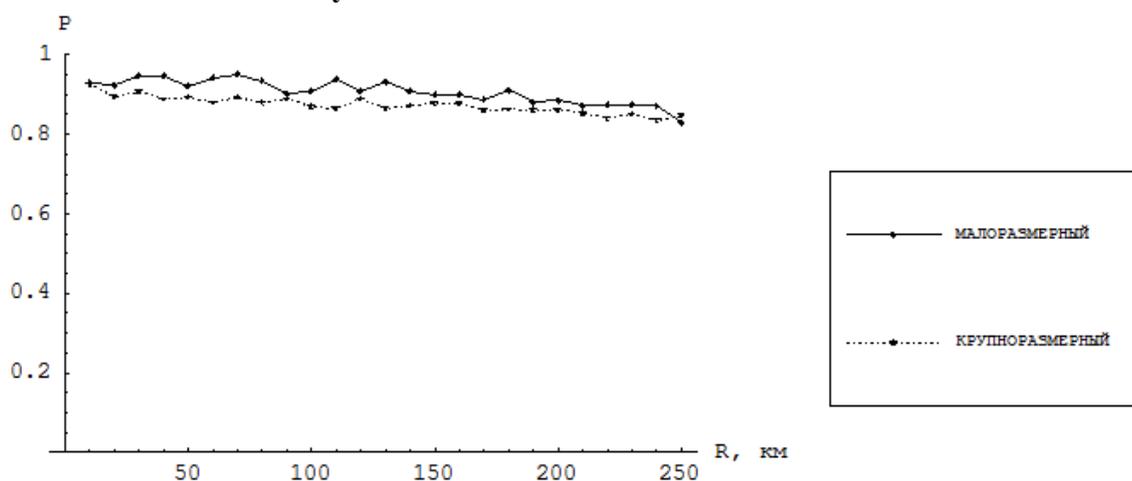


Рис.2. Зависимости вероятностей правильного распознавания двух классов без корреляционного признака.

Средние вероятности правильного распознавания:

Малоразмерная цель $P_{ср.м}=0.9$,

Крупноразмерная цель $P_{ср.к}=0.88$;

Для сравнения результатов работы алгоритма построим зависимости вероятностей

правильного распознавания для различного числа классов объектов при учёте двух признаков корреляционного и энергетического.

Распознавание трех классов

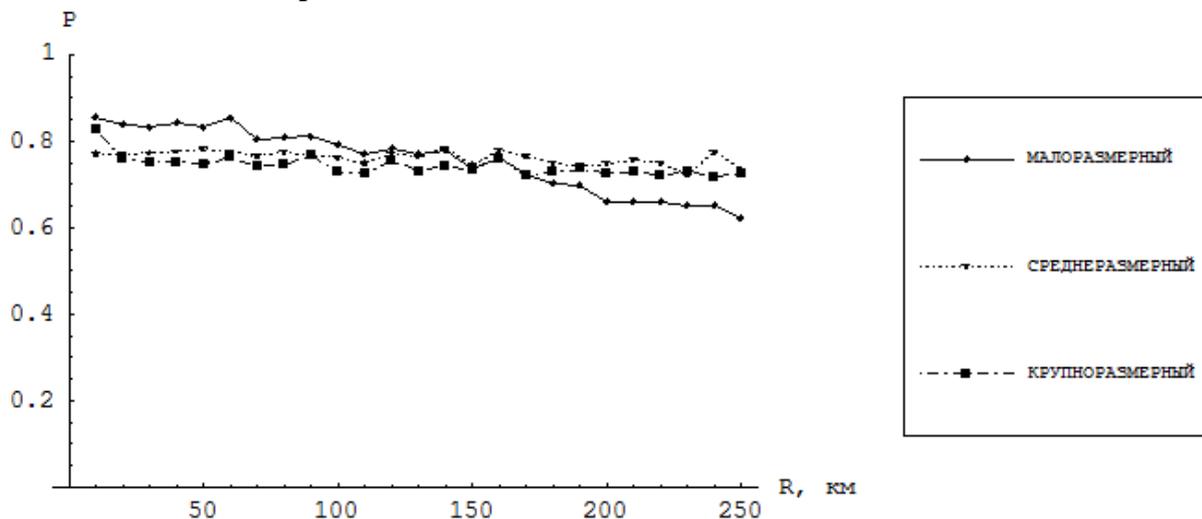


Рис.3. Зависимости вероятностей правильного распознавания трех классов.

Средние вероятности правильного распознавания:

Малоразмерная цель $P_{ср.м}=0.75$;

Среднеразмерная цель $P_{ср.с}=0.76$;

Крупноразмерная цель $P_{ср.к}=0.74$;

Распознавание двух классов

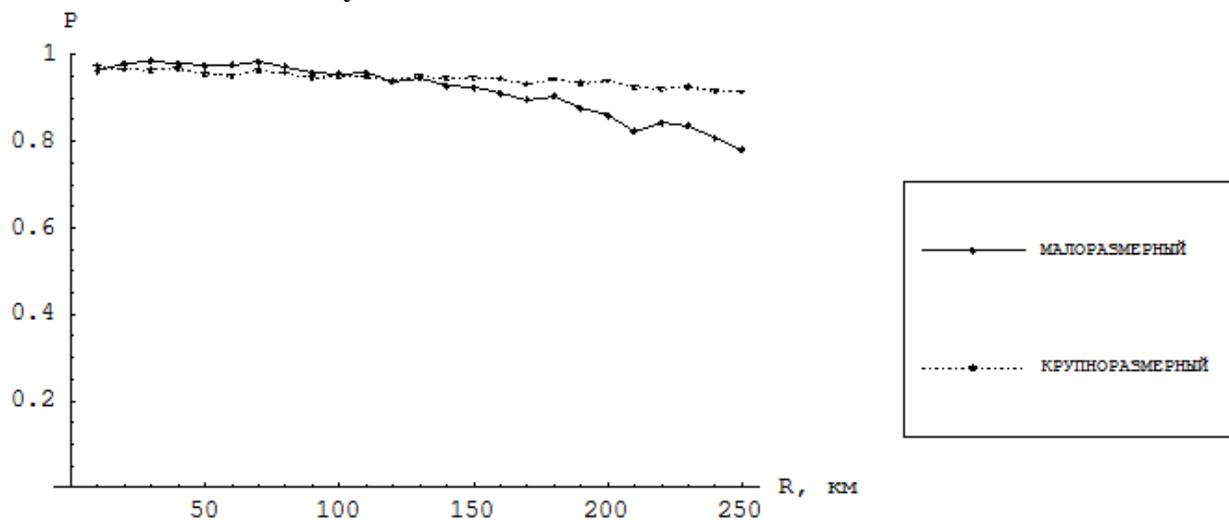


Рис.4. Зависимости вероятностей правильного распознавания двух классов.

Средние вероятности правильного распознавания:

Малоразмерная цель $P_{ср.м}=0.91$,

Крупноразмерная цель $P_{ср.к}=0.93$;

Выводы

1. Вероятности правильного распознавания объектов для алфавита из трех классов без использования корреляционного признака (используется только энергетический признак - ЭПР) существенно ниже, чем при совместном использовании энергетического и

корреляционного признаков.

2. . Вероятности правильного распознавания объектов для алфавита из двух классов без использования корреляционного признака (используется только энергетический признак - ЭПР) ниже, чем те же вероятности при совместном использовании энергетического и корреляционного признаков, но разница не так существенна как для алфавита из трех классов. Распознавание объектов для алфавита состоящего из двух классов можно проводить только по энергетическому признаку, т.к. вероятности правильного распознавания достаточно велики ($P_{ср.м}=0.91$, $P_{ср.к}=0.87$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ширман Я.Д., Горшков С.А., Лещенко С.П., Братченко Г.Д., Орленко В.М. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // Радиолокационное распознавание и методы математического моделирования. – 2000. – Сер. Радиолокация и радиометрия. – Вып.3. – С. 5–64.
2. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. - М.: Радио и связь, 1989. - 656 с.
3. Мартынов Д. О., Прудников С. Я., Киселев А. В. Распознавание классов радиолокационных целей по их ЭПР и коэффициенту корреляции отсчетов амплитуд эхосигналов // Вопросы радиоэлектроники. - 2017. Вып. 4. С. - 33-35.
4. Быков В. В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. – М.: Советское радио, 1971. –328 с.
5. Мартынов Д.О., Калинин А.В. Использование накопления и метода простого голосования при распознавании классов целей на основе совместного распределения пар амплитуд эхосигналов // Вопросы радиоэлектроники. - 2018. Вып. 4. С. – 6-9.
6. Селекция и распознавание на основе локационной информации / А.Л. Горелик, Ю.Л. Барабаш, О.В. Кривошеев, С.С. Эпштейн; под ред. А.Л. Горелика. М.: Радио и связь, 1990. 240 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУСПЕНЗИИ ЛАТЕКСНЫХ ЧАСТИЦ НА АППАРАТНО-МЕТОДИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «БИОФИЗИК»

Л.И.Дмитриева^{1,2}, Г.В.Шувалов¹, К.В.Генералов¹,
Научный руководитель: Г.В.Шувалов

¹ФГУП «Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии»,
²Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, director@sniim.ru

В настоящее время показатель электрической поляризуемости эритроцитов находится в стадии широкого обсуждения медицинским сообществом с целью его внедрения в практическую диагностику. В данной работе в качестве метода измерения величины электрической поляризуемости биологических частиц и клеток крови (эритроцитов) выбран оптический метод определения скорости движения частиц в неоднородном переменном электрическом поле. Практические исследования проводилось на аппаратно-методическом комплексе «Биофизик». Корректность проведения исследования на АМК подтверждена соответствием теоретических и экспериментальных результатов.

At present, the indicator of the electrical polarizability of erythrocytes is in the stage of wide discussion by the medical community with a view to its introduction into practical diagnostics. In this paper, as an instrument for measuring the electrical polarizability of biological particles and blood cells (erythrocytes), an optical method for determining the velocity of particles in an inhomogeneous alternating electric field was chosen. Practical research was conducted on the hardware-methodical complex "Biophysic". The correctness of the AMK study was confirmed by the agreement of the theoretical and experimental results.

Многочисленные научные исследования, выполненные в разных странах, показали незаменимую ценность измерений показателя электрической поляризуемости в диагностике ряда заболеваний человека, например, печени, сердца. В настоящее время показатель электрической поляризуемости эритроцитов находятся в стадии широкого обсуждения медицинским сообществом с целью его внедрения в практическую диагностику.

В данной работе в качестве метода измерения величины электрической поляризуемости биологических частиц и клеток крови (эритроцитов) выбран оптический метод определения скорости движения частиц в неоднородном переменном электрическом поле.

Практическое измерение величины поляризуемости эритроцитов возможно осуществлять на базе аппаратно-методического комплекса (АМК) «Биофизик», который включает в себя ряд приборов и оборудование для реализации измерительных функций и визуализации отдельной клетки в измерительной ячейке и ее реакции в ответ на воздействие неоднородного переменного электрического поля (НПЭП).

Измерение величины поляризуемости эритроцитов возможно осуществлять на базе аппаратно-методического комплекса (АМК), который строится на основе уравнения [1,2]

$$\alpha_{\text{ч}} = \frac{12 \cdot \pi \cdot \eta_{\text{ср}} \cdot r_{\text{ч}} \cdot v_{\text{ч}}}{\varepsilon \cdot \nabla E^2} \quad (1)$$

где, $\alpha_{\text{ч}}$ - объемная поляризуемость, м³;

$\eta_{\text{ср}}$ - вязкость среды, Па·с;

$v_{\text{ч}}$ - скорость поступательного движения частицы в НПЭП по пути ее движения, м/с;

$r_{\text{ч}}$ - радиус частицы, м;

ε_0 - $8,85 \cdot 10^{-12}$ диэлектрическая постоянная, Ф/м;

$\sqrt{\nabla E^2}$ - градиент квадрата напряженности электрического поля между электродами в измерительной ячейке, $\text{В}^2/\text{м}^2$.

