Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Новосибирский государственный технический университет
Сибирское отделение Российской академии наук
Академия военных наук
Региональный уральско-сибирский центр
Российской академии ракетных и артиллерийских наук
Межрегиональная ассоциация «Сибирское соглашение»
Новосибирское высшее командное училище (военный институт)
(филиал) военного учебно-научного центра сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных сил Российской Федерации»
Министерство обороны Российской Федерации

НАУКА ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ОБОРОНА

ТРУДЫ
XX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ПОСВЯЩЕННОЙ 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С. А. ЧАПЛЫГИНА

г. Новосибирск, 17-19 апреля 2019 г.
Том 2

СЕКЦИИ:

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

РАДИОЛОКАЦИЯ, РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Новосибирск
2019

УДК 62+623](063)
ББК 72я431
Н 34

Сергей Александрович Чаплыгин – российский ученый, механик и математик, один из основоположников аэродинамики, академик РАН СССР (1929 г), Герой Социалистического Труда, отмеченный за выдающиеся научные достижения в области аэродинамики, открывшие широкие возможности для серьезного повышения скоростей боевых самолетов.

Н 34 **Наука Промышленность Оборона**: труды XX Всероссийской научно-технической конференции: в 4 т. / коллектив авторов; под редакцией С.Д. Саленко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019.

ISBN 978-5-7782-3897-8
Том 2: - 396 с.
ISBN 978-5-7782-3899-2

Редакторы тома:
Гуськов А. В., д.т.н., доцент, (*конструкция и действие средств поражения и боеприпасов*)
Балаганский И. А., д.т.н., профессор (*высокоэнергетические конденсированные системы*)
Легкий В. Н., д.т.н., доцент (*ракетно-космическая техника. Системы управления летательными аппаратами*)
Киселев А. В., д.т.н.,профессор (*радиолокация*, *радиоэлектронные комплексы и системы*)

Представлены труды XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Наука Промышленность Оборона – 2019». Материалы представлены по следующим секциям:

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

УДК 62+623](063)

ISBN 978-5-7782-3899-2 (Том 2)
ISBN 978-5-7782-3897-8

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

СОСТАВ ОРГКОМИТЕТА

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

Сопредседатели:
Диканский Н.С., академик РАН, советник РАН, профессор, д.ф.-м.н.;
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);
Панасенко С.Н. 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 Высшего Военного Командного
Эдвабник В.Г., к.т.н., д.э.н., член-корреспондент РАРАН, зам. генерального директора по развитию ОАО Научно исследовательский институт электронных приборов (НИИЭП);
Хемльников Е.А., д.т.н., профессор, Нижнетагильского технологического института(филиала) Уральского федерального университета имени первого президента России Б.Н. Ельцина, ученый секреарь РУСЦ РАРАН, член-корреспондент РАРАН, действительный член АВН;

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-корресподент АВН;
Дьяченко Ю.В., д.т.н., профессор кафедры «Технической теплофизики» (ТТФ) НГТУ;
Киселёв А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой РПиРПУ
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, заместитель заведующего 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» (АИСУ) 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 кафедры АГД;
Поляков С.А., к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой уголовного права и процесса, декан юридического факультета;
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;
Чичиндаев А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технической теплофизики» (ТТФ) НГТУ.
Хайленко Е.А., к.т.н., заведующая ОНИРС НГТУ;
Кравченко Е.А., ст.преподаватель кафедры ТОЭ, руководитель группы ИТЦ

Редакционная коллегия сборника трудов научно-технической конференции «НПО-2019»

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
Крупчатникова В. В., д.э.н., доцент
Курлаев Н.В., д.т.н., профессор
Ларичкин В.В., д.т.н., профессор
Левин В.Е., д.т.н., профессор
Легкий В.Н., д.т.н., профессор
Литвинцева Г. П., д.э.н., профессор
Обуховский А.Д., к.т.н., доцент
Поляков С.А., к.ю.н., доцент
Расторгуев Г.И., д.т.н., профессор
Чичиндаев А.В, д.т.н., профессор

СЕКЦИЯ: ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 662.21, 669

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯТОРОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

Ахмедов Таджиб Хейрудинович, аспирант; Попов Александр Геннадьевич, к.т.н., Нурмухаметов Андрей Тагирович, к.т.н.; Рогожин Павел Викторович, к.т.н.

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Ахмедов Т.Х., email axmedoff.tadjib@yandex.ru
Попов А.Г., email popov-scorpio@yandex.ru
Нурмухаметов А.Т., email FasteX2@yandex.ru
Рогожин П.В., email p.rogojin@inbox.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Технология твердых химических веществ», Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация

Исследованы свойства электроизоляторов из оксида алюминия, сформированных методом детонационного напыления. Получены зависимости пористости изоляторов от размера частиц порошкового материала для напыления, и зависимости содержания жидкости в порах от сопротивления электроизоляторов и напряжения пробоя.

Ключевые слова:

Детонационное напыление, электроизолятор, оксид алюминия, пористость, сопротивление, напряжение пробоя.

Решение проблем повышения диэлектрических свойств изоляционных изделий может быть обеспечено широким применением различного вида функциональных покрытий. Причем, наиболее прогрессивными технологическими процессами, позволяющими повышать надежность и долговечность выпускаемой продукции, являются газотермические способы нанесения покрытий и, в частности, детонационный [1-2].

В работе исследовались свойства диэлектрических свойств покрытий (изоляторов) из порошка оксида алюминия (корунд, α-модификация Al_2O_3). Полученные результаты подтверждают возможность использования технологии формирования электроизоляционных изделий методом газовой детонации. Процесс включает в себя напыление детонационным методом покрытий корунда

на медные или алюминиевые заготовки с дальнейшим травлением последних в химических растворах для получения керамического электроизолятора. В результате серии экспериментов были определены оптимальные параметры детонационного формирования диэлектрического слоя, включающие режимы подготовки поверхности под напыление; дистанцию равной (200…220) мм; гранулометрический состав порошкового материала (ПМ) в (20…60) мкм; соотношение газовой смеси для разгона ПМ (кислород/пропан в соотношении 5/1); количество, частоту выстрелов; режимы работы манипулятора для равномерного формирования поверхностного слоя электроизолятора на заготовках и другие.

Диэлектрические свойства керамического изолятора зависят от пористости. Пробой неоднородных керамических диэлектриков при нормальных условиях происходит путем пробоя газа, заполняющего одну из пор. Электрическая прочность пор резко увеличивается при уменьшении размера пор. Разряд, вызывающий пробой образца, развивается в наиболее крупной из пор, т.е. электрическая прочность материала в основном определяется размером наиболее крупных пор.

Для изоляторов, полученных методом детонационного напыления с помощью различных газовых смесей из корунда фракцией (20…60) мкм, определяется общая пористость $A_{\text{общ}}$.

После сушки изолятор взвешивается на аналитических весах, после чего помещается в воду на 24 часа для заполнения его пор жидкостью. Далее электроизолятор извлекается из воды, обтирается мягким материалом. Производится взвешивание. Определяется масса воды, содержащаяся в порах по формуле 1.

$$m_{H_2O} = m_{\text{общ}} - m_{\text{изол}} \quad (1)$$

Вычисляется объем воды в электроизоляторе по формуле 2:

$$V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad (2)$$

где: ρ_{H_2O} - плотность воды, г/мм^3.

Рассчитывается объем изолятора по формуле 3:

$$V_{\text{изол}} = \frac{\pi D^2}{4} L - \frac{\pi d^2}{4} L \quad (3)$$

где: D - внешний диаметр изолятора, мм;
d - внутренний диаметр изолятора, мм;
L – длина изолятора, мм.

Общая пористость изолятора определяется по формуле 4:

$$A_{\text{общ}} = \frac{V_{\text{изол}} - (V_{\text{изол}} - V_{H_2O})}{V_{\text{изол}}} \, 100\ \% \quad (4)$$

При помощи тераомметра определялось напряжение пробоя и сопротивление пробою при содержании воды в различных количествах. Далее изолятор помещался в печь и сушился в течение 20 минут при температуре 65 °С. Производился повторный замер напряжения пробития и сопротивления.

Исследования диэлектрических свойств проводились по следующей методике. Изолятор, полученный методом детонационного напыления, взвешивался на аналитических весах. Затем помещался в воду на 24 часа для заполнения его пор жидкостью. Далее производилось взвешивание и определялась масса воды, содержащаяся в порах. Общая пористость изолятора из оксида алюминия фракцией (20…40) мкм полученного методом детонационного напыления составила 1,14 %, а из порошка фракцией (40…60) мкм пористость составляет 1,73 %. На рисунке 1 приведена зависимость содержания воды в порах электроизолятора от напряжения пробоя.

Результаты показали, что при изменении содержания воды для изолятора пористостью 1,14%, от 0 до 0,01 г значения напряжения пробоя и сопротивления уменьшились с 5,60 до 4 кВ и с 8,1 до 5,3 МОм, соответственно.

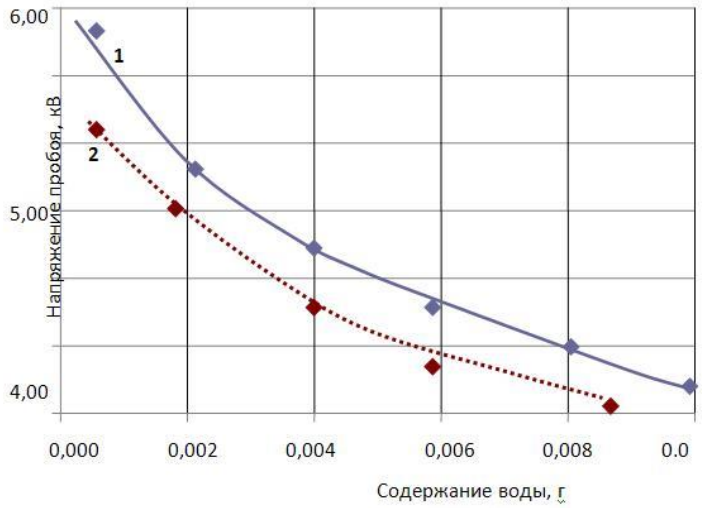


Рисунок 1 - Зависимость напряжения пробоя от содержания воды в электроизоляторе:
1 - кривая для электроизолятора пористостью 1,14%;
2 - кривая для электроизолятора пористостью 1,73%

Пористость электроизоляционных покрытий является одной из важнейших рабочих характеристик. С уменьшением пористости увеличивается напряжение пробоя и сопротивление. С увеличением содержания влаги напряжение пробоя и сопротивление значительно уменьшаются, что может негативно сказываться на работе изделия в условиях повышенной влажности.

Для повышения диэлектрических свойств необходимо увеличить сопротивление пробитию. Для этого предложено заполнить поры изолятора диэлектрической жидкостью (трансформаторным маслом).

Трансформаторное масло – Масло Т-1500У (ТУ 38.401-58-107-97) вырабатывают из сернистых парафинистых нефтей с использованием процессов селективной очистки и гидрирования. Содержит присадку ионол. Обладает улучшенной стабильностью против окисления, имеет невысокое содержание

сернистых соединений, низкое значение тангенса угла диэлектрических потерь. Рекомендовано к применению в электрооборудовании напряжением до 500 кВ и выше.

В металлическую емкость, заполненную трансформаторным маслом Т-1500У, погружается электроизолятор. Емкость помещается в электропечь и при температуре 280 °С выдерживается в течение трех часов. В ходе этого процесса масло частично заполняет поры электроизолятора, тем самым повышая его диэлектрические параметры.