Согласно уравнению (1) в состав АМК следует включать следующие основные приборы:

- микроскоп для визуализации отдельной клетки и ее реакции в измерительной ячейке в ответ воздействия НПЭП;
 - видеокамера для записи измерительной информации и последующей обработки результатов измерений;
 - вискозиметр для определения вязкости среды (параметр $\eta_{\text{ср}}$);
 - генератор переменного напряжения (параметр $\nabla E_{\text{ср}}^2$);
 - частотомер для измерения частоты переменного напряжения (параметр $\nabla E_{\text{ср}}^2$);
 - вольтметр для измерения величины напряжения переменного напряжения (параметр $\nabla E_{\text{ср}}^2$);
 - измерительная ячейка;
 - усилитель переменного напряжения, обеспечивающий согласование сопротивления нагрузки (измерительной ячейки) и подачу на электроды измерительной ячейки, переменного напряжения U с заданной амплитудой от задающего генератора;
 - видеокамера для регистрации потока видеоизображения от микроскопа о динамике движения клетки в измерительной камере;
 - объект - микрометры для калибровки АМК при измерениях линейных размеров клетки, расстояний между электродами измерительной ячейки.
- Внешний вид АМК представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид аппаратно-методического комплекса

С целью проведения исследования на АМК были изготовлены суспензии латексных частиц, состоящие из раствора 0,3 М сахарозы и латексных микрочастиц (polystyrene) одного из диаметров $5,7 \cdot 10^{-6}$ или $7,6 \cdot 10^{-6}$ м.

Для получения суспензии сухие латексные микрочастицы объемом (1-5) мкл помещают в пробирку объемом 1,5 мл и разводят раствором сахарозы объемом 100 мкл. Перемешивание осуществляют путем многократного интенсивного взбалтывания закрытой пробирки. Конечная концентрация латексных микрочастиц должна обеспечить наблюдение в поле измерительной камеры $\sim 20-150$ латексных частиц. При этом, в программном обеспечении (ПО) измерительно-вычислительного комплекса «Биофизик» в окне «Предпросмотр» должна появиться одна из надписей «концентрация оптимальна» или

«концентрация удовлетворительна». Если количество микрочастиц меньше или больше указанной величины и в окне «Предпросмотр» не высветилась одна из указанных выше надписей, то корректировку осуществляют путем пропорционального добавления в пробирку латексных микрочастиц или раствора 0,3 М сахарозы.

При выполнении измерения нужно нанести в центр измерительной ячейки небольшое количество суспензии латексных частиц объёмом 0,05 мл, после чего область с нанесенной суспензией накрыть покровным стеклом. В открывшемся на рабочем столе окне «Управление» ПО «Биофизик» во вкладке «Источник данных» выбрать «Видеозахват». После этого в открывшемся окне «Управление оборудованием» необходимо ввести значения времени работы генератора, амплитудного значения напряжения, частоты сигнала и задержки камеры. Регулируя яркость подсветки микроскопа сфокусировать его на частицах так, чтобы очертания границ частиц, а также очертания стенок электродов измерительной ячейки были четко различимы. В окне «Управление оборудованием» нажать кнопку «Включить генератор с камерой». После автоматически будет отснято необходимое для проведения эксперимента количество кадров. После продолжения программы перейти к новой задаче, закрыть окно «Управление оборудованием». В меню окна «Управление» выбрать пункт «Задача», далее выбрать пункт «Новое исследование». В открывшемся окне «Параметры эксперимента» указать запрашиваемые величины, после завершения нажать кнопку «Далее». В открывшемся окне «Предпросмотр» указать значения заданного диаметра исследуемых частиц, диэлектрической проницаемости среды и объекта. При необходимости регулируются значения порога дискриминации шума, степень размытия изображения, градиента сигнал-фон. Далее нажать кнопку «Старт». ПО «Биофизик» проводит анализ данных и по его завершению формирует файл Excel, в котором указаны отчетные данные полученные в ходе проведения эксперимента.

Зависимости величины поляризуемости от диаметра частиц приведена на рисунке 2.

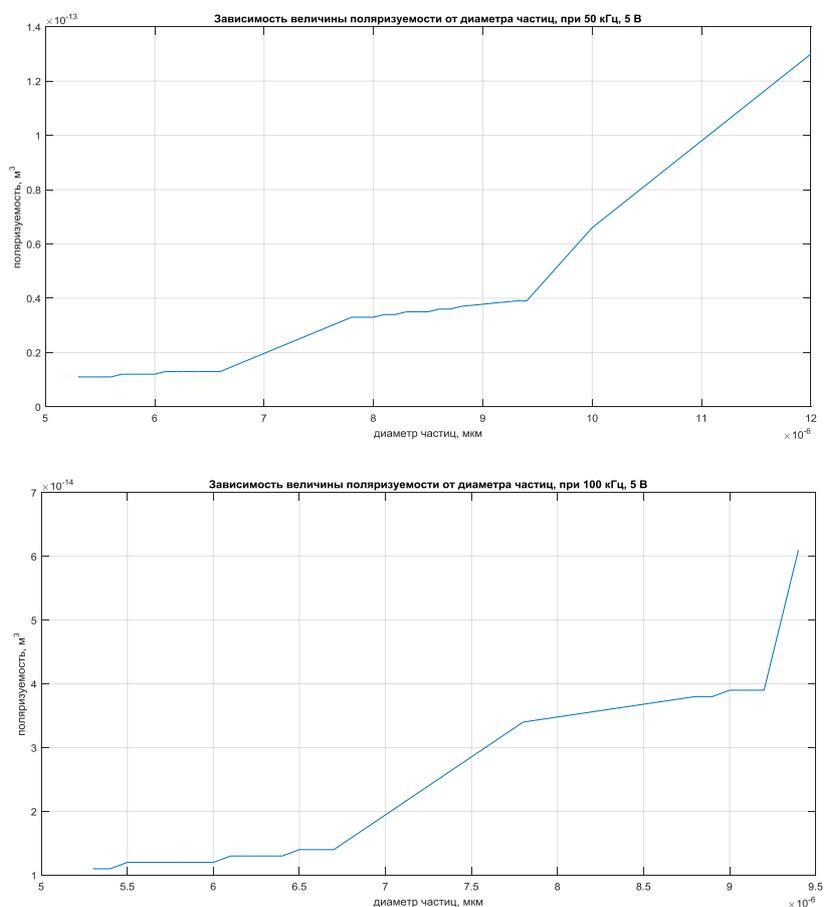


Рисунок 2 - Зависимости величины поляризуемости от диаметра частиц

Полученные экспериментальные зависимости величины поляризуемости от диаметра частиц хорошо соотносятся с уравнением 1. Это подтверждает корректность проведения исследования на АМК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 Генералов В.М., Кручинина М.В., Дурьманов А.Г., Медведев А.А., Сафатов А.С., Сергеев А.Н., Буряк Г.А., Курилович С.А., Громов А.А. Диэлектрофорез в диагностике инфекционных и неинфекционных заболеваний. – Новосибирск: Изд-во «ЦЭРИС», 2011. – 172 с.

2 Генералов К.В., Генералов В.М., Кручинина М.В., Шувалов Г.В., Буряк Г.А., Сафатов А.С. Относительная погрешность измерений коэффициента поляризуемости клеток. Измерительная техника. 2016. № 9. С. 64-67.

ФИЛЬТР С МАКСИМАЛЬНО-ПЛОСКОЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Савиных Иван Сергеевич, Кожан-оол Сайзана Буян-ооловна

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, saizana_kozhang-ool@mail.ru

Рассмотрены фильтры с максимально-плоской амплитудно-частотной характеристикой. Получено соотношение для передаточной функции фильтра с максимально-плоской характеристикой с использованием бинома Ньютона. Построены амплитудно-частотные характеристики для полученных соотношений.

Filters with a maximum-flat frequency response are considered. Relationship for the transfer function of a filter with a maximally flat frequency response by using Newton binomial is obtained. The frequency response for the relations obtained are plotted.

1. Введение

В настоящее время известно несколько фильтров с максимально-плоской амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) [1-3]. Фильтры с максимально-плоской АЧХ (МПАЧХ) отличает от других реализация их в виде структур без умножителей, либо в виде структур с умножителями на фиксированные коэффициенты [3, 4]. Также в ряде случаев имеется возможность использования целочисленной арифметики [4]. Непосредственная реализация фильтров с МПАЧХ проигрывает по количеству вычислений фильтрам синтезированным методами взвешивания и частотной выборки, а также оптимальным методом. Однако указанные свойства, в ряде случаев, позволяют реализовывать на основе фильтров с МПАЧХ более эффективные с вычислительной точки зрения устройства цифровой обработки сигналов.

Один из способов определения фильтров с МПАЧХ использует полиномы Бернштейна для задания АЧХ [3, 4]. При получении полиномов Бернштейна использовался бином Ньютона для получения основного аппроксимационного соотношения [3, 4]. Предлагается непосредственно использовать бином Ньютона для задания передаточной функции фильтра с МПАЧХ.

Цель работы – получить соотношение для определения передаточной функции фильтра с МПАЧХ используя бином Ньютона.

2. Теория

Передаточная функция всепропускающего фильтра с линейной фазовой характеристикой (ФЧХ) может быть определена как

$$H(z) = 1.$$

Пусть порядок фильтра будет равен M , тогда

$$H(z) = 1^M.$$

Искусственно введем в числитель единичные задержки с разными знаками для организации биномиального разложения

$$H(z) = 1^M = \left(\frac{4}{4}\right)^M = \frac{(4 + z^1 - z^1 + z^{-1} - z^{-1})^M}{4^M} = \frac{\left(\left(2 + z^1 + z^{-1}\right) + \left(2 - z^1 - z^{-1}\right)\right)^M}{4^M}.$$

Используя бином Ньютона получаем

$$H(z) = \frac{1}{4^M} \sum_{m=0}^M C_M^m (2 - z^1 - z^{-1})^m (2 + z^1 + z^{-1})^{M-m}; \quad C_M^m = \frac{M!}{m!(M-m)!}, \quad (1)$$

где C_M^m – биномиальный коэффициент.

Добавим в (1) возможность управлять членами суммы

$$H(z) = \frac{1}{4^M} \sum_{m=0}^M f[m] C_M^m (2 - z^1 - z^{-1})^m (2 + z^1 + z^{-1})^{M-m}, \quad (2)$$

где $f[m]$ – последовательность нулей и единиц, определяющих АЧХ.

Для фильтра нижних частот (ФНЧ) коэффициенты АЧХ $f[m]$ должны задаваться в виде единиц с последующими нулями. Именно таким образом задается АЧХ для других фильтров с МПАЧХ[3, 4].

Преобразуем выражение (2)

$$H(z) = \frac{1}{4^M} \sum_{m=0}^M f[m] C_M^m (2 - 2\cos(\theta))^m (2 + 2\cos(\theta))^{M-m}, \quad (3)$$

где $z = e^{j\omega T_d} = e^{j\theta}$, T_d – период дискретизации, ω – частота, θ – нормированная круговая частота, $\theta \in [0; 2\pi]$.

Таким образом, (3) можно записать

$$H(\theta) = \frac{1}{2^M} \sum_{m=0}^M f[m] C_M^m (1 - \cos(\theta))^m (1 + \cos(\theta))^{M-m}. \quad (4)$$

Поскольку (4) получено в общей форме на его основе могут быть получены другие основные типы фильтров, а не только ФНЧ.

3. Математическое моделирование

Для демонстрации полученного соотношения было построено семейство АЧХ ФНЧ. Порядок фильтра был выбран $M=10$. Коэффициенты, определяющие АЧХ, $f[m]$ представляли собой последовательность единиц (от 1 до 10) с последующей последовательностью нулей. При этом общее количество коэффициентов всегда составляло $M+1=11$. Семейство рассчитанных АЧХ приведено на рисунке.