Полученные характеристики изоляторов обработанных трансформаторным маслом сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Сравнение характеристик изоляторов

Пористость изолятора	Изолятор без содержания инородных веществ		Изолятор с трансформаторным маслом	
	Напряжение пробоя, кВ	Сопротивление, МОм	Напряжение пробоя, кВ	Сопротивление, МОм
1,14%	5,30	8,15	8,50	12,15
1,73%	5,60	8,00	8,40	12,00

Пористость электроизолятора зависит от дисперсности порошка. С уменьшением пористости увеличивается напряжение пробития и сопротивление ему. Детонационное напыление изолятора из оксида алюминия показало, что из порошка фракции (20…40) мкм пористость электроизолятора составляет 1,14 %, а из порошка фракцией (40…60) мкм - 1,73 %, следовательно сопротивление электропробитию изолятора 8,15 МОм и 8,00 МОм, соответственно.

Результаты, полученные в результате исследовательской работы, подтверждают возможность использования технологии формирования электроизоляционных изделий методом газовой детонации.

Библиографический список:

1. Ненашев М.В. Детонационное напыление. Монография / М.В. Ненашев, Д.А. Деморецкий // Самара: Самар. гос. техн. ун-т. – 2010. – 142 С.;

2. Ненашев М.В., Опыт исследования и применения технологии нанесения детонационных покрытий / М.В. Ненашев, И.Д. Ибатуллин, С.Ю. Ганигин, Т.А. Шашкина, Рогожин П.В // Самарский государственный технический университет. Самара. – 2010. – С. 56-62.

STUDY OF THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF ELECTRIC INSULATORS, FORMED BY THE DETONATION METHOD

Akhmedov T., email axmedoff.tadjib@yandex.ru
Popov A., email popov-scorpio@yandex.ru
Nurmukhametov A., email FasteX2@yandex.ru
Rogozhin P., email p.rogojin@inbox.ru
Samara State Technical Univerrity, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100

Abstract.

The properties of electrical insulators of aluminum oxide, formed by the method of detonation spraying, are investigated. The dependences of the porosity of the insulators on the particle size of the powder material for spraying, and the dependence of the fluid content in the pores on the resistance of electrical insulators and the breakdown voltage were obtained.

Keywords: detonation spraying, electrical insulator, aluminum oxide, porosity, resistance, breakdown voltage.

УДК 662.215

О ФИЗИКЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РАЗРЫВНОГО ЗАРЯДА К ИНЕРЦИОННЫМ НАГРУЗКАМ ВЫСТРЕЛА

Ахмоева Екатерина Васильевна, студент; Прохоренко Наталья Олеговна, студент; Попов Александр Геннадьевич, к.т.н., Нурмухаметов Андрей Тагирович, к.т.н.; Рогожин Павел Викторович, к.т.н.

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Ахмоева Е.В., email ahmoeva7347@yandex.ru
Прохоренко Н.О., email ahmoeva7347@yandex.ru
Попов А.Г., email popov-scorpio@yandex.ru
Нурмухаметов А.Т., email FasteX2@yandex.ru
Рогожин П.В., email p.rogojin@inbox.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Технология твердых химических веществ», Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация

Приведены результаты расчетов эффективных напряжений, возникающих в зарядах, изготовленных методом порционного прессования и прокаткой для штатных снарядов. Определены условия безопасного применения зарядов из штатных взрывчатых веществ для условий арктического климата.

Ключевые слова:

Эксплуатационная безопасность, ВВ, средства поражения.

Снижение пластических свойств взрывчатых веществ при температуре (-60 °С) приводит к повышению чувствительности разрывных зарядов при нагрузках выстрела и воздействии быстролетящего осколка. Использование прокатных зарядов для снаряжения 152-мм осколочно-фугасного снаряда приводит к снижению сдвиговых напряжений при нагрузках выстрела, что объясняет эксплуатационную стойкость снаряда предложенной конструкции при циклическом воздействии арктических температур [1].

Полуэмпирическая модель инициирования детонации, применительно к данным условиям внешнего воздействия, может иметь более простой вид, чем при воздействии сил инерции в канале ствола при выстреле. В первую очередь вследствие однородного поля внешних сил, действующих на элемент ВВ.

Запишем формально закон сохранения энергии, который соответствует предположению, что вся потенциальная энергия копра расходуется на

совершение работы $\int \delta A$, затраченной на изменение состояния образца ВВ:

$$mgh = \int \delta A \quad (1)$$

где m – масса копра; g – ускорение свободного падения; h – высота подъёма груза копра).

Полную работу целесообразно выразить через удельную:

$$\delta A(t) = \int \delta R(x_1, x_2, x_3) dV \quad (2)$$

где δA – элементарная работа внутренних сил по деформации элемента за время dt; δR – плотность элементарной работы; dV – элемент объёма.

Плотность элементарной работы можно выразить через компоненты тензоров напряжений и вектора смещений:

$$\delta R(x_1, x_2, x_3) = \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} \delta u_i \quad (3)$$

где σ_{ik} – компоненты тензора напряжений; δu_i – компоненты вектора смещений.

В простейшем случае для расчёта в качестве элемента ВВ будем рассматривать цилиндр диаметром $d=0,05$ высотой $h=0,05$ и определим конкретный вид тензора напряжений при ударной нагрузки с торцов.

Далее воспользуемся однородностью объёмной деформации. При этом на торцевую поверхность цилиндра действует нормальная поверхностная сила однородная по всей торцевой поверхности. На боковую поверхность никакие силы не действуют. Таким образом, единственным напряжением отличным от нуля в объёме цилиндра является $\sigma_{33} = -p$ и матрица тензора напряжений в рассматриваемой системе координат, имеет вид:

$$[\sigma_{ik}] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -p \end{pmatrix} \quad (4)$$

Определим теперь величину эффективного давления копра на заряд. Для этого введём понятие эффективного напряжения. Определим неупругое эффективное напряжение в виде:

$$\langle \sigma_{ii} \rangle = \alpha_i^{(1)} \varepsilon_{ii}^{(1)} + \alpha_i^{(2)} \varepsilon_{ii}^{(2)} + \cdots + \quad (5)$$

где ε_{ii} – относительная остаточная деформация.

Чтобы вычислить значения компонент тензора эффективных напряжений по известным остаточным деформациям необходимо выразить через них работу внешних сил:

$$\delta A = \int \delta R(x_1, x_2, x_3) dV = \int \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} \delta u_i dV \quad (6)$$

Взяв этот интеграл по частям с учётом вида матрицы напряжений в рассматриваемой координатной системе имеем:

$$A = \int \delta A = 2 \int \sigma_{33} S_3 \, \delta u_z = 2\sigma_{33}\Sigma_3\Delta_3 = 2\pi R^2 \sigma_{33}\Delta_3 \qquad (7)$$

где $\Delta_3 = A = \int \delta A = \int \delta u_z$- интегральная усадка образца. Отсюда получим величину эффективного осевого напряжения:

$$\sigma_{33} = -p = -\frac{mgh}{2\pi R^2 \Delta_3} \qquad (8)$$

Чтобы определить касательные напряжения, возникающие в образце при сбросе груза необходимо перейти от системы координат, с векторами базиса, являющимися собственными векторами матрицы тензора деформаций к системе, в которой диагональные элемента этой матрицы равны друг другу, то есть представить напряжённое состояние в виде всестороннего сжатия и сдвига.

Соответствующая матрица тензора напряжений будет иметь вид:

$$[\sigma'_{ik}] = \begin{pmatrix} -1/3p & -2/3p & -2/3p \\ -2/3p & -1/3p & -2/3p \\ -2/3p & -2/3p & -1/3p \end{pmatrix} \qquad (9)$$

Таким образом, в рассматриваемом случае удара копром по цилиндрическому образцу в последнем возникают касательные напряжения вдоль образующей боковой поверхности конуса с осью параллельной оси *z* и углом при вершине $\theta' = 0{,}96$. Величина этих касательных напряжений определяется выражением:

$$|\sigma'_{ik}| = \frac{2\sqrt{2}}{3} p \qquad (10)$$

где эффективное давление p определяется выражением (8).

Рассмотрим экспериментальные значения абсолютных осевых деформаций при различных температурах. В таблице 1 представлены экспериментальные зависимости абсолютных остаточных осевых деформаций от высоты падения груза массой 210 кг в копре К-44-IV на прессованные шашки из взрывчатых штатных ВВ и формованных прокаткой в алюминиевой оболочке.

Таблица 1

Значение напряжений в зависимости от высоты сброса груза на копре

Коэффициент разложения, α^1_z, *МРа/мм*	Высота сброса груза, *м*	Абсолютная осевая деформация $\Delta_3, 10^{-3}$, *м*	Эффективное осевое напряжение σ_{33}, *МРа*	Эффективное напряжение всестороннего сжатия, σ_υ, МРа	Эффективное напряжение сдвига σ_S, МРа
Прессованный заряд					
23,8	0,053	0,9	21,4	7,1	20,2
20,7	0,317	2,3	47,5	15,8	44,8
24,3	0,614	3	72,8	24,3	68,6
25,3	1,100	4,0	100,1	33,4	94,4
Прокатный заряд					
-	0,053	0,18	4,3	1,44	4,1
-	0,317	0,4	9,6	3,2	9,1
-	0,614	0,5	12,0	4,0	11,3
-	1,100	0,75	18,0	6,0	17,0

Использование прокатных элементов для комплектации снарядов позволяет значительно снизить касательные напряжения, возникающие при выстреле вследствие взаимодействия заряда с боковыми стенками снаряда. Появляется возможность воспроизведения напряжённого состояния при выстреле в экспериментах использованием ударной нагрузки падающего копра. Эти состояния описываются одинаковой матрицей тензора деформации вида.

$$[\sigma_{ik}] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -p(z) \end{pmatrix} \quad (11)$$

Выводы: в случае ударной нагрузки копра ($p = const$) имеющийся при выстреле градиент давления, оказывает пренебрежимо малое влияние, на напряжённое состояние в каждом слое ВВ перпендикулярном оси снаряда. Поэтому при проведении расчётов, связанных с безопасностью, следует использовать постоянную величину давления в донной части снаряда, где оно максимально. Кроме этого следует иметь в виду то, что вследствие постоянства сил инерции в процессе выстрела, вызываемые ими напряжения, в точности удовлетворяют условию эффективных напряжений, что позволяет их непосредственно сравнивать с напряжениями при сбросе копра.

При температуре (-60 °С) значения эффективных касательных напряжений, приводящих к детонации, лежат в диапазоне от 70 до 95 МПа для зарядов из ВВ, изготовленных методом прессования, и в диапазоне от 17 до 25 МПа – формованных прокаткой, что гарантирует их безопасное использование в снарядах при низких температурах Арктики.

Библиографический список:

1. Рогожин, П.В.Средства и методы определения влияния низких арктических температур на эксплуатационную безопасность снаряда при нагрузках выстрела [Текст] / П.В. Рогожин, В.В. Калашников // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXI Всероссийской научно-практической конференции РАРАН (3–6 апреля 2018 г.). – М.: «Издание ФГБУ «Российской академии ракетных и артиллерийских наук», 2018. – Т. 8, С. 100-112.