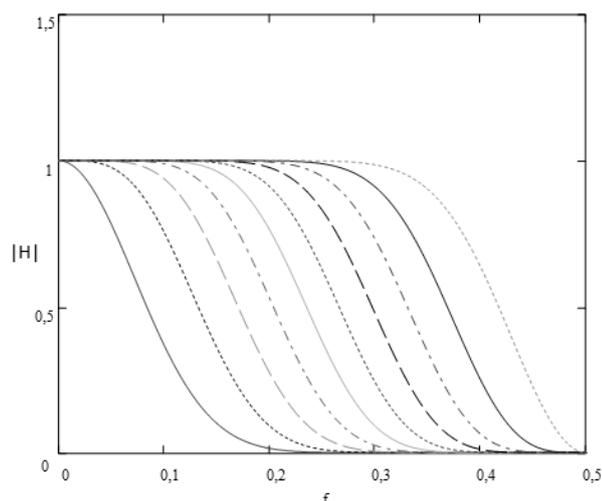


Рисунок – Семейство рассчитанных АЧХ ФНЧ

4. Выводы

Получено соотношение для передаточной функции фильтра с максимально-плоской характеристикой с использованием биннома Ньютона. Вследствие общности соотношения (4) на его основе могут быть АЧХ других основных типов фильтров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. O. Herrmann, "On the approximation problem in nonrecursive digital filter design", IEEE Trans. Circ. Theory, vol. CT-18, pp. 411-413, May 1971.
2. P. P. Vaidyanathan, "On maximally-flat linear-phase FIR filters," IEEE Trans. Circuits Syst., vol. CAS-31, pp. 830-832, Aug. 1984
3. L. R. Rajagopal and S. C. D. Roy, "Design of maximally-flat FIR filters using the Bernstein polynomial," IEEE Trans. Circuits Syst., vol CAS-34, pp. 1587-1590, Dec. 1987
4. S. Samadi, T. Cooklev, A. Nishihara, N. Fujii, "Multiplierless structure for maximally flat linear phase FIR digital filters", Electron. Lett., vol. 29, no. 2, pp. 184-185, 1993.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ СИНТЕЗА ВЗВЕШИВАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ

Савиных Иван Сергеевич, Платонова Ирина Николаевна

Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, irina_95_95@mail.ru

Получены соотношения для расчета взвешивающей функции методом частотной выборки. Определены её основные параметры: максимальные потери преобразования, паразитная амплитудная модуляция, эффективная шумовая полоса и максимальный уровень боковых лепестков спектра. Произведено сравнение синтезированной взвешивающей функции с взвешивающей функцией Хэмминга. Результаты сравнения показывают целесообразность применения метода частотной выборки для синтеза взвешивающих функций.

The expressions for calculating window by frequency sampling method are obtained. Its general parameters are defined. Worst case processing loss, scalloping loss, equivalent noise bandwidth and highest sidelobe level are these parameters. The synthesized window is compared with Hamming window. The comparison results show the expediency of applying the frequency sampling method for the window synthesis.

1. Введение

Взвешивающие функции используются при решении задач цифровой обработки сигналов [1, 2]. Наиболее часто взвешивающие функции используются при гармоническом анализе [3, 4], синтезе фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтров) [1, 2] и цифровых радиосистемах [5].

При синтезе взвешивающих функций используются различные способы и методы [3, 4]. При этом определяемых параметров взвешивающих функций достаточно много, вследствие чего не представляется возможным синтез взвешивающей функции, являющейся оптимальной во всех смыслах.

Основными параметрами взвешивающей функции являются: максимальный уровень боковых лепестков ($УБЛ_{\max}$), когерентное усиление сигнала (КУ), эквивалентная шумовая полоса по уровню 3 дБ (ЭШП), паразитная амплитудная модуляция (ПАМ) и максимальные потери преобразования (МПП) [3, 4].

При синтезе КИХ-фильтров используют метод частотной выборки [1, 2], при котором осуществляется обратное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) модифицированной идеализированной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). При задании идеализированной АЧХ отсчеты в полосе пропускания полагаются равными единице, а в полосе заграждения – нулю. Модификация идеализированной АЧХ заключается в задании в полосе перехода отсчетов, значение которых определяется исходя из условия максимизации минимального затухания в полосе заграждения. При таком подходе импульсная характеристика фильтра может быть представлена усеченным косинусным рядом [1].

Применимо к синтезу взвешивающей функции метод частотной выборки может обеспечить относительную простоту вычисления значений взвешивающей функции при минимизации максимального уровня боковых лепестков.

Цель работы – синтезировать взвешивающую функцию методом частотной выборки и сравнить ее с взвешивающей функцией, близкой по параметрам.

2. Теория

Взвешивающая функция может быть определена через обратное преобразование Фурье

от ее спектра [1].

$$s[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \mathcal{S}[k] e^{i \frac{2\pi nk}{N}}, \quad (1)$$

где N – количество отчетов взвешивающей функции, $s[n]$ – отчеты взвешивающей функции, $\mathcal{S}[k]$ – отчеты спектра взвешивающей функции.

Для того чтобы взвешивающая функция не вносила фазовых линейных искажений фаза ее спектра должна быть линейной. Необходимым и достаточным условием линейности фазы спектра взвешивающей функции является симметрия самой взвешивающей функции [1, 2]. Учитывая это, для нечетного N можно переписать (1), как

$$s[n] = \frac{1}{N} \left(|\mathcal{S}[0]| + \sum_{k=1}^{\alpha} 2|\mathcal{S}[k]| \cos \left[\frac{2\pi k(n-\alpha)}{N} \right] \right), \quad (2)$$

где $\alpha = (N-1)/2$.

Ширина спектра взвешивающих функций по уровню 0 дБ стремится к нулю [3, 4]. Для метода частотной выборки необходимо задать количество отсчетов в переходной полосе M , которое выберем равным единице. Остальные отсчеты в спектре должны быть равны нулю. Поэтому отчеты спектра взвешивающей функции, определяемой методом частотной выборки, зададим следующим образом

$$|\mathcal{S}[0]| = 1, \quad |\mathcal{S}[1]| = T, \quad |\mathcal{S}[k]| = 0, \quad \text{при } k \in [2, \alpha],$$

где T – значение коэффициента в переходной полосе, подлежащего определению в процессе синтеза взвешивающей функции.

С учетом значений отсчетов спектра можно записать (2) как

$$s[n] = \frac{1 + 2 \cdot T \cdot \cos \left[\frac{2\pi k(n-\alpha)}{N} \right]}{N}. \quad (3)$$

При задании соотношения взвешивающей функции производят нормировку таким образом, чтобы ее максимальное значение было равно единице [3, 4].

$$w[n] = \frac{s[n]}{\max(s[n])} = \frac{s[n]}{1 + 2 \cdot T} = \frac{1 + 2 \cdot T \cdot \cos \left[\frac{2\pi k(n-\alpha)}{N} \right]}{1 + 2 \cdot T}. \quad (4)$$

Для определения взвешивающей функции необходимо найти коэффициент T . Согласно методу частотной выборки коэффициенты в полосе перехода определяются из условия минимума АЧХ (а в данном случае спектра) в полосе заграждения (в данном случае это соответствует минимизации $УБЛ_{\max}$) [1, 2].

3. Определение коэффициента T

Определения коэффициента T производилось на интервале $[0, 1]$ численно. Сначала осуществлялся поиск значения T методом перебора для минимального значения $УБЛ_{\max}$, а затем значения T уточнялось методом дихотомии. При этом количество отсчетов спектра было выбрано – $N=501$, а количество вычисляемых значений спектра между его отсчетами – 51.

Полученное значение коэффициента $T=0,42876$. С учетом этого выражение (4) принимает вид

$$w[n] = 0,538352 + 0,461648 \cdot \cos\left[\frac{2\pi k(n-\alpha)}{N}\right]. \quad (5)$$

Из [3, 4] следует, что (5) близка к определению взвешивающей функции Хэмминга. Поэтому было произведено сравнение взвешивающей функции, полученной методом частотной выборки (ЧВ) по основным параметрам с функцией Хэмминга, приведенное в таблице.

Таблица

ВФ	УБЛ _{max} , дБ	К _y	ЭШП, бин	ПАМ, дБ	МПП, дБ
ЧВ	-43,187	0,538	1,37	1,74	3,107
Хэмминга[3]	-43	0,54	1,36	1,78	3,1

4. Выводы

Проанализировав значения параметров, приведенных в таблице можно сделать вывод, что взвешивающая функция синтезированная методом частотной выборки, является близкой по расчетному соотношению и параметрам к взвешивающей функции Хэмминга. Таким образом, метод частотной выборки позволяет синтезировать взвешивающие функции с параметрами не уступающими существующим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ifeachor E.C. Digital signal processing: a practical approach / E.C. Ifeachor, B.W. Jervis. - New York : Prentice Hall, 2002. - 933 p.
2. Lyons R.G. Understanding digital signal processing. - NJ: Prentice Hall, 2011. - 954 p.
3. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Оконные функции для гармонического анализа сигналов. М.: Техносфера, 2014. – 112 с.
4. Harris F.J. On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform, – Proc. IEEE vol. 66, pp. 51 – 83, Jan. 1978.
5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: 2-е издание. Перевод с английского. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

СОГЛАСОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО И КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВУМЯ ОТРЕЗКАМИ ДЛИННЫХ ЛИНИЙ

Савиных Иван Сергеевич, Сарвилина Виктория Вячеславовна

Новосибирский государственный технический университет
г. Новосибирск, vikasarvilina@mail.ru

Рассмотрен способ согласования вещественного сопротивления генератора с комплексным сопротивлением нагрузки при использовании в качестве согласующего устройства двух отрезков длинной линии одинаковой электрической длины. Получены соотношения для расчета волновых сопротивлений, электрической длины и выражения для определения продольных размеров отрезков длинных линий, составляющих рассматриваемое согласующее устройство. Проведено математическое моделирование, подтверждающее целесообразность применения рассматриваемого согласующего устройства.

The method of matching of generator real impedance with the complex load impedance when using two lengths of the same electrical length as a matching device is considered. The relationships for the calculation of wave impedances, electric length, and expressions for determining the lengths of transmission lines constituting the matching device under consideration are obtained. Mathematical modeling which confirming the expediency of using the matching device in question was carried out.

1. Введение

При решении задачи согласования сопротивлений генератора и нагрузки определяющим является условие максимизации передаваемой мощности из генератора в нагрузку [1]. При согласовании вещественного и комплексного сопротивлений синтез согласующего устройства, как правило, производится исходя из минимизации коэффициента отражения в заданной полосе частот [1]. Условия максимизации коэффициента передачи по мощности и минимизации коэффициента отражения в этом случае являются идентичными, а минимизация коэффициента отражения проще с математической точки зрения [1]. При этом сопротивление генератора, считается вещественным, а сопротивление нагрузки комплексным, даже если сопротивление генератора, является комплексным, а сопротивление нагрузки вещественным. Такое представление является правомочным вследствие линейности и взаимности согласующего устройства [1, 2].

Для согласования комплексного и вещественного сопротивлений ранее было предложено использовать двухступенчатый трансформатор, состоящий из двух отрезков длинной линии разных продольных размеров [3]. В рассмотренном случае компенсацию реактивной составляющей комплексного сопротивления осуществляет отрезок длинной линии протяженностью $\lambda/8$, а трансформацию активной составляющей сопротивления – отрезок длинной линии протяженностью $\lambda/4$ [3].

Предлагается использовать в качестве согласующего устройства два отрезка длинной линии одинаковой длины, что предположительно позволит уменьшить общий продольный размер согласующего устройства при соизмеримом качестве согласования.