ABOUT THE PHYSICS OF THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES ON THE SENSITIVITY OF THE BREAKING CHARGE TO THE INERTIVE LOADS OF THE SHOT

Akhmoeva E., email ahmoeva7347@yandex.ru
Prokhorenko N**.,** email ahmoeva7347@yandex.ru
Popov A., email popov-scorpio@yandex.ru
Nurmukhametov A., email FasteX2@yandex.ru
Rogozhin P., email p.rogojin@inbox.ru
Samara State Technical Univerrity, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100

Abstract: The results of calculations of the effective stresses arising in charges made by batch pressing and rolling for regular shells are given. The conditions for the safe use of charges from standard explosives for the conditions of the Arctic climate are determined.

Keywords: operational safety, explosives, means of destruction.

УДК 681.2.087

СИСТЕМА ФИКСАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ПЫЛЕВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

Бобиков Кирилл Владимирович, студент;
Нечаев Александр Сергеевич, к.т.н., доцент.
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Бобиков К.В., email argolity@gmail.com
Нечаев А.С., email nechaev-as@mail.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Радиотехнические устройства», ФГБОУ ВО СамГТУ , 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация

Возгорание пылевоздушных смесей происходит при их взаимодействии с искровым зарядом. В основе работы лежала проблема определения минимального количества энергии, которое бы обеспечивало возгорание ПВС. Для решение поставленной задачи было предложено разработать систему фиксации горения ПВС.

Ключевые слова:

Фиксация, искровой разряд, фотоэлементы, волоконно-оптический кабель, горение..

Чувствительность к электрическим разрядам является важной характеристикой материала, позволяющей судить о возможности его практического использования (диэлектрические свойства, исследование полупроводниковых материалов в силовой электронике, электроискровая обработка конструкционных материалов, электроимпульсное разрушение и измельчение горных пород и т.д.) [1,2], о его старении [3] (развитие в нем ударной ионизации, нарушение тепловой устойчивости, электрохимическое старение диэлектриков и т.п.), при составлении требований безопасности к работе со средами, заполненными этим веществом, его парами или пылью (угольные шахты, мукомольные заводы, транспортировка материалов в закрытых контейнерах, боксах, цистернах и т.д.) [4,5]. Особый интерес представляет собой оценка чувствительности пылевоздушной смеси на электрический разряд, поскольку именно она определяет, каким образом должны вестись технологические работы в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных помещениях. Без таких помещений невозможно представить строительную, металлургическую, горнодобывающую, химическую и другие виды отраслей. В военной промышленности также присутствуют отрасли в технологических линиях, которых существует необходимость уделять особое внимание возникновению электростатических разрядов и их влиянию на

протекающий процесс. Так, например, пневматическое транспортирование промышленных взрывчатых веществ (ВВ) и заряжание ими взрывных полостей сопровождаются электризацией. Возникающие электростатические разряды при этом могут стать источниками воспламенения пылевоздушных смесей (ПВС), особенно при пневмозаряжании, когда образование пылевоздушных смесей возможно и вне трубопроводов. Поэтому критерий чувствительности ВВ к электрической искре является основополагающим критерием с точки зрения электростатической безопасности, по которому можно оценить степень опасности воспламенения и разработать соответствующие меры .

В государственном стандарте ГОСТ Р 54745-2011 приведены схемы установок для испытания ВВ на чувствительность к электрическому разряду. Данные схемы приведены из условия возможности контроля вырабатываемой искрой энергии, путем изменения межэлектродного промежутка и увеличения напряжения зарядной цепи. Схема установки для испытаний зажигания ПВС изменением межэлектродного промежутка приведена на рисунке 1. Но в данной схеме отсутствует система фиксации возгорания.

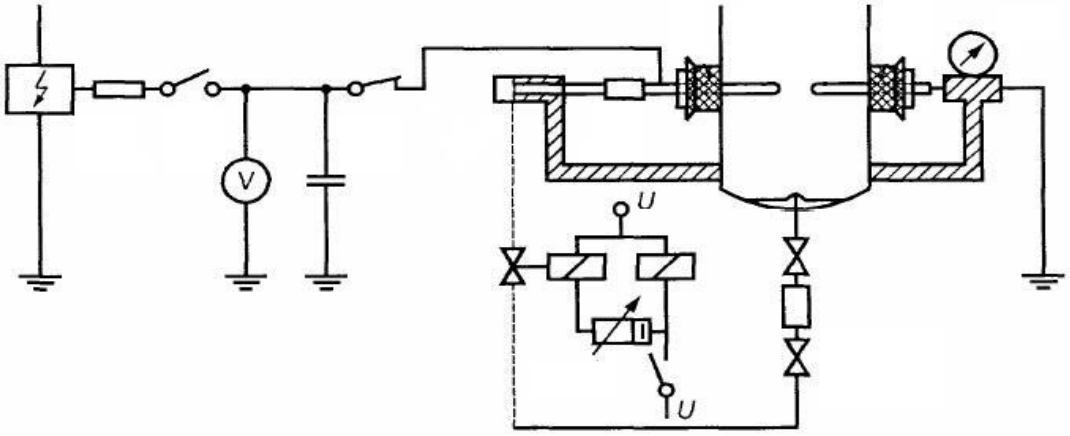


Рис. 1. Схема установки для испытаний зажигания ПВС.

Рис. 2. Опытный образец экспериментальной установки.

На рисунке 2 приведен опытный образец установки для зажигания ПВС. Непосредственно на данном образце будут происходить эксперименты.

На данном этапе работы, возникает необходимость в разработке системы фиксации горения ПВС. Определение минимальной энергии зажигания пылевоздушных смесей проводится в основном по методу подачи заданной энергии искрового разряда в известный объём концентрации порошка.

Фотоэлементы могут выполнять задачи фиксатора возгорания ПВС. Рассмотрим несколько вариантов данной системы: фото и видео фиксация. В обоих случаях необходимо разместить чувствительные фотоэлементы в непосредственной близи от места взаимодействия искры с ПВС, чтобы зафиксировать момент возгорания.

Рассмотрим систему фиксации с помощью фотоэлемента. Данный вариант обнаружения горения хорош тем, что мы можем получить изображение самого процесса и полученное изображение, не вызывает трудности в обработке, однако запечатлеть именно тот момент, когда искра провзаимодействует с ПВС, вызывает затруднения.

Что касается видео-фиксации, то однозначно можно выявить преимущество в том, что с помощью видео можно запечатлеть гораздо большее количество кадров всего процесса и соответственно увидеть его протекающим во времени. Но в связи с тем, что взаимодействие происходит очень быстро, то необходимо производить съёмку долго и не однократно.

Однако фотоэлементы чувствительны к резким скачкам напряжения, соответственно расположение в непосредственной близи от места взаимодействия искры и ПВС выведет из строя сами фотоэлементы. Использование оптоволокна, как проводника сигнала к элементам фиксации, поспособствует решению этой проблемы. Для более точного анализа сигнала, создание системы призм позволит нам разложить весь сигнал на спектры и рассматривать только тот, который имеет для нас практический интерес.

Таким образом, с помощью фотоэлементов возможно создание системы фиксации процесса горение ПВС, которая будет представлять собой оптическую систему разложения видимого спектра. Результатом данной проектно-конструкторской работы будет являться проверка правильности предлагаемого подхода и синтез данной системы фиксации в имеющуюся опытную установку, приведённую на рисунке 2.

Библиографический список:

1. 1. Tsong-Han Tan, Jiwang Yan Atomic-scale characterization of subsurface damage and structural changes of single-crystal silicon carbide subjected to electricaldischargemachining // Acta Materialia. – Volume 123. – 2017. – P. 362-372.
2. A. PRAMANIK, A.K. BASAK, M.N. ISLAM, G. LITTLEFAIR Electricaldischargemachining of 6061 aluminium alloy // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – Volume 25. Issue 9. – 2015. – P. 2866-2874.

3. B. Lauwers, J. Vleugels, O. Malek, K. Brans, K. Liu Electricaldischargemachining of composites // Machining Technology for Composite Materials. – 2012. – P. 202-241.
4. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ И БРИКЕТИРОВАНИИ УГЛЕЙ (СЛАНЦЕВ) Источник: http://base.safework.ru/law?doc&nd=33303091&nh=1
5. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 03.07.2016) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" Источник: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234.

SYSTEM OF FIXING OF THE COMBUSTION PROCESS OF A DUST-AIR MIXTURE OF EXPLOSIVE SUBSTANCES FROM AN INFLUENCE OF THEIR SPARKLE DISCHARGE

Bobikov Kirill Vladimirovich, student; Nechaev Alexander Sergeevich, PhD in Techn. Sc., Assos. Prof.
Samara State Technical University,
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st, 244
BobikovK.V., email argolity@gmail.com
NechaevA.S., email nechaev-as@mail.ru

Annotation

The combustion of dusty air mixtures occurs when they interact with a spark charge. The work was based on the problem of determining the minimum amount of energy that would ensure the ignition of DAM. To solve the problem, it was proposed to develop a system for fixing the combustion of DAM.

Keywords:

Fixation, spark discharge, photocells, fiber-optic cable, burning.

УДК 662.215.1, 681.5.08

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ БЛОК ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ВЫСОКОМОЩНОМУ ТЕПЛОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА

Богачева Ольга Александровна, студент;
Нечаев Александр Сергеевич, к.т.н., доцент.
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Богачева О.А., email olgaboga4@gmail.com
Нечаев А.С., email nechaev-as@mail.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Радиотехнические устройства»,
ФГБОУ ВО СамГТУ , 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
(Главный корпус)

Аннотация

Одним из способов инициирования ВВ является передача тепла посредством соприкосновения с ним нагретого до определенной температуры объекта. В основе работы лежала проблема определения параметров входного электрического сигнала, обеспечивающего нагрев токопроводящего стержня до температуры, необходимой для инициирования ВВ. Для решения поставленной задачи была получена модель распределения тепла в исполнительном блоке измерительной системы.

Ключевые слова:

Инициирование, электрический импульс, тепловая энергия, скин-эффект, распределения тепла, математическая модель.

Существуют задачи определения энергии воспламенения различных типов взрывчатых веществ (ВВ) с выявлением оптимальных, в некотором смысле, параметров инициирующего воздействия. Применение различных способов и методов инициирования определяет спектр исходных данных и краевых условий при решении данного рода задач. Так, например, при синтезе системы, обеспечивающей взрыв бризантного ВВ химическим способом, ключевыми вопросами являются выбор инициирующего ВВ, его масса и направленность действия; при разработке оптического (лазерного) инициатора принципиальными становятся вопросы выбора мощности лазера, степень рассеяния излучения, градиентная способность ВВ реагировать на данный вид энергии и т.д.[1].

Одним из способов инициирования ВВ является передача тепла посредством соприкосновения с ним нагретого до определенной температуры объекта.

В основу исследования ставится задача определения параметров входного электрического сигнала, обеспечивающего нагрев токопроводящего стержня до температуры, необходимой для инициирования ВВ.

Имеется информационно-измерительная система (ИИС), позволяющая проводить экспериментальные исследования по инициированию ВВ посредством передачи ему тепловой энергии от металлического стержня.

Под объектом (рабочим элементом) в схеме понимается конструкция, представленная на рисунке 1, состоящая из нихромового стрежня 1 диаметром 0,2÷0,5 мм, ВВ 2 и металлического корпуса 3.

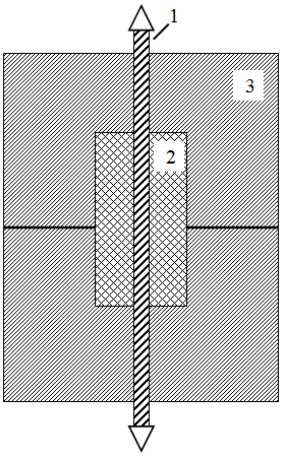


Рисунок 1 – Схема рабочего элемента ИИС

На токопроводящий стержень подается электрический сигнал определенной энергии, который, согласно закону Джоуля-Ленца, преодолевая сопротивление металлического стержня, нагревает его. Стержень и контактирующее с ним ВВ помещено в корпус, обеспечивающий необходимое давление в системе.

Поскольку теплофизические параметры ВВ и металлического стержня различны, причем, как правило, теплоемкость исследуемого вещества выше чем в металле, а теплопроводность ниже, то при решении данной задачи следует рассматривать не только температуру, возникающую при нагревании стержня, но и тепловую энергию, которая передается от стержня к ВВ.

В ходе эксперимента в качестве входного электрического сигнала часто принимают прямоугольный импульс определенной амплитуды и длительности. Естественно, что импульс большей амплитуды и длительности имеет превосходящее количество энергии, чем сигнал с меньшими значениями аналогичных параметров [3]. В то же время, возможны варианты сигналов с равной энергией, но различной мощности.

Когда в качестве электрического сигнала выступает импульс, спектр которого бесконечен, нагрев проводника будет зависеть от распределения энергетического спектра гармоник импульса [2]. Это объясняется наличием скин-эффекта, характеризующегося увеличением плотности потока электронов на внешней границе проводника при возрастании частоты электрического сигнала.

Поданный на вход рабочего элемента ИИС электрических прямоугольный импульс нагревает стержень не равномерно. Причем чем меньше длительность импульса, тем больше электрической энергии переходит в тепловую возле границы стержня.

Определение закона распределения тепла в стержне рабочего элемента ИИС в явном аналитическом виде является довольно непростой задачей даже с рядом допущений и ограничений. Решение может быть получено с помощью численных методов, путем построения математических моделей протекающих процессов с заданием необходимых коэффициентов и диапазонов.

Математическая модель представляет собой следующие уравнения:

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} = a_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \right), \tau > 0, R_1 \le r \le R_2 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \tau} = a_2 \cdot \frac{\partial^2 T_2}{\partial r} \quad (2)$$

$$\lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1(R_1,r)}{\partial r} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2(R_1,r)}{\partial r}, \quad (3)$$

T_1 и T_2 – температуры на стержне и на поверхности ВВ соответственно,

R_1 и R_2- радиусы цилиндра и радиус ВВ, λ_1 и λ_2- теплопроводный коэффициент стержня и ВВ, $\boldsymbol{\tau}$ – время

$$j(y) = j_0 \exp(-y/\Delta) \quad (4)$$

$$\Delta = \frac{1}{\sqrt{\omega\mu\mu_0\,\lambda/2}} \quad (5)$$

Здесь $j(y)$ – плотность тока в проводнике на глубине y; j_0 – плотность тока у поверхности проводника; Δ – величина, характеризующая глубину проникновения тока в проводнике (толщина скин-слоя).

В ходе работы был проанализирован процесс передачи тепла от стержня к ВВ в исполнительном блоке измерительной системы. Была учтена неравномерность электрической энергии в стержне, которая оказывает непосредственное влияние на формирование теплового распределения внутри блока. Приведены аналитические зависимости характеризующие распределение указанных величин учитывающих особенности сигналов, материалов и геометрий в узлах и элементах исполнительного блока.

Библиографический список:

1. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. М.:Энергоатомиздат, 2010. 782 с.
2. Догадин, Н.Б. Основы радиотехники / Н.Б. Догадин. – СПб.: Издательство «Лань», 2007. – 272 с.
3. Мощенский, Ю.В. Теоретические основы радиотехники. Сигналы: Учебное пособие / Ю.В. Мощенский, А.С. Нечаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 216 с.

THE EXECUTIVE UNIT OF THE MEASURING SYSTEM DETERMINATION OF SENSITIVITY TO HIGH-POWER THERMAL EXPOSURE TO EXPLOSIVE MATTER

Bogacheva Olga Alexandrovna,student; Nechaev Alexander Sergeevich, PhD in Techn. Sc., Assos. Prof.
Samara State Technical University,
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st, 244
Bogacheva O.A., email olgaboga4@gmail.com
Nechaev A.S., email nechaev-as@mail.ru

Annotation

One of the ways to initiate explosives is the transfer of heat by contact with an object heated to a certain temperature. The basis of the work was the problem of determining the parameters of the input electrical signal, which provides heating of the conductive rod to the temperature required to initiate the explosive. To solve this problem, a heat distribution model was obtained in the executive unit of the measuring system.

Kewords:

Initiation, electrical impulse, thermal energy, skin effect, heat distribution, mathematical model.

УДК 536.46

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АГЛОМЕРАЦИИ АЛЮМИНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ

Корчемкина Полина Геннадьевна[1,2], студент;
Глотов Олег Григорьевич[1,2], к.ф.-м.н., заведующий лабораторией
[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (999) 452-78-47
[2] Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук,
630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3
Корчемкина П. Г., e-mail Polishka25@mail.ru
Глотов О. Г., e-mail glotov@kinetics.nsc.ru
Адрес для корреспонденции: Корчемкина Полина Геннадьевна,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (999) 452-78-47

Аннотация

Экспериментально оценены возможности экспресс-методики, предназначенной для определения основных параметров агломерации металла при горении смесевых алюминизированных топлив путём отбора конденсированных продуктов горения в жидкость. На примере 11 модельных топлив показано, что измеряемые параметры заметно изменяются при вариации компонентного и гранулометрического состава топлив. Выявлено, что расчет размера агломератов по известной модели Коэна для исследованных топлив невозможен. Проведена оценка концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны, они не превышают ПДК.

Ключевые слова

Смесевое топливо; алюминий; агломерация; горение; конденсированные продукты горения (КПГ); модель «карманов» для расчета размера агломератов; установка для отбора КПГ; безопасные условия труда при работе на установке

Введение

Информация о параметрах дисперсной фазы алюминизированного топлива (в частности, об агломератах) необходима при конструировании двигателя и для расчётов внутрикамерных процессов, поэтому разработаны различные методики для экспериментальных исследований этих параметров [1–4]. Наиболее информативными оказались методики отбора, суть которых заключается в гашении частиц, их отборе и последующих анализах отобранных проб. Цели работы – оценка возможностей разрабатываемой экспресс-методики для определения основных агломерационных параметров топлив, оценка

возможностей расчёта размеров агломератов простейшими методами, оценка безопасных условий труда при работе на установке для сжигания миниатюрных образцов алюминизированного топлива.

Экспериментальная методика

Разрабатываемая методика основана на сжигании в малогабаритном сосуде высокого давления («минибомбе») исследуемого образца при заданном давлении и отборе продуктов горения в жидкость. Давление создается азотом из баллона и контролируется манометром. Под образцом устанавливается стакан с замораживающей жидкостью (дистиллированной водой). Диаметр стакана соответствует внутреннему диаметру бомбы. Расстояние от поверхности образца до поверхности жидкости устанавливается строго 2 см.

Для экспериментов использовали 12 модельных смесей. Смеси имели консистенцию пластилина. Для сжигания смеси помещали в стаканчики с размером ∅3×3 мм. Масса топлива типично составляла 0.2 г. Все эксперименты проведены при давлении 0.2 МПа. В ходе эксперимента проводили видеосъемку горения через окно бомбы. Видеосъемка позволяет определить время горения образца и по известной длине образца оценить его скорость горения. По окончании опыта стакан извлекали, отобранные частицы препарировали и исследовали следующим образом.

Суспензию из стакана процеживали через сито с размером ячеек 80 мкм. Согласно [2] частицы крупнее 80 мкм считаются агломератами. Остаток на сите высушивали при комнатной температуре и взвешивали. Высушенный остаток подвергали гранулометрическому анализу с применением оптического микроскопа и получали гистограмму распределения числа частиц по размерам. По гистограмме вычисляли средний размер D_{43} [5].

Результаты экспериментов

Основные результаты экспериментов – скорость горения r, средний размер D_{43} и безразмерная масса агломератов m_{ag}. Выявлены основные тенденции изменения скорости горения r и безразмерной массы агломератов m_{ag} при вариации состава топлив.

Расчет размеров агломератов

Размеры агломератов рассчитывали с помощью модели «карманов» Коэна [6]. Расчёты показали, что при массовой доле крупного ПХА больше 0.54 предположение о расположении частиц в вершинах кубической решетки приводит к тому, что расстояние между частицами становится отрицательным. Основная причина – использование высокоплотного связующего. Модель Коэна не может быть использована для исследованных топлив.

Оценка безопасности проведения экспериментов в лаборатории

Безопасность проведения экспериментов с минибомбой оценивали с точки зрения выделения вредных веществ [7]. Для этого были вычислены концентрации

продуктов сгорания в вытяжном шкафу. Показано, что даже при выключенном моторе вытяжного шкафа концентрации вредных веществ-продуктов горения после сжигания образца не превышают предельно допустимых значений [8]. Работа на установке для отбора конденсированных продуктов горения с выпуском продуктов горения в объём вытяжного шкафа является безопасной.

Заключение

1. На основании экспериментального исследования 11 модельных топлив установлено, что результаты определения массовых и размерных параметров агломератов, полученные на малых образцах с помощью отбора остатков горения в жидкость, чувствительны к изменению компонентного и гранулометрического состава топлив, поэтому разработку экспресс-методики необходимо продолжить.

2. Выявлено, что расчет объёма карманов и размера агломератов по модели Коэна для исследованных топлив с высокоплотным связующим невозможен.

3. Показано, что работа на установке для отбора конденсированных продуктов горения с образцами массой 0.2 г в вытяжном шкафу является безопасной (концентрации вредных веществ-продуктов горения в воздухе рабочей зоны не превышают ПДК).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Price E. W., Sigman R. K., Sambamurthi J. R., Park C. J. Behavior of aluminum in solid propellant combustion. AFOSR-TR-82-0964. Georgia Institute of Technology, 1982;
2. Фролов Ю. В., Похил П. Ф., Логачев В. С. Воспламенение и горение порошкообразного алюминия в высокотемпературных газовых средах и составе гетерогенных конденсированных систем // Физика горения и взрыва, 1972, Т. 8, № 2, с. 213-236;
3. Глотов О.Г., Зырянов В.Я. Конденсированные продукты горения алюминизированных топлив. I. Методика исследования эволюции частиц дисперсной фазы, // Физика горения и взрыва, 1995, Т. 31, № 1, с. 74-80;
4. Иванов Н. Н., Иванов А. Н. Приборы и установки контактной диагностики и их использование в исследовании высокотемпературных двухфазных потоков // Физика горения и взрыва, 1991, Т. 27, № 6, с. 87-101;
5. Глотов О. Г., Зарко В. Е., Карасев В. В. Проблемы и перспективы изучения агломерации и эволюции агломератов методом отборов // Физика горения и взрыва, 2000, Т. 36, № 1, с. 161-172;
6. Коэн Н. С. Модель «карманов» для описания процесса агломерации алюминия в смесевых ракетных топливах // Аэрокосмическая техника, 1984, Т. 2, № 2, с. 67-75;
7. Забелин Л. В., Гафиятуллин Р. В., Гусева Л. Р. Экологические аспекты проблемы утилизации зарядов твердотопливных ракетных двигателей (РДТТ) // Химия в России, 1999, № 2, с. 4-7;
8. ГН 2.2.5.3532-18 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны" от 13 февраля 2018 г.