Целью данной работы является получение соотношений для расчета волновых сопротивлений, электрической длины и выражения для определения продольных размеров отрезков длинных линий, составляющих согласующее устройство, состоящее из длинных линий одинаковой длины.

2. Теория

Согласующее устройство, состоящее из длинных линий одинаковой длины представлено на рисунке 1. Суммарный коэффициент отражения системы может быть записан на рабочей частоте следующим образом:

$$\dot{\Gamma}_{\Sigma} = \dot{\Gamma}_1 + \dot{\Gamma}_2 e^{-j2\theta} + \dot{\Gamma}_3 e^{-j4\theta}.$$

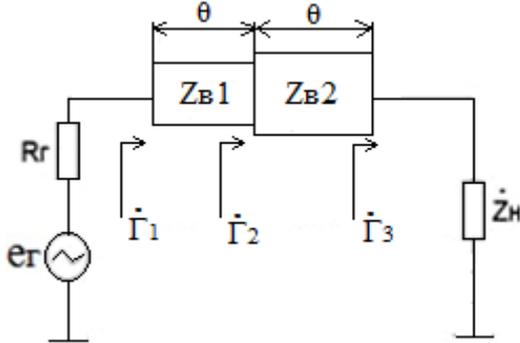


Рисунок 1 – Согласование генератора и нагрузки с помощью двух отрезков линии одинаковой электрической длины

В общем случае суммарный коэффициент отражения системы принимается равным нулю, исходя из этого

$$\dot{\Gamma}_1 + \dot{\Gamma}_2 e^{-j2\theta} = -\dot{\Gamma}_3 e^{-j4\theta}. \quad (1)$$

Коэффициенты отражения Γ_1 , Γ_2 , Γ_3 определяются как:

$$\Gamma_1 = \frac{Z_{B1} - R_{\Gamma}}{Z_{B1} + R_{\Gamma}}; \quad \Gamma_2 = \frac{Z_{B2} - Z_{B1}}{Z_{B2} + Z_{B1}}; \quad \Gamma_3 = \frac{Z_{\text{Н}} - Z_{B2}}{Z_{\text{Н}} + Z_{B2}} = \frac{|Z_{\text{Н}}| e^{j\varphi_{\text{Н}}} - Z_{B2}}{|Z_{\text{Н}}| e^{j\varphi_{\text{Н}}} + Z_{B2}}.$$

Предположим, что модули коэффициентов отражения должны быть равны, а значит, и квадраты модулей коэффициента отражения

$$|\Gamma_1|^2 = |\Gamma_2|^2. \quad (2)$$

Следовательно, исходя из (2) $Z_{B1} = \sqrt{Z_{B2} \cdot R_{\Gamma}}$.

Для определения третьего коэффициента отражения умножим числитель и знаменатель на комплексно-сопряженное выражение знаменателя

$$\dot{\Gamma}_3 = \frac{|Z_{\text{Н}}|^2 - Z_{B2}^2 + 2j \cdot Z_{B2} \cdot |Z_{\text{Н}}| \sin(\varphi_{\text{Н}})}{|Z_{\text{Н}}|^2 + Z_{B2}^2 + 2 \cdot Z_{B2} \cdot |Z_{\text{Н}}| \cos(\varphi_{\text{Н}})}. \quad (3)$$

Из (3) фаза третьего комплексного коэффициента отражения определяется как:

$$\varphi_{\Gamma_3} = \arg(\dot{\Gamma}_3) = \arctg\left(\frac{2Z_{B2} \cdot |Z_{\text{Н}}| \sin(\varphi_{\text{Н}})}{|Z_{\text{Н}}|^2 - Z_{B2}^2}\right). \quad (4)$$

В случае последовательного увеличения значения модуля сопротивления от генератора к нагрузке

$$Z_{B2} > Z_{B1} > R_{\Gamma}, \quad \varphi_{\Gamma_1} = \varphi_{\Gamma_2} = 0, \quad \pi + \varphi_{\Gamma_3} - 3\theta = 0, \quad \theta = \frac{\varphi_{\Gamma_3} + \pi}{3}.$$

В случае последовательного уменьшения значения модуля сопротивления от генератора к нагрузке

$$Z_{B2} < Z_{B1} < R_{\Gamma}, \quad \varphi_{\Gamma1} = \varphi_{\Gamma2} = \pi, \quad \varphi_{\Gamma3} - 3\theta = 0, \quad \theta = \frac{\varphi_{\Gamma3}}{3}.$$

В результате для двух рассмотренных случаев, а также (1), (2) и (4) необходимо решить систему уравнений

$$2|\Gamma_1| \cos \theta = |\Gamma_3|; \tag{5}$$

$$\theta = \frac{\arctg \left(\frac{2Z_{B2} \cdot |Z_H| \sin(\varphi_H)}{|Z_H|^2 - Z_{B2}^2} \right) + \pi}{3} \quad \text{или} \quad \theta = \frac{\arctg \left(\frac{2Z_{B2} \cdot |Z_H| \sin(\varphi_H)}{|Z_H|^2 - Z_{B2}^2} \right)}{3}.$$

Для определения волновых сопротивлений согласующих отрезков необходимо решить первое уравнение системы (5). Таким образом определить одно из требуемых волновых сопротивлений, и так как сопротивления зависят друг от друга, то далее можно рассчитать значение второго волнового сопротивления. Затем необходимо рассчитать значение электрической длины и перевести ее в фактическую длину согласующих отрезков

$$l = \frac{\theta}{2\pi} \cdot \lambda.$$

Для проверки полученных соотношений и оценки целесообразности использования в качестве согласующего устройства двух отрезков длинной линии одинаковой длины было проведено математическое моделирование.

3. Математическое моделирование

На основании зависимости комплексного коэффициента отражения на выходе ВЧ транзистора ВТО9Е от частоты были рассчитаны значения его выходного комплексного сопротивления. Исходя из (5) были рассчитаны значения волновых сопротивлений обоих отрезков линии на частоте 1 ГГц. Далее по известным соотношениям для ABCD-матриц длинных линий [2] были рассчитаны зависимости его входного сопротивления и коэффициента отражения от частоты. Графики исходной зависимости коэффициента отражения от частоты (пунктирная линия), т.е. без согласующего устройства, и полученной зависимости коэффициента отражения от частоты (сплошная линия), при применении двухступенчатого трансформатора приведены на рисунке 2.

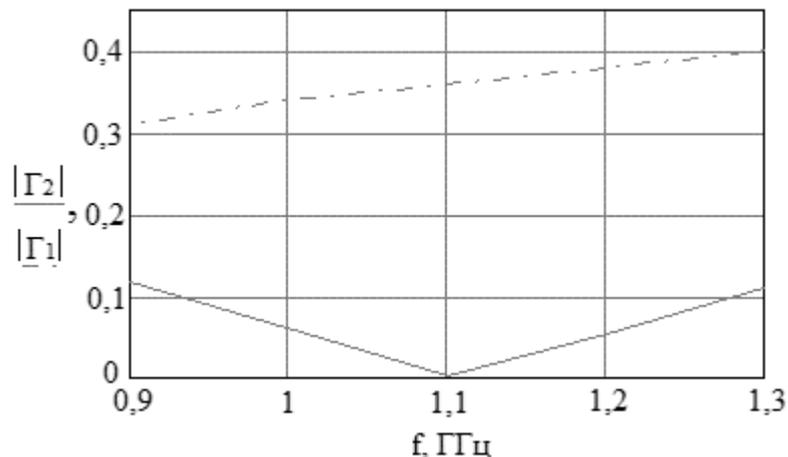


Рисунок 2 – График зависимости модуля коэффициента отражения от частоты без применения согласующего устройства и с применением согласующего устройства

Без согласующего устройства коэффициент отражения был более 0,31 в 36% полосе частот. При применении двух отрезков линии, общая длина которых составляет $0,271 \lambda_0$, значение коэффициента отражения не превышает 0,12. Таким образом, с помощью каскадного соединения двух отрезков длинной линии одинаковой электрической длины удалось уменьшить значение модуля коэффициента отражения примерно на 61%. Кроме того, на частоте 1 ГГц, на которой рассчитывалось согласующее устройство, наблюдается полное согласование, что подтверждает корректность полученных соотношений.

Для рассмотренного случая общая длина согласующего устройства составила $0,271 \lambda_0$, а в случае двухступенчатого трансформатора [3] – $0,375 \lambda_0$. Фактически при приблизительно одинаковом качестве согласования согласующее устройство, состоящее из двух отрезков одинаковой электрической длины, имеет на четверть меньший продольный размер по сравнению с двухступенчатым трансформатором [3].

4. Выводы

Рассмотрено согласующее устройство, состоящее из двух отрезков длинной линии одинаковой электрической длины. Получены соотношения для определения волновых сопротивлений и электрических длин этих отрезков. Проведено математическое моделирование, демонстрирующее не только корректность полученных соотношений, но и эффективность рассмотренного согласующего устройства по сравнению с [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yarman B. S. Design of Ultra Wideband Power Transfer Networks, John Wiley & Sons, 2010, 755 p.
2. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
3. Савиных И. С. Согласование вещественного и комплексного сопротивлений двухступенчатым трансформатором / И. С. Савиных, В. В. Сарвилина // Наука. Промышленность. Оборона: тр. 18 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 19–21 апр. 2017 г. В 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. – Т. 2. – С. 283-288.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ БЕЗЭХОВЫХ КАМЕР НА ИХ КОЭФФИЦИЕНТ БЕЗЭХОВОСТИ

Колесов А.Ю.

Научный руководитель: А.В. Никулин, к.т.н.,

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, a-k.olesov@mail.ru

В данной работе рассмотрены три типа радиопоглощающих материалов и их влияние на коэффициент безэховости в безэховой камере. Описаны преимущества каждого радиопоглощающего материала. Для радиопоглощающего материала интерференционного типа приведено условие отсутствия отражений от поглощающего феррита. Описано конструктивное исполнение каждого из материалов.

In this paper, we consider three types of radio-absorbing materials and their effect on the anechoic coefficient in an anechoic chamber. The advantages of each radio absorbing material are described. The condition for the absence of reflections from the absorbing ferrite is given, for a radio-absorbing material of an interference type. The design of each of the materials is described.

Основная задача безэховой камеры (БЭК) – это ослабление отражений от ее поверхности до требуемой величины. Это необходимо чтобы добиться условия «свободного пространства» внутри ограниченного объема камеры. При этом электромагнитное поле источника не искажается за счет отражений.

С целью уменьшения отражений от стен БЭК их покрывают радиопоглощающим материалом. И во многом свойства БЭК определяются двумя составляющими: геометрия камеры и качество покрывающего ее материала. И если геометрия камеры зачастую обусловлена уже имеющимся помещением и на нее сложно повлиять, то выбором поглощающего материала и его формой можно управлять.

Для начала необходимо разобраться на что же влияет поглощающий материал камеры и его форма.

Радиопоглощающие материалы (РПМ), используемые в БЭК, могут быть двух типов: с диэлектрическим и с магнитным поглощением. В покрытиях с магнитным поглощением дополнительное снижение отражений достигается за счёт использования периодичной структуры пирамидальных элементов. РПМ пирамидальной формы хорошо согласованы со «свободным пространством» за счёт многократного отражения падающей электромагнитной волны между стенками пирамид.

Для эффективного поглощения толщину диэлектрического материала обычно делают около четверти длины волны. Для камер сантиметрового и дециметрового диапазонов волн такая толщина радиопоглощающего материала широко используется для покрытия рабочей поверхности безэховой камеры. Но трудности возникают при использовании данного типа материала (с диэлектрическим поглощением) для метровых волн. При длине волны 5-6 метров толщина радиопоглощающего покрытия около 2 метров- это существенно снижает полезный объем камеры.