EXPERIMENTAL AND COMPUTATION STUDY OF THE ALUMINIUM AGGLOMERATION UNDER COMBUSTION OF MODEL COMPOSITE PROPELLANTS

Korchemkina Polina Gennadievna[1,2], student;
Glotov Oleg Grigorievich[1,2], head of laboratory
[1] Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Avenue, 20, Novosibirsk, 630073, Russia
[2] Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICKC SB RAS) , Institutskaya 3, Novosibirsk, 630090, Russia
Korchemkina P. G., e-mail Polishka25@mail.ru
Glotov O. G., e-mail glotov@kinetics.nsc.ru

Abstract

The possibilities has been experimentally estimated for the express-technique intended for measurements of the key parameters of metal agglomeration during combustion of composite aluminized propellant via sampling the condensed combustion products into liquid. It was shown on the basis of 11 model propellants that the measured parameters change considerably at the variation of propellant formulation and the powder components particle size. It was revealed that calculation of the size of agglomerates using known Cohen “pocket” model is impossible for the propellants under study. The concentrations of harmful substances in air of the work area were estimated. These concentrations do not exceed maximum permissible concentration (MPC).

Keywords: Composite solid propellant; aluminum; agglomeration; combustion; condensed combustion products (CCP); "pockets" model for the agglomerate size calculation; set-up for CCP sampling; safety working conditions for sampling set-up.

УДК 538.953.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАЖИГАНИЯ, НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Макарова Кристина Николаевна [1]студент;
Зарко Владимир Егорович[2], д.ф-м.н., проф.
[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19
[2] Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская 3, тел. (383)333-22-92
Макарова К.Н., kn.makarova@yandex.ru
Зарко В.Е., vez41@mai.ru

Аннотация

Представлены результаты расчета скорости горения модельного энергетического материала с помощью теплокинетических параметров, полученных по результатам численного моделирования зажигания с использованием программы СТЕМ. В расчетах варьировались значения энергии активации (E_a) и коэффициента прозрачности энергетического материала (α). Расчет теплокинетических параметров проводился с использованием критерия зажигания Мержанова.

Ключевые слова:

Горение, зажигание, конденсированные системы.

1. Введение

Одним из практических способов изучения кинетики твердофазного реагирования энергетического материала (ЭМ) является экспериментальное определение времени зажигания с последующей обработкой полученных данных на основе критерия зажигания Мержанова, который позволяет рассчитать энергию активации ЭМ (Ea), а также значение Qk0. В данной работе численное моделирование играло роль виртуального эксперимента, в котором варьировались значения теплового потока и определялись времена задержки зажигания.

Цель работы – определение влияния кинетических параметров на величину скорости горения ЭМ, рассчитанной по приближенной аналитической формуле.

2. Постановка задачи

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

На поверхность ЭМ воздействуют внешним радиационным потоком интенсивностью q. Поглощение лучистой энергии происходит по закону Бугера-Ламберта-Бера. При нагреве вещества ЭМ в поверхностном слое происходят экзотермические реакции, обусловливающие зажигание и последующее горение при действии потока данной интенсивности. Поведение ЭМ при нагреве, зажигании и последующем горении описывается системой уравнений [1].

Принято, что затраты тепла на плавление ЭМ отсутствуют и при достижении критической температуры (плавления) 480К начинаются химические реакции в жидкой конденсированной фазе, а на поверхности происходит испарение по закону Клапейрона-Клаузиуса.

Таблица 1

Характеристики ЭМ

Параметр	Значение
Плотность ρ, кг/м^3	1 720
Удельный тепловой эффект химической реакции Q, кДж/кг	1 700
Коэффициент теплопроводности λ, кВт/м·К	$2.3 \cdot 10^{-4}$
Удельная теплоемкость c, кДж/кг·К	1.256
Теплота испарения L, кДж/кг	1000
Температура кипения $T_{кип}$, К	575
Предэкспотенциальный множитель в уравнении Аррениуса k_0, с$^{-1}$	10^{19}

В момент зажигания энергетического материала выполняется условие зажигания [2]

$$q_S^2 = \lambda \cdot \rho \cdot \psi \cdot Q k_0 \cdot \frac{R \cdot T_S^2}{E} \exp\left(\frac{-E}{R \cdot T_S}\right) \qquad (1)$$

где T_s – температура на поверхности ЭМ, К; ψ – коэффициент согласования; R – универсальная газовая постоянная, кДж/кмоль·К, E – энергия активации, кДж/кмоль.

3. Результаты

Параметры, варьируемые при расчете, представлены в таблице 2. Расчеты времени зажигания проводились по программе СТЕМ [1]. Прозрачность вещества уменьшается при увеличении коэффициента поглощения α. При значении коэффициента поглощения $\alpha = 0$ в соответствии с описанием программы принимается, что вся энергия поглощается на поверхности ЭМ.

Таблица 2

Варьируемые параметры

α, 1/м	0		10 000		
E, кДж/моль	200		250	300	
q, кВт/м^2	400	600	800	1 000	1 200

По рассчитанному времени зажигания находили значение температуры инертного нагрева для непрозрачного тела ($\alpha = 0$) из соотношения [3]:

$$T_з = T_0 + \frac{2 \cdot q}{\sqrt{\pi \cdot \lambda \cdot c \cdot \rho}} \sqrt{t_з} \qquad (2)$$

где $t_з$ – время зажигания, с.

Для прозрачного тела (α = 10 000 1/м) температуру инертного нагрева находили из соотношения [4]:

$$T_з = T_0 + 2 \cdot \frac{q}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\sigma \cdot t_з}{\pi}} - \frac{q}{\lambda \cdot \sigma} \cdot \left[1 - \exp(\sigma \cdot \alpha^2 \cdot t_з) \cdot erfc(\alpha \cdot \sqrt{\sigma \cdot t_з})\right] \qquad (3)$$

где q – плотность внешнего теплового потока, кВт/м^2; σ=□/c□ –

температуропроводность, м^2/с; α – коэффициент поглощения, м$^{-1}$; $erfc(\alpha\cdot\sqrt{\sigma\cdot t_з})$ – дополнительная функция ошибок.

С использованием рассчитанной по времени зажигания температуры инертного нагрева находим по уравнению (1) значения энергии активации и комплекса Qk_0.

Скорость горения определяли при установившемся значении температуры поверхности ($T_{кип}$) из соотношения [5]

$$u = \frac{q + \sqrt{2\cdot\lambda\cdot\rho\cdot\psi\cdot Qk_0\cdot\frac{R\cdot T_{кип}^2}{E}}\cdot\exp\left(\frac{-E}{2\cdot R\cdot T_{кип}^2}\right)}{c\cdot\rho\cdot\left(T_{кип}-T_0\right)} \qquad (4)$$

Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета скорости горения без учета плавления

№	α, 1/м	E, кДж/моль	u, мм/с				
			q = 400 кВт/м^2	q = 600 кВт/м^2	q = 800 кВт/м^2	q = 1000 кВт/м^2	q = 1200 кВт/м^2
1	0	200 (т[1])	1.2631	1.5998	1.9364	2.2731	2.6097
	0	167.0 (э[2])	9.0228	9.6613	10.2504	10.8147	11.3531
	Программа		0.7135	0.8751	1.022	1.253	1.374
2	0	250 (т)	0.6761	1.0128	1.3494	1.6861	2.0227
	0	160.5 (э)	18.0672	18.9185	19.7243	20.4819	21.1887
	Программа		0.7339	0.8702	1.018	1.249	1.371
3	0	300 (т)	0.6733	1.0100	1.3466	1.6833	2.0199
	0	160.4 (э)	18.1360	19.0967	19.9066	20.6678	21.3778
	Программа		0.7342	0.8699	1.116	1.249	1.371
4	10 000	200 (т)	1.2631	1.5998	1.9364	2.2731	2.6097
	10 000	297.9 (э)	0.7527	1.1258	1.4974	1.8680	2.2371
	Программа		1.001	1.137	1.254	1.366	1.471
5	10 000	250 (т)	0.6761	1.0128	1.3494	1.6861	2.0227
	10 000	260.8 (э)	0.7553	1.1311	1.5013	1.8713	2.2410
	Программа		0.7821	0.8325	1.031	1.153	1.268
6	10 000	300 (т)	0.6733	1.0100	1.3466	1.6833	2.0199
	10 000	248.9 (э)	0.7562	1.1308	1.5038	1.8742	2.2434
	Программа		0.7578	0.8766	0.9691	1.096	1.216

[1] – теоретическое значение (входные данные для расчета по СТЕМ); [2] – «экспериментальное» значение (результаты обработки расчетов по СТЕМ).

4. Выводы

По результатам расчета сделаны следующие выводы:

1) Увеличение энергии активации приводит к уменьшению скорости горения, рассчитанной по соотношению (4).
2) Уменьшение энергии активации ниже уровня 200 кДж/моль приводит к резкому увеличению скорости горения. Уменьшение энергии активации со 167.0 до 160.5 (на 6.5 кДж/моль) приводит к увеличению скорости горения в случае непрозрачного ЭМ в 1.9-2.0 раза (~ 200 %) при различных потоках. В случае прозрачного ЭМ уменьшение энергии активации с 260.8 до 248.9 (на 11.9 кДж/моль) приводит к увеличению скорости горения в 1.001 раз (0.1 %) при разных потоках.
3) Для непрозрачного вещества, при всех значениях энергии активации скорость горения, рассчитанная по программе СТЕМ, ближе к значениям, рассчитанным по соотношению (4) с использованием исходных параметров, чем к значениям, рассчитанным по соотношению (4) с использованием экспериментальных параметров. Для прозрачного вещества в двух случаях (№5 и №6) значения скорости, рассчитанные программой СТЕМ, ближе к значениям, рассчитанным по соотношению (4) с использованием теоретических значений энергии активации и Qk_0.
4) Увеличение плотности внешнего теплового потока приводит увеличению скорости горения во всех случаях, при этом зависимость $u(q)$ линейная.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-29-01029).

Список литературы

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

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

3. Аверсон А.Э., Барзыкин В.В., Мержанов А.Г. Динамические режимы зажигания // Физика горения и взрыва, 1968, №1. – 20-32 с.

4. Ковальский А.А., Хлевной С.С., Михеев В.Ф. К вопросу о зажигании баллистических порохов // Физика горения и взрыва, 1967, №4. – 527-541 с.

5. Конев Э.В. К вопросу о горении пороха в цилиндрической полости // Физика горения и взрыва. – 1969. – №1. – С. 137-139.

INFLUENCE OF PARAMETERS DETERMINED WHEN MODELING IGNITION ON THE RATE OF ENERGY MATERIAL COMBUSTION

Makarova Kristina Nikolaevna [1],student; Zarko Vladimir Egorovich[2], D. Sc. in Phys. and Math. Sc., Full Professor.

[1] Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, av. K. Marksa, 20, tel. (913)005-48-19

[2] Institute of Chemical Kinetics and Combustion of the Siberian Branch of the RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Institutskaya st, 3, tel. (383)333-22-92

Makarova K.N., kn.makarova@yandex.ru

Zarko V. E., vez41@mai.ru

Abstract

The paper presents the results of calculating the burning rate of the model energetic material on the basis of the ignition simulation results obtained via using CTEM program. In the simulations, the values of the activation energy (Ea) and the transparency coefficient of the energetic material (α) were varied. The calculation of the kinetic parameters was carried out using the Merzhanov ignition criterion.

Keywords

Combustion, ignition, condensed systems.

УДК 614.8.084, 614.83

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В РФ: ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ

Митрошина Полина Алексеевна, студент;
Кондратенко Павел Константинович, к.т.н.;
Нурмухаметов Андрей Тагирович, к.т.н.
Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Митрошина П.А., email polinaamitroshina@mail.ru
Кондратенко П.К., kondr_pk@mail.ru
Нурмухаметов А.Т., email FasteX2@yandex.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Технология твердых химических веществ», Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация

Рассматриваются особенности промышленной безопасности опасных производственных объектов. Представлены пути решения проблемы недостаточной нормативной базы, регулирующей деятельность этой отрасли.

Ключевые слова:

Промышленные взрывчатые вещества, промышленная безопасность, опасные производственные объекты.

Согласно неутешительной статистике Международной организации труда (МОТ), каждый год в мире регистрируется порядка 340 млн. несчастных случаев на производстве. В результате такого рода происшествий погибают или становятся жертвами профессиональных заболеваний около 2,3 млн. человек. Так, например, только работа с вредными веществами является причиной 600 тыс. смертей в год. По данным Росстата в Российской Федерации в последние годы сохраняется тенденция к снижению уровня производственного травматизма:по сравнению с 2017 годом, за 2018 год количество несчастных случаев с тяжелыми последствиями снизилось на 3%. Однако сопоставив данные Росстата со статистикой МОТ можно увидеть, что Россия все еще находится в числе лидеров по числу смертей на рабочем месте: на 100 тыс. населения приходится 6 погибших в год. Наиболее опасными являются условия труда в российской промышленности: за прошедший год здесь произошло несколько крупных аварий, в основном на производствах, связанных со взрывчатых веществами.В настоящий момент на территории Российской Федерации осуществляют свою деятельность 90 предприятий отрасли спецхимии и боеприпасов, выполняющих порядка 1,5 тысячи операций по 20 видам производств, непосредственно связанных со взрывчатыми веществами. За последние 5 лет на данных объектах произошло

27536 технологических случая, 38 предаварийных ситуации и 35 аварий, в результате которых пострадали 82 человек. В таблице 1 представлены данные по количеству аварийных случаев на предприятиях за 2011-2018 гг.

Таблица 1

Аварийные случаи на предприятиях отрасли

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Всего аварий,в том числе:	5	1	5	7	7	6	6	4
I категории(с полным разрушением)	-	-	1	-	1	–	–	–
II категории(с сильным разрушением)	-	-	-	2	–	3	1	–
III категории(со средним разрушением)	1	-	2	1	2	2	3	1
IV категории(со слабым разрушением)	4	1	2	4	4	1	2	3
Технологические случаи	444	555	2941	3783	5055	5371	5736	4550
Предаварийные ситуации, инциденты	6	6	7	8	3	7	6	7
Пострадавшие/ в т.ч. смертельно, чел.	2/-	1/-	6/1	12/6	9/5	18/7	8/4	29/12

К категории опасных производственных объектов, согласно Федеральному закону от 21.07.1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», относятся объекты, на которых получают, используют, перерабатывают, образуют, хранят, транспортируют и уничтожают взрывчатые вещества. Причиной несчастных случаев на объектах данного типа может стать как отсутствие автоматизации и механизации ряда операций, отсутствие системы видеоконтроля и современных извещателей пламени пожара, так и банальное несоблюдение правил безопасности, как, например, превышение норм загрузки помещений и количества персонала в местах производства и хранения.

Промышленная безопасность на предприятиях представляет собой синтез организационных и технических мероприятий, в результате которого создаются безопасные условия труда, следствием которых становится предотвращение несчастных случаев на производстве. Помимо нормативно-правовой базы, одной из основ обеспечения безопасности при работе, в том числе, со взрывчатыми материалами является соблюдение установленных требований промышленной безопасности, а именно условия, запреты и ограничения, содержащиеся в Федеральном законе №116-ФЗ, других Федеральных законах и иных нормативно-правовых актах Российской Федерации, а также нормативно-технических документах в области промышленной безопасности (рис.1) [1].

Рисунок 1 - Структура законодательной и нормативно правовой базы в области промышленной безопасности в РФ

В настоящее время главным нормативно-техническим документом в системе промышленной безопасности являются Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности (далее ФНиП). Разработанные в соответствии с Федеральным законом №116-ФЗ, они устанавливают обязательные требования кдеятельности в области промышленной безопасности,безопасности технологических процессов на опасных производственных объектах, а также обоснованию безопасности опасного производственного объекта.

Анализ документов выявил, что на данный момент на предприятиях отрасли действует единственный документ, требованиями которого руководствуются приобеспечении безопасности обращения взрывчатых материалов промышленного назначения- Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах», утвержденный Приказом Ростехнадзора от 16.12.2013 N 605. Данные Правила были разработаны с учетом современного состояния нормативно-правовой базы в области промышленной безопасности, с целью актуализации действующих требований промышленной безопасности. Несмотря на то, что документ объединил в себе требования безопасности, установленные в различных нормативных документах, в чем-то даже заменив их, его положения все же, как следует из названия, акцентированы в первую очередь на применение взрывчатых материалов и регламентируют производство лишь небольшой части промышленных взрывчатых веществ. В соответствии с п. 591: «Настоящие правила устанавливают требования к устройству и эксплуатации стационарных пунктов производства гранулированных и водосодержащих взрывчатых веществ промышленного назначения, промежуточных компонентов, смесей, эмульсий для производства указанных взрывчатых веществ» [2]. Таким образом, неохваченным остается целый ряд взрывчатых материалов, применяемых в современной промышленности.

Таким же образом дело обстоит с требованиями пожарной безопасности. Например, действие Свода правил 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», согласно п. 1.3. ч. 1 не распространяется «на помещения и здания для производства и хранения взрывчатых веществ, средств инициирования ВВ». А Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о

требованиях пожарной безопасности» указывает, что в отношении производственных объектов, объектов переработки, хранения взрывчатых веществ и материалов наряду с его положениями должны соблюдаться требования пожарной безопасности, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации (статья 1, п. 3). Кроме того, предложенное в указанных документах категорирование зданий, сооружений и помещений по пожарной и взрывопожарной опасности не учитывает специфики производств отрасли.

В результате, перед нами встает проблема недостаточной нормативно-правовой базы, регулирующей деятельность предприятий специальных производств. Наиболее подходящим решением данной проблемы могла бы стать разработка новых ФНиП, учитывающих специфику данной отрасли производств. В основу новых правил могут быть положены уже существующие ФНиП: «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» от 11.03.2013 года №96; «Правила безопасности химически опасных производственных объектов» от 21.11.2013 года №559; «Требования к безопасному ведению технологических процессов нитрования» от 26.12.2014 года №615, «Требования к технологическим регламентам химико-технологических производств» от 31.12.2014 года №631, а также уже упоминаемые ранее «Правила безопасности при взрывных работах» от 16.12.2013 года №605. Помимо этого, новые Правила могут содержать положения документов, используемых в военной промышленности, например, «Правила устройства предприятий по изготовлению РТТ, ВВ, пиротехнических средств и составов, средств их инициирования и военной техники на их основе» МОП СССР 1989 (ПУП-89) и «Правила устройства и безопасной эксплуатации производств утилизации обычных боеприпасов» (ПР 84-19-2002), содержащие. Данные документы содержат более полные требования к безопасности на объектах специальных производств, однако их использование может повлечь за собой дополнительные проблемы в следствии их секретности. Кроме того, ПУП-89 не обновлялись уже более 30 лет, что также может препятствовать внедрению их в современные производства спецхимии. Таким образом, решение о разработке и использовании нового документа должно быть принято органом исполнительной власти в области промышленной безопасности – Ростехнадзором, и в случае положительного решения потребуется участие отраслевых НИИ, экспертного сообщества и самих предприятий.

Библиографический список:

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;
2. Приказ Ростехнадзора от 16.12.2013 № 605 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах».

ENSURING THE INDUSTRIAL SAFETY OF ENTERPRISES OF SPECIAL PRODUCTIONS IN THE RUSSIAN FEDERATION: FEATURES AND PROBLEMS

Mitroshina P., student, email polinaamitroshina@mail.ru
Kondratenko., Ph.D., email kondr_pk@mail.ru
Nurmukhametov A., Ph.D., email FasteX2@yandex.ru
Samara State Technical Univerrity, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100

Abstract: The features of industrial safety of hazardous production facilities are considered. Presents ways to solve the problem of insufficient regulatory framework governing the activities of this industry.

Keywords: industrial explosives, industrial safety, hazardous production facilities.

УДК 623.488

ПОВЫШЕНИЕ ЗАПРЕГРАДНОГО ДЕЙСТВИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ МАЛОГО КАЛИБРА

Плотников Олег Петрович, студент; Ковалева Ксения Васильевна, студент;
Попов Александр Геннадьевич, к.т.н.,
Нурмухаметов Андрей Тагирович, к.т.н.

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Плотников О.П., email FasteX2@yandex.ru
Ковалева К.В., email lisenokksyu77@gmail.com
Попов А.Г., email popov-scorpio@yandex.ru
Нурмухаметов А.Т., email FasteX2@yandex.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Технология твердых химических веществ», Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных исследований по повышению запреградного действия кумулятивных зарядов малого калибра.

Ключевые слова:

Кумуляция, эффективность, бронепробитие, ВВ, запреградное действие.

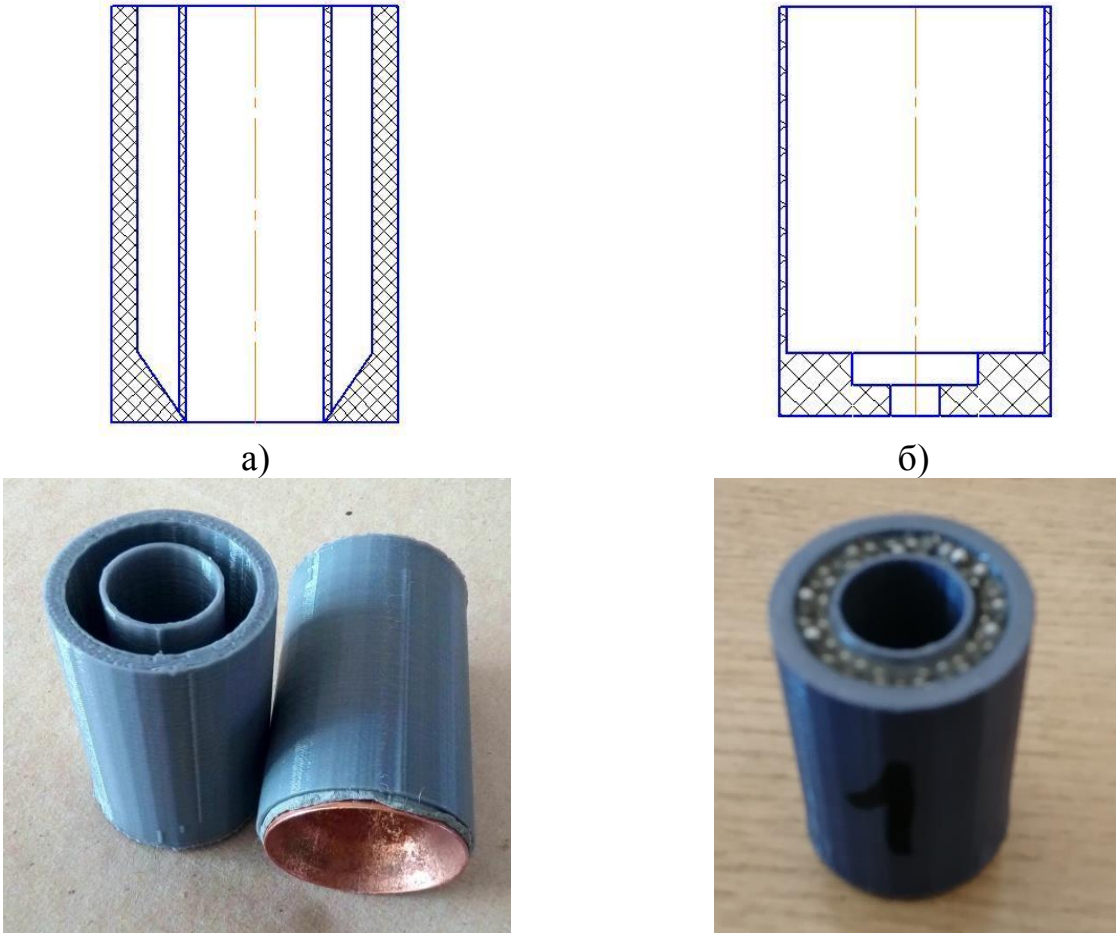
В настоящее время кумулятивные боеприпасы являются одним из основных средств для борьбы с бронетехникой противника. В Самарском государственном техническом университете предлагалось использовать кумулятивный заряд малого калибра, который предлагалось использовать для поражения легкобронированной техники, снятия динамической защиты танка, а также в качестве элементов тандемных и кассетных боеприпасов [1].