При магнитном поглощении материала такого недостатка нет. Из-за того что пучность магнитного поля находится на металлической подложке магнитные материалы поглощают и при толщине материала существенно ниже длины волны.

РПМ должны обладать следующими свойствами:

- обеспечивать поглощение электромагнитной энергии за счет активных потерь в толще материала;
- обеспечивать малые отражения электромагнитного поля от поверхности;
- структура материала должна исключать пористость и наличие наполнителей с высоким уровнем газовыделения, а также обеспечивать возможность работы при высоких температурах;
- структура материала должна быть стойкой к осаждаемым частицам рабочего тела и продуктам эрозии источников плазмы, а также позволять проводить многократную очистку поверхности.

Радиопоглощающие материалы градиентного типа.

Разработка малоотражающего материала - это, по сути разработка переходного слоя с активными потерями. Этот материал должен согласовывать свободное пространство с полупространством, где электромагнитного поля нет. При этом иметь не большую толщину.

РПМ у которых согласование со свободным пространством осуществляется за счет постепенного изменения свойств поглощающей среды, называются градиентными. Эти материалы выполняются в виде совокупности слоев с постоянными параметрами. Такая совокупность аппроксимирует требуемый закон изменения комплексного коэффициента преломления.

Наличие границ раздела слоев приводит к некоторому проявлению в свойствах таких материалов интерференции отраженных от границ полей. Толщина слоев выбирается обычно так, чтобы на ответственных участках диапазона волн интерферирующие поля гасили друг друга.

Поглотители типа AN на основе вспененных полиуретанов на средние значения плотностей потока мощности и температуры отличаются гибкостью, малой массой и хорошими радиотехническими характеристиками: коэффициент отражения не более -20 дБ при соотношении толщины материала и максимальной длины волны $1/6 \dots 1/5$. Этот материал является хорошей основой для создания пирамидальных материалов и обеспечивает при профилировании высокие безэховости камер.

Поглотители типа СН наиболее дешевые из всех поглотителей для БЭК. Они жесткой конструкции. При том же коэффициенте отражения, что и у AN, поглотители типа СН имеют худшее соотношение толщины и максимальной длины волны ($1/4 \dots 1/3$).

Поглотитель типа RM единственный поглотитель, сочетающий гибкость с возможностью поглощения больших плотностей потока мощности. Предназначен для работы при больших плотностях потока мощности и высоких температурах. Стоимость его довольно высока.

Поглотители типа НТ- керамические плиты, позволяющие поглотить ещё большие потоки мощности. Для обеспечения согласования со свободным пространством они перфорированы. Последнее приближает свойства этого поглотителя в коротковолновой части его рабочего диапазона к характеристикам поглотителей рассеивающего типа, которые будут рассмотрены ниже.

Коэффициент отражения от материалов градиентного типа во всем диапазоне волн не превышает -20...-17 дБ для РПМ средней стоимости.

РПМ интерференционного типа.

К широкодиапазонным материалам относят ферритовые. Они представляют собой однородный ферритовый слой на металлической подложке. Согласование со свободным пространством у этих материалов осуществляется за счёт определённого соотношения магнитных потерь, толщины и длины волны.

Коэффициент отражения от магнитного слоя с толщиной d на металлическом экране

$$R = \frac{Z_{\text{ex}} - 1}{Z_{\text{ex}} + 1} = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon} \cdot \text{th}(\sqrt{\mu/\varepsilon} \cdot k_0 d) - 1}{\sqrt{\mu/\varepsilon} \cdot \text{th}(\sqrt{\mu/\varepsilon} \cdot k_0 d) + 1},$$

где $\mu = \mu_1 + i\mu_2$ - комплексная магнитная проницаемость; $\varepsilon = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2$ - комплексная диэлектрическая проницаемость слоя; $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$ - постоянная распространения в свободном пространстве.

При малой толщине материала и $\mu_2 \approx \mu_1$

$$R \approx (\mu_2 \cdot k_0 d - 1) / (\mu_2 \cdot k_0 d + 1) \quad .$$

Условие отсутствия отражений от поглощающего феррита

$$\mu_2 = 1/k_0 d = \frac{\lambda}{2\pi d} \quad (1)$$

Диапазонные свойства материала определяются тем, в какой мере характеристика магнитных потерь поглощающих ферритов в диапазоне длин волн соответствует соотношению (1).

Ферритовые РПМ незаменимы при создании БЭЖ на сверхширокий диапазон частот, включающий часть метрового диапазона. И других свойств ферритовых РПМ отметим, что они негорючи и работают при больших плотностях потока мощности (до 3 Вт/см² включительно). Следует отметить, что ферритовые материалы достаточно тяжелы и требуют тщательной подгонки при монтаже.

Согласно общим принципам согласования со свободным пространством реальные градиенты интерференционные материалы имеют однородную структуру вдоль слоя. При этом отраженное поле подчиняется закону геометрического отражения. Это позволяет преодолеть противоречие, существующее между требованиями по безэховости камеры (-50...-60 дБ)

и уровнем отражения от РПМ (около -20 дБ) за счет профилирования поверхности камеры, при котором обеспечивается отсутствие прямых отражений в безэховую зону.

Радиопоглощающие материалы рассеивающего типа

Это материалы типа СВ или НРУ, представляющие совокупность пирамидальных поглощающих элементов. Все эти РПМ характеризуются значительной поперечной неоднородностью и могут быть условно объединены классом шиповидных или рассеивающих материалов.

В длинноволновой части диапазона, когда период поперечной неоднородности пространственной структуры много меньше λ , шиповидные структуры по физике своей работы и по коэффициенту отражения ничем не отличаются от градиентных. Причем градиент масштаба электрической длины обеспечивается увеличением относительного объема, занятого поглотителем, по мере углубления в такую структуру. В коротковолновой части диапазона, когда период неоднородности структуры оказывается много больше длины

волн, такие структуры. В коротковолновой части диапазона, когда период неоднородности структуры оказывается много больше длины волны, такие структуры за счет последовательности многократных отражений поля в поглощающих полостях позволяют уменьшить уровни отражения.

Рассмотрим механизм согласования шиповидных РПМ в коротковолновой части диапазона волн. Пусть поверхность пирамидального материала покрыта плоским радиопоглощающим материалом градиентного или интерференционного типа, чем обеспечивается отсутствие поля внутри пирамид и “зеркальный” характер отражения от поверхности граней пирамид. И пусть, как показано на рис.1, плоская волна падает на пирамидальный материал под углом θ_k нормали его основания. Каждые две рядом стоящие пирамиды образуют клиновидную поглощающую полость с углом при вершине α . В результате N последовательных отражений плоская волна углубляется в полость, а затем выходит из нее, теряя при каждом отражении интенсивность.

Рассмотрим геометрию переотражений в поглощающей полости. Выделим критический луч, претерпевший наименьшее количество переотражений. Это луч, точка первого отражения которого лежит в плоскости вершин материала ($h_1 = 0$). Углубление в поглощающую полость точки второго отражения луч относительно точки первого отражения

$$h_2 = 2(H - h_1) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} / (\operatorname{tg} \theta_1 + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})$$

H -высота поглощающей пирамиды; θ_1 - угол между отраженным после первого отражения лучом и осью пирамиды.

Аналогично вертикальное перемещение в полости точки n отражения будет

$$h_n = 2(H - \sum_{i=1}^n h_i) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} / (\operatorname{tg} \theta_{n-1} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}),$$

где $\theta_{n-1} = \alpha(n-1) + \theta$.

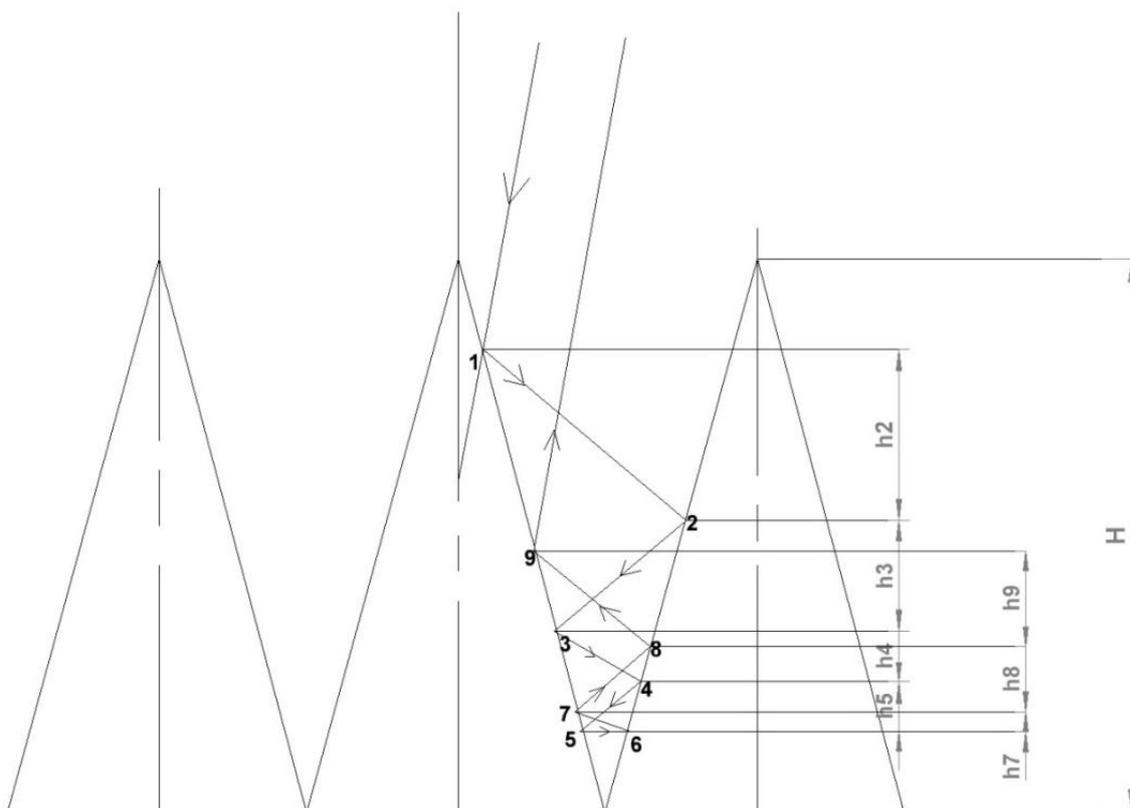


Рис. 1. Пирамидальный РПМ рассеивающего типа.

Условие выхода волны из поглощающей полости после отражений:

$$\sum_{n=1}^{N+1} h_n < 0.$$

Выражение выше позволяет определить N -количество переотражений критического луча плоской волны до его выхода из поглощающей полости. Угол выхода волны

$$\theta_N = (\theta + \alpha N)(-1)^N.$$

Вообще говоря, θ_N непосредственно с θ не связан законом Снелла.

Интенсивность отраженного поля (его геометрической составляющей) $R = \prod_{n=1}^N R_n(\mathcal{G}_n)$,

где угол падения волны на поверхность граней поглощающей полости при n отражении

$$\mathcal{G}_n = (\pi + \alpha) / 2 - n\alpha - \theta.$$

Уровень отраженного сигнала в безэховых камерах при применении качественных шиповидных материалов вида НР рассеивающего типа соответствует уровню отражения от РПМ и оказывается для ненаправленных антенн порядка -50 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мицмахер М.Ю., Торгованов В.А., Безэховые камеры СВЧ. – М.: Радио и связь, 1982.- 128 с., ил.
2. Важенин Н.А., Обухов В.А., Плохих А.П., Попов Г.А., Электрические ракетные двигатели космических аппаратов и их влияние на радиосистемы космической связи. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.-432 с. – ISBN 978-5-9221-1410-3.