Эффективность действия кумулятивных боеприпасов принято оценивать как величиной бронепробития, так и возможным запреградным действием, основой которого являются вторичные осколки, способные поразить значительную часть объема внутри цели. В связи с тем, что ведущие мировые страны стараются повысить уровень защиты легкобронированной техники, путем сочетания броневого материала с неметаллической противооткольной защитой, актуальным является проведение научных исследований, направленных на повышение запреградного действия кумулятивных боеприпасов малого калибра путем внесения за преграду как готовых поражающих элементов (ГПЭ), так и активных веществ (АВ).

При подрыве заряда ГПЭ или активные вещества заносятся в образованное

кумулятивной струей отверстие эжекцией и продуктами детонации разрывного заряда, тем самым увеличивая забронебое осколочное или зажигательное действие.

Для исследований использовались кумулятивные заряды калибром 40 мм, представленные на рисунке 1. В качестве готовых поражающих элементов применялись изделия сферической формы диаметром 3 мм, в качестве активных веществ – бор аморфный и алюминиевая пудра.



а) б) в) г)

а – схема фокусной подставки с отделением для ГПЭ/активных веществ;
б) схема корпуса макета КЗ; в) внешний вид исследуемого КЗ;
г) внешний вид блока с ГПЭ

Рисунок 1 – Схемы и внешний вид исследуемого макета кумулятивного заряда

Основными критериями, определяющими запреградное действие кумулятивных зарядов, служили образование вторичных осколочных элементов от тыльной стороны преграды, занос готовых поражающих элементов, зажигательное действие активных веществ.

Следует отметить, что экспериментальные исследования проводились в два этапа. Первый этап заключался в определении возможности заноса готовых поражающих элементов; второй - в определении зажигательного действия. Схема и внешний вид испытательного стенда представлена на рисунке 2.

Для улавливания вторичных осколков и ГПЭ использовалась пластина-

свидетель, установленная на расстоянии 500 мм от преграды. Для определения зажигательного действия кумулятивных зарядов дополнительно применялась ветошь, пропитанная керосином. Толщина пробиваемой преграды - 20 мм.

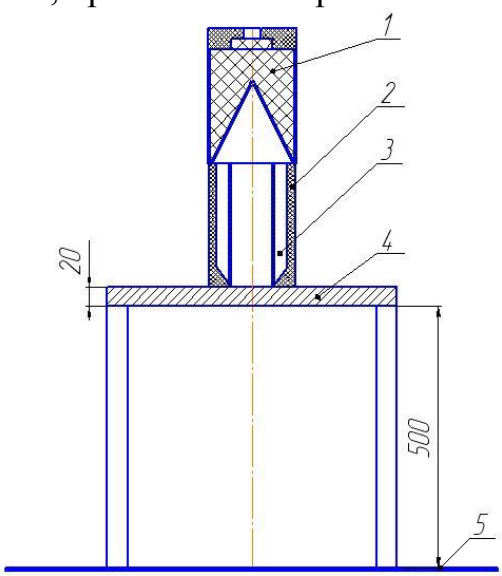


Рисунок 2 – Схема и внешний вид испытательного стенда
1 – исследуемый кумулятивный заряд; 2 – фокусная подставка; 3 – отсек для размещения ГПЭ/активных веществ; 4 – пробиваемая преграда толщиной 20 мм; 5 – пластина свидетель

Результаты проведенных исследований приведены в таблицах 1 и 2, а также на рисунках 3 и 4.

Таблица 1. Результаты исследований по определению запреградного действия КЗ, путем заноса готовых поражающих элементов

Тип КЗ	Кол-во ГПЭ, шт	Фокусное расстояние, мм	Диаметр, мм			Отношение занесенных ПЭ, %
			Входной	Выходной	Откол	
без блока ГПЭ	0	60	13,3	16,5	24,0	-
с блоком ГПЭ	100	60	14,4	17,1	27,2	12,0
с блоком ГПЭ	500	60	16,2	19,1	23,7	14,2
с блоком ГПЭ	1000	60	13,1	15,2	18,5	13,8

Таблица 2. Результаты исследований по определению запреградного действия КЗ, путем заноса активных веществ

Тип АВ	Фокусное расстояние, мм	Диаметр, мм			Зажигательное действие, %
		Входной	Выходной	Откол	
без АВ	60	14,1	15,9	22,6	0
бор аморфный	60	13,5	16,4	21,8	100
алюминиевая пудра	60	14,8	18,1	23,8	80

Рисунок 3 – Внешний вид преграды после пробития КЗ

Рисунок 4 – Результаты определения зажигательного действия КЗ

Вывод: Изучена возможность повышения запреградного действия кумулятивных зарядов калибром до 40 мм. Результаты исследований показали, что наибольшим эффектом обладают кумулятивные заряды с блоком активных веществ, что подтверждается наличием зажигательного действия в запреградном пространстве.

Библиографический список:

1. Крючкова К.Д., Нурмухаметов А.Т., Попов А.Г., Кузнецова Н.И., Деморецкий Д.А. Перспективные технические средства для поражения легкобронированной техники: Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона».- Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2013.

IMPROVING THE BANNED ACTION OF CUMULATIVE CHARGES OF SMALL CALIBER

Plotnikov O., student, email FasteX2@yandex.ru
Kovaleva K, student, email lisenokksyu77@gmail.com
Popov A., Ph.D., email popov-scorpio@yandex.ru
Nurmukhametov A., Ph.D., email FasteX2@yandex.ru
Samara State Technical Univerrity, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100

Abstract.

The results of experimental studies on the increase in the over-action of small-sized shaped charges are presented.

Keywords: cumulation, efficiency, armor penetration, explosives, supergraded action.

УДК 623.4

ФИЗИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ШТАТНЫХ РАЗРЫВНЫХ ЗАРЯДОВ ПРИ АРКТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ХРАНЕНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УДАРНИКА

Прохоренко Наталья Олеговна, студент; Ахмоева Екатерина Васильевна, студент; Попов Александр Геннадьевич, к.т.н., Нурмухаметов Андрей Тагирович, к.т.н.; Рогожин Павел Викторович, к.т.н.

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Прохоренко Н.О., email ahmoeva7347@yandex.ru
Ахмоева Е.В., email ahmoeva7347@yandex.ru
Попов А.Г., email popov-scorpio@yandex.ru
Нурмухаметов А.Т., email FasteX2@yandex.ru
Рогожин П.В., email p.rogojin@inbox.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Технология твердых химических веществ», Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация

Представлено физическое объяснение инициирования детонационного процесса при воздействии на снаряд при низких арктических температурах осколка по параметрам системы STANAG 4496. Показано, что рост скорости тепловыделения, вследствие увеличения коэффициента трения и уменьшения скорости теплопроводности при долговременном хранении штатных ОФ боеприпасов при температуре до -60 °С, приводит к локализации тепловыделения в более тонком слое при разрушении ВВ осколком.

Ключевые слова:

Эксплуатационная безопасность, ВВ, средства поражения.

На основании ранее проведенных экспериментальных работ определено, что для условий арктических температур (-60 °С), штатные осколочно-фугасные боеприпасы, снаряженные А-IX-1, А-IX-2 или окфолом, с толщиной корпуса более 14 мм относятся к боеприпасам пониженного риска. Для условий средних температур (от -30 до +30 °С) безопасная толщина стенки корпуса снаряда составляет 8 мм [1].

Эксперименты показывают, что при попадании высокоскоростного осколка в модельный снаряд, с зарядом из бризантного ВВ, результат воздействия зависит от скорости элемента. Можно предложить несколько механизмов инициирования детонационного процесса, при которых вероятность взрыва возрастает с увеличением скорости осколка. Поэтому необходимо проанализировать различные причины детонации в условиях конкретных экспериментов.

Рассмотрим зависимость вероятности детонации от скорости осколка. В соответствии с экспериментальными результатами при скорости осколка $1{,}85 \cdot 10^3$ м/с, он теряет в модельном заряде ВВ энергию порядка 3000 Дж. Пренебрегая кинетической энергией приобретаемой осколками ВВ в результате пробоя, положим, что вся эта энергия расходуется на нагрев ВВ в результате трения. Работа, совершаемая силами трения, определяется выражением:

$$\delta A_f = \delta F dz = \sigma_\tau dS dz = 2\pi R \sigma_\tau dz dz \quad (1)$$

Эта работа равна изменению кинетической энергии осколка при его перемещении на расстояние dz внутри мишени. Полагая движение равнозамедленным, для соответствующего изменения энергии получим:

$$dT = \frac{\Delta W}{h} dz \quad (2)$$

где ΔW - изменение кинетической энергии на всей толщине мишени;
h – толщина мишени.

Тогда:

$$2\pi R \sigma_\tau dz dz = \frac{\Delta W}{h} dz = \delta A \quad (3)$$

Предположим, что вся эта работа идёт на нагрев мишени. Температура мишени определяется балансом плотностей мощности нагрева в точке пространства и мощности отводимой в глубину ВВ вследствие явления теплопроводности. Плотность мощности нагрева определится как:

$$P = \frac{\delta A}{2\pi R dz \Delta t} = \frac{\Delta T}{2\pi R h \Delta t} \quad (4)$$

Где Δt – время нагрева, равное времени движения осколка вдоль фиксированной точки покоящегося ВВ:

$$\Delta t = \frac{l}{v}$$

где l – длина эталона.