СИНТЕЗ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВ VOIP СЕТЕЙ

Науршин Сергей Евгеньевич, студент
Научный руководитель: А.В. Никулин, к.т.н.,

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, manfroms@gmail.com

В статье описывается процесс создания виртуального лабораторного стенда, а также ожидаемые и полученные результаты. Лабораторная установка синтезировалась в программном пакете Packet Tracer компании CISCO. Была поставлена задача – изучить возможности программного обеспечения, реализовать и сконфигурировать работоспособную локальную вычислительную сеть с возможностью совершать звонки по протоколу VoIP с одного оконечного устройства на любое другое оконечное устройство. Для изучения были задействованы следующие виды сетевого оборудования: маршрутизатор, коммутатор и все доступные в данном программном продукте пользовательские устройства, так или иначе поддерживающие возможность совершения голосовых вызовов. Также использовались несколько типов соединительных проводов и беспроводные каналы связи. Рассматривались особенности конфигурации DHCP-сервера для автоматического назначения IP-адресов, и виртуальных локальных сетей VLAN. Отдельно проработан процесс настройки каждого вида пользовательских узлов.

The article describes the relevance of the work, the process of creating a virtual laboratory stand, as well as the expected and obtained results. The laboratory setup was synthesized in the CISCO Packet Tracer software package. The task was to study the software capabilities, implement and configure an efficient local area network with the ability to make VoIP calls from one endpoint to any other terminal device. The following types of network equipment were involved in the study: a router, a switch, and all user devices available in this software product that somehow support the ability to make voice calls. Also, several types of connecting wires and wireless communication channels were used. Features of DHCP server configuration for automatic assignment of IP addresses, and virtual local area networks (VLANs) were considered. Separately, the process of customizing each type of user nodes has been worked out.

1. Введение

С начала 21 века произошло множество прорывов в сфере телекоммуникационных технологий и систем связи. В частности, среди способов передачи речевой информации появилась и получила повсеместное распространение технология IP-телефонии. Она имеет ряд конкурентных преимуществ по сравнению с концепцией аналоговой телефонии:

- более низкая стоимость тарифов на предоставление услуг связи;
- возможность использовать IP-сети вместо аналоговых телефонных сетей;
- практически полное отсутствие шумов и информационных потерь;
- перспективы дальнейшего развития технологии;
- удобство обслуживания отдельных элементов сети.

Несмотря на то, что аналоговые телефонные сети до сих пор занимают лидирующую позицию по территории охвата и подключённым к ним абонентам, количество клиентов, желающих перейти на использование более дешёвого и прогрессивного способа голосового общения, очень велико. Но создание, конфигурация и обслуживание таких сетей достаточно непростая задача, для этого нужны специалисты — сетевые инженеры. Исходя из этих суждений, резонно предположить, что, с развитием IP-сетей, будет развиваться и рынок труда, который уже сейчас нуждается в квалифицированных кадрах.

Как следствие, было принято решение организовать лабораторную работу, непосредственно связанную с обсуждаемой тематикой.

2. Теория

Проект синтеза лабораторного стенда состоит в сборке топологии по схеме (Рисунок 1) и разработке плана корректной конфигурации оборудования. Проверка работоспособности сети будет производиться поочерёдным совершением исходящих звонков с каждого аппарата на все прочие пользовательские устройства в этой сети. В случае, если будет возможно установление соединения между всеми узлами, лабораторную работу можно считать выполненной.

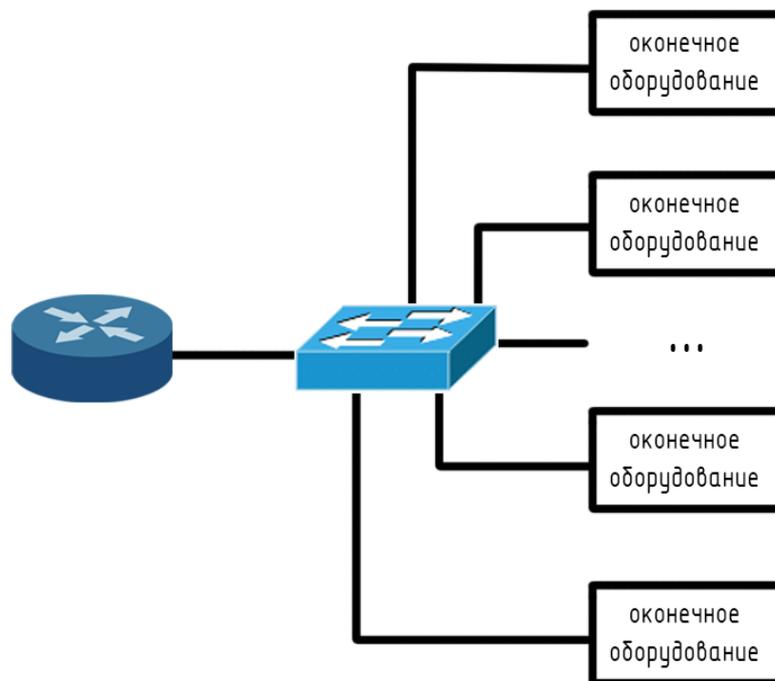


Рисунок 1 - Схема планируемой топологии сети

Предлагаемый практикум включает в себя ознакомление с прикладным программным обеспечением CISCO Packet Tracer, установленном на базе операционной системы Ubuntu-16.04 LTS, и проектирование в нём VoIP-сетей различной сложности.

В процессе выполнения работы студент сможет освоить базовые принципы построения телекоммуникационных сетей, пронаблюдать за происходящим с точки зрения каждого из уровней эталонной модели взаимодействия открытых систем OSI, научиться пользоваться графическими элементами управления, а также конфигурировать сетевое и коммутационное оборудование вручную при помощи команд консоли. Так же, студент эмпирическим путём получит результаты взаимодействия конечных абонентских сетевых устройств, сможет проанализировать их, и понять процессы, обычно, скрытые от глаз рядового пользователя.

В ходе работы студентам так же предстоит познакомиться с теоретической стороной вопроса, изучить основные протоколы стека TCP/IP, а также некоторые принципы их взаимодействия, такие как: протокол IP, протокол TCP, протокол UDP, протокол ICMP, протокол 802.1q (VLAN), протокол 802.11 (Wi-Fi), протокол DHCP, инкапсуляция/декапсуляция данных [1].

Наблюдение за информационными пакетами, передаваемыми по сети, осуществляется при помощи программного пакета Wireshark или встроенного в Packet Tracer функционала. В них можно рассмотреть информационное сообщение более подробно методом разделения его на структурные единицы, такие как: сегмент, пакет, кадр, последовательность битов.

Основной задачей, стоящей перед студентами во время выполнения практикума, является проектирование, построение в симуляторе, конфигурация и проверка корректности работы локальной вычислительной VoIP-сети [2]. Конечные устройства, включённые в данную сеть, могут быть нескольких видов:

- аналоговые телефонные аппараты (подключённые через VoIP-шлюз);

- IP-телефоны;
- смартфоны;
- планшетные компьютеры;
- персональные компьютеры / рабочие станции.

В топологии сети так же используется коммутационное оборудование: маршрутизаторы, коммутаторы и коммутационные кабели различных типов.

Знакомство с виртуальными локальными сетями происходит посредством настройки голосовой VLAN на коммутаторе для каждого используемого интерфейса.

Адресация узлов в сети прорабатывается на примере конфигурирования DHCP-сервера на маршрутизаторе, а также путём присвоения IP-адресов каждому из узлов сети вручную через графический интерфейс или консоль.

3. Реализация

На рисунка 2 показана модель работоспособной VoIP сети.

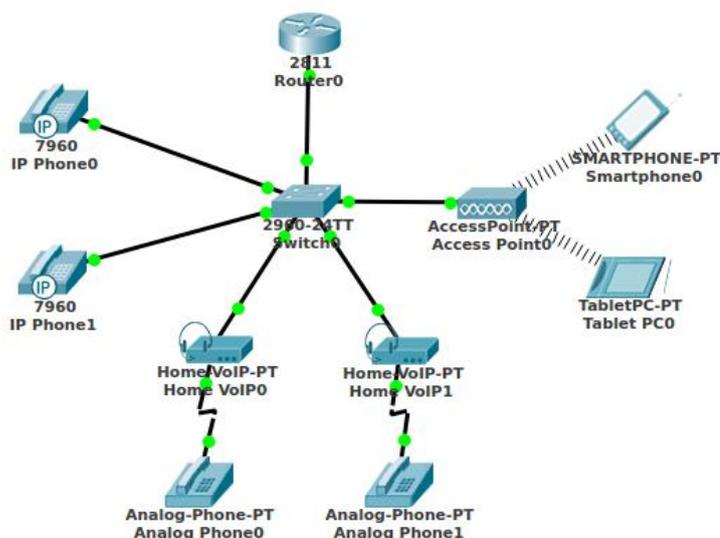


Рисунок 2 - Модель работоспособной VoIP сети

Сеть включает в себя реально существующее сетевое оборудование, такое как: маршрутизатор Cisco 2811, коммутатор Cisco Catalyst 2960-24TT, VoIP-телефоны Cisco 7960 и т.п.

Для проверки корректности настройки всех элементов и узлов сети совершается вызов с одного оконечного устройства на другое. Телефоны «IP Phone0» и «IP Phone1» подключены к интерфейсам коммутатора «Fastethernet0/4» и «Fastethernet0/3», соответственно, которые объединены в общую голосовую виртуальную локальную сеть «voice vlan0». С помощью DHCP сервера, запущенного на маршрутизаторе, на интерфейсы назначены ip-адреса. Для данных телефонных аппаратов настроены каналы связи, а также им присвоены телефонные номера 1024 (Рисунок 3.а) и 1025 [3].

После снятия трубки и набора номера на одном из аппаратов автоматически производится вызов (Рисунок 3.б) и второй аппарат, периодическим миганием индикатора на трубке и соответствующим сообщением на дисплее, сигнализирует нам о поступившем на него вызове. Если снять трубку на втором аппарате, то между узлами произойдёт установка соединения (Рисунок 3.г) и станет возможна передача речевой информации.

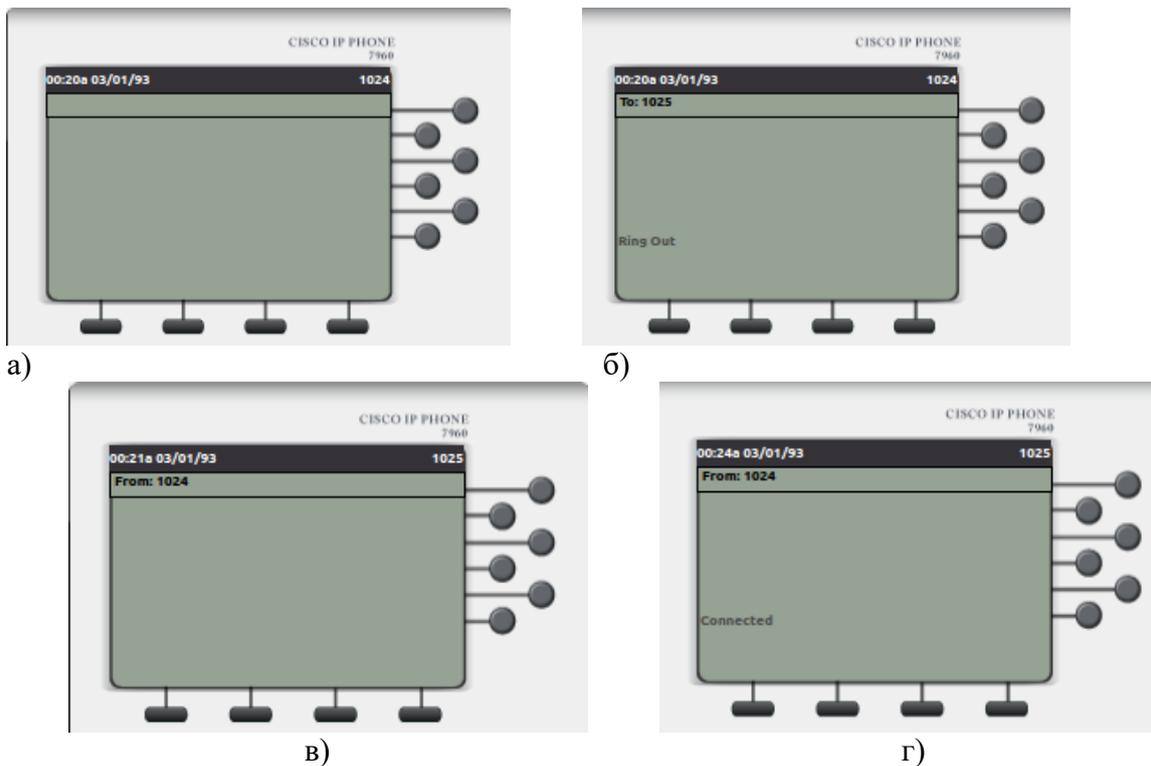


Рисунок 3 – Совершение телефонного вызова

а – графический интерфейс IP Phone0; б – вызов на номер 1025; в - индикация входящего вызова; г – установка соединения

4. Результаты работы:

В ходе выполнения работы была избрана топология сети, наиболее подходящая для изучения студентами. Также написано подробное методическое пособие с рекомендациями и исчерпывающим количеством демонстрационного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Олифер В., Олифер Н., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 3-е издание – изд. Питер, 2007. – 960с.
2. James Kurose, Keith Ross, Computer Networking. A Top-Down Approach. — Pearson, 2012. — 889 с.
3. Тодд Леммл, Кевин Хейзл, CCNP. Настройка коммутаторов Cisco. Учебное руководство – М., Лори, 2002 – 464 с.

ДИАГРАММООБРАЗУЮЩАЯ МАТРИЦА БАТЛЕРА 8x8

Ю.Н. Паршин

Научный руководитель: А.П. Горбачев

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, jurparnik@mail.ru

Диаграммообразующие матрицы Батлера представляют практический интерес для современных технологий антенно-фидерных устройств, для повышения чувствительности и эффективности некогерентных датчиков цели и систем стабилизации положения в пространстве.

Butler's matrix matrices are of practical interest for modern technologies of antenna-feeder devices, for increasing the sensitivity and efficiency of incoherent target sensors and systems for stabilizing the position in space.

Для обеспечения высокого коэффициента полезного действия (КПД) многолучевой планарной фазированной антенной решетки (ФАР) ее диаграммообразующее устройство (ДОУ), формирующее в пространстве веер независимых диаграмм направленности, выполняется из реактивных элементов и узлов, реализованных на связанных микрополосковых линиях передачи.

Диаграммообразующая схема (ДОС) по схеме Батлера (матрица Батлера) формирует амплитудно-фазовое распределение для 8 лучей при 8 излучателях и состоит из 3 рядов (этажей) идентичных трехдецибельных направленных ответвителей с коэффициентом деления мощности 1:2. Необходимые фазовращатели введены в соответствующие участки меж соединений направленных ответвителей, в результате чего в линейной эквидистантной решетке из 8 излучателей формируется восемь лучей с симметричным расположением в пространстве.

Вся работа была разбита на несколько этапов:

1. Расчет, построение и моделирование трехдецибельного направленного ответвителя;
2. Построение и моделирование узла для сглаживания негативного воздействия пересечения соединительных микрополосковых линий с противоположных сторон платы;
3. Построение и моделирование матрицы Батлера 4x4;
4. Построение и моделирование излучателей типа «Ласточкин хвост»;
5. Построение и моделирование сочленения матрицы Батлера 4x4 и излучателей;
6. Построение и моделирование матрицы Батлера 8x8;
7. Построение и моделирование сочленения матрицы Батлера 8x8 и излучателей.

В качестве исходных данных была выдана следующая информация:

- рабочая частота – 2.2 ГГц;
- волновое сопротивление подводящих линий – 50 Ом.

Информация о материалах используемых в работе также была выдана преподавателем. Материал для вытравливания топологии матрицы Батлера – армированная фольгированная пленка из Ф4МБСФ (толщина фторопласта – 0.12 мм; толщина фольги – 0.02 мм; диэлектрическая проницаемость – 2.5). Материал, отделяющий пленку от корпуса изделия – прокладка из фторопласта ФАФ-4 (толщина фторопласта – согласно расчетам, диэлектрическая проницаемость – 2.5).

1 этап. Расчет размеров направленного ответвителя производился с использованием классических процедур [1]. Ответвители реализованы путем полного наложения (перекрывтия) широких сторон полосок в области связи. При их ширине 0.5 мм, рассчитываемой для волнового сопротивления тракта 50 Ом по материалам справочника [1], обеспечивает коэффициент связи линий, равный 0.702 (переходное затухание 3.07 дБ). При этом ширина несвязанных соединительных линий матрицы составляет 1 мм (рисунок 1).

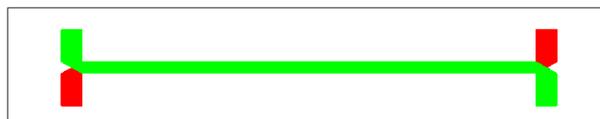


Рисунок 1 – Направленный ответвитель

2 этап. Для сглаживания негативного воздействия пересечения соединительных микрополосковых линий с противоположных сторон платы, каковых в 4-лучевой матрице Батлера 2, а в 8-лучевой матрице Батлера 16, было предпринято ряд мер. Хотя эти линии и расположены с разных сторон платы (т.е. гальванический контакт исключен), их взаимодействие через емкость взаимного перекрытия может быть заметным. Для уменьшения этого взаимодействия в достаточно узкой полосе частот применено компенсирующее сужение соединительных линий в области их пересечения (рисунок 2).

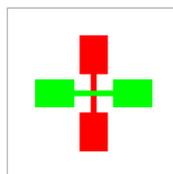


Рисунок 2 – Пересечение соединительных микрополосковых линий

3 этап. Построение матрицы Батлера 4x4 осуществлялось на основе предыдущих этапов, при этом для перехода соединительных линий с одной стороны пленки на другую ее стороны используются прямоугольные металлизированные отверстия шириной 0.5 мм, расположенные поперек соединительных линий на всю их ширину. Экспериментальные исследования подтвердили допустимость такой совокупности решений, упрощающих топологию ДОУ исследуемой ФАР.

4 этап. Для дальнейшей работы кафедры РПиРПУ выдала готовую модель антенны на рабочей частоте 2.8 ГГц. Прежде чем использовать эту модель, ее необходимо было переработать для рабочей частоты 2.2 ГГц.

5 этап. После сочленения матрицы Батлера 4x4 и антенны в результате удалось реализовать четырехлучевую дипольную ФАР (рисунок 3) с габаритными размерами 294x44x3.4 мм. Наибольшая величина $K_{ст.У}$ составила 1.7 по входу 2 луча. Минимальное значение развязки наблюдалось между первым и четвертым каналами и составило 8 дБ. Неравномерность деления мощности в каналах на рабочей частоте составила ± 0.27 дБ при среднем значении 6.11 дБ. Расфазирование трактов на рассматриваемой частоте не превышало $\pm 4.6^\circ$ от требуемых значений.

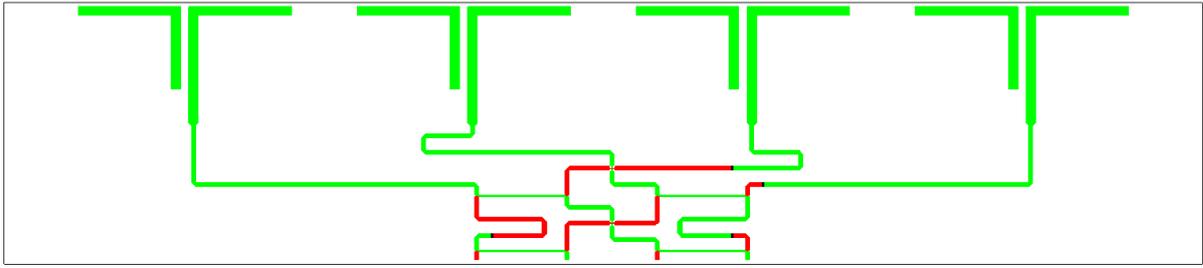


Рисунок 3 – Матрица Батлера 4x4 с излучателями

6 этап. Построение матрицы Батлера 8x8 производилось на основе предыдущих этапов. На данном этапе можно сделать следующие выводы: наибольшая величина $K_{ст.У}$ составила 1.36 по входу 5 луча; минимальное значение развязки было между третьим и шестым каналами и составило 18.3 дБ; неравномерность деления мощности в каналах на рабочей частоте составила ± 0.65 дБ при среднем значении 9.21 дБ; расфазирование трактов на рассматриваемой частоте не превышало $\pm 0.2^\circ$ от требуемых значений, но это значение было получено расчетным путем с помощью разностей набега фаз на всех выходах, куда должны будут подсоединены излучатели.

7 этап. В данный момент времени на этапе разработки.

Заключение. Полученные в работе результаты свидетельствуют о правильности расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Горбачев А.П., Ермаков Е.А. Диаграммообразующие устройства многолучевых антенн. Методические указания к курсовой работе. – Н.: НГТУ, 2006. – 30 с.

Содержание

<i>СЕКЦИЯ: КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ</i>	5
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ	
Бессонов Владимир Иванович	5
ВООРУЖЕНИЕ БОЕВОЙ МАШИНЫ БМП-3	
Горовой Сергей Алексеевич	8
КУМУЛЯТИВНЫЙ СКВАЖИННЫЙ ПЕРФОРАТОР	
Гриф Екатерина Михайловна, Гуськов Анатолий Васильевич, Милевский Константин Евгеньевич	11
ОБЗОР ПУТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ БРОНЕБОЙНЫХ ОПЕРЕННЫХ ПОДКАЛИБЕРНЫХ СНАРЯДОВ.	
Гынгазов Дмитрий Владимирович, Милевский Константин Евгеньевич	14
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ	
С.Ф. Дубинина, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин	17
ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБЛИЦОВОК В КОНСТРУКЦИЯХ КУМУЛЯТИВНЫХ И СНАРЯДОФОРМИРУЮЩИХ ЗАРЯДОВ	
Деморецкий Д.А., Жученко Д.И.	21
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ДИФфуЗИОННОГО ГОРЕНИЯ В РАСЧЕТАХ КОНЕЧНОЙ БАЛЛИСТИКИ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РЕАКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
С.С. Ильин, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин, И.И. Вендер	23
ТРЕНАЖЕРНАЯ БАЗА И ЕЕ РОЛЬ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ	
Иньшин Юрий Юрьевич	27
СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ БРОНЕЖИЛЕТА	
В.Ю. Лобанов, А.Н. Горев, А.С. Нечаев	30
АНАЛИЗ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСОВ АКТИВНОЙ И ПАССИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ ОТ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ	
Шелгинский Александр Юрьевич, Самойлов Леонид Александрович	34
ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЯ	
Сафронов Сергей Васильевич	38
НАУЧНЫЕ СПОСОБЫ КОРРЕКТИРОВКИ ДВИЖЕНИЯ СНАРЯДА	
Серая Александра Александровна	41
БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ СТОЙКОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ БЫСТРОЛЕТЯЩЕГО ОСКОЛКА НА ШТАТНЫЕ И ФОРМОВАННЫЕ ПРОКАТКОЙ ЗАРЯДЫ	
Ткаченко Екатерина Витальевна, Попов Александр Геннадьевич, Нурмухаметов Андрей Тагирович, Рогожин Павел Викторович	44

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ	
Я.В. Тюрин, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин, С.Ф. Дубинина, М.Ю. Семашко	47
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПУАНСОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГИЛЬЗ	
Е. А. Уванова, М.И. Уванов	51
АНАЛИЗ БРОНЕВОЙ ЗАЩИТЫ ТАНКОВ	
И.Д. Шадрин, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин, И.И. Вендер.....	55
АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ОРУЖИЯ НЕЛЕТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ	
Шарков Александр Валерьевич.....	59
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БРОНЕБОЙНО-ЗАЖИГАТЕЛЬНОГО СНАРЯДА К АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КАЛИБРА 57 мм	
Ширяева В.Ю.; Хмельников Е.А.; Смагин К.В.	62
СОПОСТАВЛЕНИЕ ЗАЖИГАТЕЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ ОТ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТРУБКИ И ЭЛЕКТРОВОСПЛАМЕНИТЕЛЯ В КАПСЮЛЕ-ДЕТОНАТОРЕ ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЗ ИВВ	
С.А. Янзин, Д.С. Игошин, Е.А. Кожевников.....	67
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ЗАКОНЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ СКУЛЬПТУРНОГО ПЛАСТИЛИНА	
Л.С. Даутова, Е.А. Знаменский, Я.О. Павлов.....	70
ПОВЫШЕНИЕ СУММАРНОГО ИМПУЛЬСА ТЯГИ РДТТ ПУТЕМ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА	
Владимир Викторович Романов, Геннадий Федорович Рыжков, Егор Яковлевич Брагунцов, Марк Вадимович Кравец, Егор Алексеевич Кузнецов ²	74
УЛУЧШЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НАР С-8	
Романов Владимир Викторович, Демин Роман Владимирович, Брагунцов Егор Яковлевич, Головкина Кристина Сергеевна, Шальнев Владимир Андреевич, Дюднев Денис Сергеевич	78
СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК	
Романов Владимир Викторович, Рыжков Геннадий Федорович, Брагунцов Егор Яковлевич, Зубашевский Константин Михайлович	83
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ СНАРЯЖЕНИЯ БРОНЗОВОЙ ПУДРОЙ ИЗДЕЛИЙ ПОСТАНОВЩИКОВ ХМЗ НА ФОРМУ, РАЗМЕРЫ И МАСКИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА АЭРОЗОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ	
Владимир Викторович Романов, Александр Викторович Зорин, Егор Яковлевич Брагунцов, Евгений Александрович Корнаков, Андрей Сергеевич Иванов, Игорь Дмитриевич Поникарев	86

УВЕЛИЧЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ПОЛЕТА НАР С-8 Владимир Викторович Романов, Геннадий Федорович Рыжков, Егор Яковлевич Брагунцов, Марк Вадимович Кравец, Егор Алексеевич Кузнецов	91
ИССЛЕДОВАНИЕ МАСКИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ СПЕЦИЗДЕЛИЙ Демлер Александр Иванович; Еттянов Василий Николаевич; Хребтова Мария Сергеевна.....	97
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В УСОВЕРШЕНСТВОВАННОМ МАТЕРИАЛЕ УЗЛА ТРЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ В ВЫСОКОСКОРОСТНОМ РАЗГОННОМ БЛОКЕ Кормушкин Михаил Алексеевич, Гуськов Анатолий Васильевич, Милевский Константин Евгеньевич	102
ПАТЕНТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЗОР СПОСОБОВ КРЕПЛЕНИЯ ВЕДУЩИХ ПОЯСКОВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СНАРЯДОВ Шумкова Александра Евгеньевна	105
<i>СЕКЦИЯ: ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ.....</i>	<i>110</i>
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЯЗВИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОНТЕЙНЕРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ, К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ Бакиров Альберт Ревальевич, Попов Александр Геннадьевич, Нурмухаметов Андрей Тагирович; Рогожин Павел Викторович.....	110
ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЧАСТИЦ ТИТАНА	114
Белоусова Наталья Сергеевна, Гуськов Анатолий Васильевич, Глотов Олег Григорьевич.....	114
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ШТАТНЫЕ И ФОРМОВАННЫЕ ПРОКАТКОЙ ЗАРЯДЫ ПРИ НАГРУЗКАХ, ИМИТИРУЮЩИХ АРТИЛЛЕРИЙСКИЙ ВЫСТРЕЛ.....	119
Богомоллов Алексей Дмитриевич; Попов Александр Геннадьевич; Нурмухаметов Андрей Тагирович; Рогожин Павел Викторович.....	119
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ К ТЕРМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРИ ПОМОЩИ КАЛОРИМЕТРА ДСК-500 О.Е. Гришина.....	122
УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОЙ ПОРИСТОСТИ ЗАРЯДА НА ДАВЛЕНИЕ В КАНАЛЕ СТВОЛА ОРУДИЯ.....	127
М.Е. Давлятова, Е.А. Хмельников, Т. Е. Заводова, К.В. Смагин, С.Ф. Дубинина	127
ПРИМЕНЕНИЕ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ С ПОНИЖЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ВЗРЫВОМ СТАЛИ 110Г13Л А.С. Долматов, К.Н. Макарова	131

ИСКРОВОЕ ПЛАЗМЕННОЕ СПЕКАНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МЕТАЛЛ-КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ	
М.А. Есиков	134
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ЗАЖИГАНИЯ ПЛАВЯЩИХСЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	
К.Н. Макарова, В.Е. Зарко.....	136
ПОЛУЧЕНИЕ N-(1-МЕТИЛТЕТРАЗОЛ-5-ИЛ)-ДИНИТРОАЦЕТИМИДАМИДА	
Поварова Л.В., Гудкова З.С.	141
НАНЕСЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ	
И.С. Батраев, Д.К. Рыбин, М.А. Есиков, А.В. Ухина, А.Ю. Ларичкин	143
МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ	
Е.И. Сыч, В.Б. Епифанов	147
СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВНОГО ОБЖАТИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРУБОК КОРУНД / МЕДЬ И КОРУНД/АЛЮМИНИЙ	
О.А. Зимоглядова	150
АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ДЕВЯТНАДЦАТИКАНАЛЬНЫХ ПОРОХОВ В КОМБИНИРОВАННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ МЕТАТЕЛЬНЫХ ЗАРЯДАХ	
Е.А. Рукинова, Е.А. Знаменский, Я.О. Павлов	154
 <i>СЕКЦИЯ: РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ</i>	
158	
РАЗРАБОТКА МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	
Д. К. Баранова, К. Л. Ямшанов, А. О. Киселев	158
ЗАЩИТА НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ	
К.А. Бузмаков, А.О. Леонов.....	163
ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ НАВЕДЕНИЯ КРЫЛАТЫХ РАКЕТ	
Веремчук Оксана Леонидовна, Исаков Дмитрий Сергеевич, Гольдберг Михаил Аркадьевич, Легкий Владимир Николаевич.....	166
УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НА СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА С ПОМОЩЬЮ ПРИСТАНЦИОННОГО СТВОРЧАТОГО КЛАПАНА	
М.О. Гундарева	175
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЯМОТОЧНЫМ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	
С.В. Дворецкий.....	179
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ	
Добрынченко Валентина Васильевна, Легкий Владимир Николаевич, Гибин Игорь Сергеевич.....	183

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ В ОТНОШЕНИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	
Евтушенко Семен Викторович	187
ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ ЛОКАЦИИ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	
Емельянов Владимир Викторович, Шмидт Отто Сергеевич.....	192
ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ	
В. В. Кирбижекова, И. Ю. Ермиенко	194
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СИСТЕМЫ РАЗГОНА БОЕПРИПАСОВ ДЛЯ ГИПЕРЗВУКОВОГО ОРУЖИЯ	
А.О. Леонов, К.А. Бузмаков, С.А. Литвиненко.....	197
ШИРОКОПОЛОСНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ГЕОРАДАРНЫХ СИСТЕМ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ ЛОКАЦИИ ГУМАНИТАРНОГО РАЗМИНИРОВАНИЯ	
М.А. Марков, И.В. Прокофьев, Ю.В. Назаркина.....	200
АНАЛИЗ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ НАЗЕМНЫХ ЦЕЛЕЙ	
Ю.В. Назаркина, М.А. Марков, И.В. Прокофьев.....	204
МЕХАНИЗМ И ОСОБЕННОСТИ ДЕТОНАЦИОННОГО СИНТЕЗА НАНОАЛМАЗОВ	
Непомнящая В.В.	208
РАЗДЕЛКА БОЕПРИПАСОВ КРУПНОГО КАЛИБРА ГИПЕРЗВУКОВОЙ СТРУЕЙ	
Петрова Анастасия Александровна, Щемелинина Александра Олеговна; Кропачева Ирина Петровна, старший преподаватель	211
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ В ПОДЛОЖКУ ВОЛНОВЕДУЩЕЙ ЛИНИИ И МИКРОПОЛОСКОВОГО ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ	
Сиротин Алексей Александрович, Шебалкова Любовь Васильевна.....	215
СРЕДСТВА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМАМ ИНФРАКРАСНОГО НАВЕДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ	
Федоров Павел Михайлович, Прошин Иван Юрьевич, Легкий Владимир Николаевич.....	217
<i>СЕКЦИЯ: РАДИОЛОКАЦИЯ, РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ.....</i>	<i>221</i>
ДВУХЧАСТОТНАЯ ПЕЧАТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА	
С. А. Алексейцев	221
ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ШУМОВ КООРДИНАТ, МОДЕЛИРУЕМЫХ ДВУХТОЧЕЧНОЙ МОДЕЛЬЮ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА НА КОРРЕЛИРОВАННЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ	
Сабитов Тимур Ильясович; Степанов Максим Андреевич, Киселев Алексей Васильевич.	225
СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЭХО- СИГНАЛОВ АНТИПОДА	
Н.С. Зубанов, А.В. Киселёв.....	230

ФОРМИРОВАНИЕ ДВОИЧНОГО АМПЛИТУДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ	
И.А. Бородулина	233
СВОЙСТВА ОТРАЖЕНИЙ ОТ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИХ МОДЕЛИ	
М.В.Орешкина.....	236
АНАЛИЗ РАБОТЫ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА ДВУМЕРНОЙ ПРВ КОРРЕЛИРУЮЩИХ АМПЛИТУД	
А. В. Калинин	239
ИССЛЕДОВАНИЕ СУСПЕНЗИИ ЛАТЕКСНЫХ ЧАСТИЦ НА АППАРАТНО-МЕТОДИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ «БИОФИЗИК»	
Л.И.Дмитриева, Г.В.Шувалов, К.В.Генералов.....	244
ФИЛЬТР С МАКСИМАЛЬНО-ПЛОСКОЙ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ	
Савиных Иван Сергеевич, Кожан-оол Сайзана Буян-ооловна	248
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ СИНТЕЗА ВЗВЕШИВАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ	
Савиных Иван Сергеевич, Платонова Ирина Николаевна	251
СОГЛАСОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО И КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВУМЯ ОТРЕЗКАМИ ДЛИННЫХ ЛИНИЙ	
Савиных Иван Сергеевич, Сарвилина Виктория Вячеславовна	254
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ БЕЗЭХОВЫХ КАМЕР НА ИХ КОЭФФИЦИЕНТ БЕЗЭХОВОСТИ	
Колесов А.Ю.....	258
СИНТЕЗ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОСНОВ VOIP СЕТЕЙ	
Науршин Сергей Евгеньевич	263
ДИАГРАММООБРАЗУЮЩАЯ МАТРИЦА БАТЛЕРА 8x8	
Ю.Н. Паршин.....	267

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Наука Промышленность Оборона

Труды XIX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Новосибирск, 18-20 апреля 2018 г.

Том II

Под редакцией *С.Д. Саленко*

Компьютерная верстка *А.С. Долматов*

Подписано в печать 25.06.2018 г. Формат 70×100 1/16. Бумага офсетная
Тираж 50 экз. Уч.-изд.л. 22,25. Печ.л. 17,25. Заказ № 940

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Тел: (383)-346-31-87