Тогда:

$$P = \frac{\Delta W}{2\pi R h l} \quad (5)$$

Для плотности потока энергии, определяемой процессом теплопроводности, в соответствии с законом Фурье имеем:

$$q = -k \, grad T \quad (6)$$

Тогда для стационарного уравнения теплопроводности (уравнения Лапласа) $\Delta T = 0$. Получим в качестве граничного условия, выражение:

$$k\left(\frac{dT}{dr}\right)_{r=R} = -\frac{\Delta W}{2\pi Rhl}v \qquad (7)$$

Это даёт линейную зависимость температуры нагрева мишени от скорости осколка, а поскольку вероятность детонации имеет очень большую положительную производную от температуры в области температуры возгорания ВВ, то имеем аналогичный (почти пороговый) ход зависимости вероятности от скорости эталона. Этот результат имеет принципиальное значение, поскольку снижение скорости осколка ниже критической (ниже порогового значения) позволяет снизить вероятность самопроизвольной детонации практически до нуля. Такое уменьшение скорости можно получить, варьируя толщину оболочки снаряда. Так, при прохождении толщины корпуса 14 и 22 мм, скорости осколков составляют, соответственно, 600 и 400 м/с, что является безопасным с точки зрения инициирования детонационного процесса в осколочно-фугасном боеприпасе в условиях арктического климата, при температуре -60 °С.

Влияние температуры, повышающее вероятность детонации при воздействиях быстролетящего осколка может быть объяснено на основе изменения прочностных характеристик ВВ. По аналогии с хладноломкостью металлов для каждого вида ВВ существует своя критическая температура. Явление хладноломкости позволяет связать изменение исходной температуры ВВ с вероятностью самопроизвольной детонации. Уменьшение предела прочности сдвига приводит (при неизменном поле сдвиговых напряжений) к меньшему расстоянию между точками разрушения сплошной среды ВВ.

Вероятность самопроизвольной детонации зависит от градиента температуры в разрушенном слое, который определяется соотношением мощности нагрева и скоростью теплового потока:

$$\left(\frac{dT}{dx}\right)_{r=R} = \frac{1}{k(t)V(t)} \qquad (8)$$

где t – температура ВВ до внешнего воздействия,

V – объём разрушенного слоя.

Обе величины в знаменателе правой части уменьшаются со снижением температуры. В результате этого, локальная температура нагрева ВВ в области, прилежащей к поверхности трения, возрастает с уменьшением средней температуры ВВ до значений, когда ВВ переходит в состояние хладноломкости, то есть теряет пластические свойства. Данная зависимость локальной температуры нагрева от средней температуры ВВ и лежит в основе наблюдаемого экспериментально возрастания вероятности самопроизвольной детонации ВВ в области низких температур (-60 °С) в случае воздействия на снаряд высокоскоростного осколка.

Механизм роста вероятности возбуждения детонации, с уменьшением температуры, объяснён изменением баланса мощностей, подводимых к ВВ и отводимой от поверхности эталона вследствие теплопроводности. Эта

зависимость основана на изменении (уменьшении) эффективного коэффициента теплопроводности. В разрушенном массиве ВВ определяющую роль в значении коэффициента теплопроводности играет доля поперечного сечения, которой соответствуют полости незаполненные ВВ.

Установлено, что увеличение доли поперечного сечения, в связи с ростом хрупкости материалов при низких температурах, приводит к уменьшению коэффициента теплопроводности, и, соответственно, скорости отвода тепла от области нагрева. В этой связи происходит возрастание температуры вдоль поверхности соприкосновения ВВ с осколком, и, как следствие этого, рост вероятности детонации. Будет происходить локализация энергии, рассеиваемой эталоном в процессе движения в массиве ВВ, в более тонком слое, что приводит к росту температуры вещества.

Представленный механизм возбуждения детонации связан с локальным нагревом ВВ в области движения соприкасающихся слоёв ВВ после их разрушения вследствие внешнего воздействия. Детальное динамическое описание этого процесса нельзя реализовать вследствие невозможности пренебречь относительным движением частиц разрушенного слоя ВВ, с одной стороны и статистического разброса параметров этих частиц – с другой. Возможным способом анализа возможных результатов этого движения является статистический подход.

Библиографический список:

1. Рогожин, П.В.Определение стойкости штатных боеприпасов при хранении в условиях арктических температур к внешнему воздействию быстролетящего осколка и физическое объяснение зависимости реакции заряда от толщины стенки корпуса [Текст] / П.В. Рогожин // Сб. научн. тр. «Новые технологии». – М.: РАН, 2018 . – С. 77-84

PHYSICAL ASSESSMENT OF THE IMPROVEMENT OF THE SENSITIVITY OF STAFFY BREAKING CHARGES AT ARCTIC STORAGE TEMPERATURES TO EXPOSURE TO A HIGH-SPEED SPEAKER

Prokhorenko N**.,** email ahmoeva7347@yandex.ru
Akhmoeva E., email ahmoeva7347@yandex.ru
Popov A., email popov-scorpio@yandex.ru
Nurmukhametov A., email FasteX2@yandex.ru
Rogozhin P., email p.rogojin@inbox.ru
Samara State Technical Univerrity, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100

Abstract.

A physical explanation of the initiation of the detonation process when exposed to a projectile at low arctic temperatures of the fragment according to the parameters of the STANAG 4496 system is presented. leads to localization of heat generation in a thinner layer with the destruction of explosives by a fragment.

Keywords: operational safety, explosives, means of destruction.

УДК 662.237.3-381

РОЛЬ МЕХАНОАКТИВАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ УРОТРОПИНА

Сыч Екатерина Игоревна, аспирант; Тонеев Иван Романович, аспирант; Епифанов Владимир Борисович, д.т.н., профессор

Самарский Государственный Технический Университет, 443100, Россия, Самарская область, город Самара, улица Молодогвардейская, дом 244
Сыч Е.И.,email katerine-sych@rambler.ru
Тонеев И.Р., e-mail ***toneeff@yandex.ru***
Епифанов В.Б. e-mail ***htpkm@samgtu.ru***
Адрес для корреспонденции: ***Епифанов Владимир Борисович***, Самарский Государственный Технический Университет, 443100, Россия, Самарская область, город Самара, улица Молодогвардейская, дом 244

Аннотация: Поскольку большинство технологий переработки мощных взрывчатых веществ **(**МВВ) в изделия не исключают механического воздействия, в том числе транспортировку, необходима предварительная оценка влияния механической активации на возложенные физико-химические изменения таких материалов.

Предварительные результаты могут быть получены на модельных химических веществах. В работе в качестве модельного выбран уротропин, являющийся сырьем для получения гексогена. Методами дифференциально-термического анализа (ДТА) и рентгенофазового анализа (РФА) исследованы «последствия» механической активации уротропина. Показана возможность образования кристаллических структур в системе уротропин-флегматизатор, а также ускорение процесса разложения механоактивированного уротропина и его смесей в результате генерации структурно-физических дефектов.

Ключевые слова: механоактивация**,** уротропин, кристаллическая структура, сокристаллизация, флегматизатор

Как известно уротропин служит сырьем для получения гексогена. В связи с чем это вещество может быть выбрано в качестве имитатора при моделировании каких либо технологических операций производства энергонасыщенных материалов (ЭМ). Известно[1], что при получении гексогена механическое воздействие способное привести к разрушению поликристаллов отсутствует. В тоже время в производстве изделий на основе гексогена механическое воздействие на фазах прессования и экструзии имеет место. Транспортировка как межоперационная так и связанная с доставкой от предприятий производящих взрывчатые вещества (ВВ) к месту переработки сопряжена с воздействием вибрации.

Доказано [2,3], что вибрационная нагрузка в широком диапозоне параметров приводит не только к разрушению наиболее дефектных кристаллов, частичному химическому разложению, но и способна инициировать взрывчатое превращение.

В этой связи целесообразно проводить исследования направленные на выявление вероятности каких либо физико-химических изменений механоактивированных ВВ, а на начальном этапе следует заменить реальные объекты модельными соединениями.

Принято считать, что наличие дефектов структуры увеличивает чувствительность кристаллических ЭМ к различным видам механического воздействия. В тоже время любые существующие виды дефектов увеличивают суммарную энергию отдельно взятого кристалла. Изменение энергетических характеристик ЭМ, при введении а его состав флегматизатора следует связывать не только с изменением физико-механических свойств и действием добавки на уровне дефектов структуры, а также с образованием новых кристаллических структур в результате взаимного проникновения компонентов также представляющих собой дефекты – межфазовые границы.

Разбавление ВВ различными добавками улучшающими технологичность также понижающими восприимчивость к различным видам механического воздействия нивелирует эффект от генерирования в кристаллическую структуру дефектов (межфазовые границы).

По-видимому, ожидать положительного результата в виде повышения энергетики ВВ от введения эксплуатационных добавок – флегматизаторов не следует поскольку используемые в работе дифинил, анилин, дифиниламин, азобензол, не являются также стабилизаторами химической стойкости, которые наряду с изменением структуры ВВ замедляют экзотермические процессы на начальной стадии. Как следует из приведенных результатов (табл. 1,2) структура смесей уротропин-флегматизатор (дифенил, анилин, дифениламин, изобензол) в которые добавка вводилась из раствора (сокристаллизация), показатели тонкой кристаллической структуры (ТКС) уротропина незначительно отличаются от эталона.

Таблица 1. Результаты РФА механоактивированных образцов

Характеристика образцов	Угол съемки 2Q, °	SinQ	Межплоскостное расстояние d/n, Å
			Рассчетное
Уротропин обработанный в БМШ в течении 1 ч. при t=23°С	20,6	0,179	4,307
	22,7	0,197	3,913
	32,1	0,276	2,793
	35,8	0,307	2,511
	39,8	0,34	2,267
Уротропин обработанный в БМШ в течении 1 ч. при t= -60°С	29,0	0,25	3,084
	31,9	0,275	2,803
	35,6	0,306	2,519
	39,4	0,337	2,288
	56,9	0,476	1,620
Смесь «Уротропин+ДФА» обработанная в БМШ в течении 1ч. при t= -60°С	20,4	0,177	4,355
	35,8	0,308	2,503
	39,6	0,339	2,274
	44,8	0,381	2,023
	55,4	0,465	1,658

Таблица 2. Результаты ДТА механоактивированных образцов

Характеристика образца	Тпл, °С	Тразл, °С
Уротропин чистый	263	280
Уротропин-дифениламин, измельчен. в теч. 1 ч. при -60 °С	263	270
	257	262,5
Уротропин измельченный в теч. 1 ч. при -60 °С	260	270
	262	274
	263	276
	263	275
Уротропин измельченный в теч. 1 ч. при 23 °С	260	275
	262	275,7
	260	274,8

В то же время наличие новых кристаллических структур указывает на образование межфазовых границ кристалл – кристалл. Характеристические температуры смесей также находятся на уровне исходного уротропина.

Механическая активация проведена в шаровой мельнице в более жестких условиях, чем те, которые реализуются в производстве уротропина и переработке гексогена. В результате чего методами РФА и ДТА установлено, что в результате механической активации происходит:

- Изменение кристаллической структуры уротропина, состоящее в образовании новых кристаллических фаз, смещением дифракционных максимумов, изменение их интенсивности и относительной интенсивности;

- Повышение термической активности уротропина, состоящее в смещении характеристических температур в область более низких значений;

Сокристаллизация и механоактивация двойных смесей уротропин-флегматизатор сопровождается образованием новых кристаллических структур, принадлежащих одновременно обоим компонентам, что служит доказательством взаимодействия на кристаллическом уровне

Библиографический список:

1.Орлова Е.Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ. Л.: Химия, 1973. – с. 687

2. M.K.Singh Predicting lattice energy and structure of molecular crystals by first-principles method: Role of dispersive interactions Journal of Crystal Growth, 15 June 2014, Pages 14-23

3. Епифанов В.Б., Сыч Е.И. Механоактивация гексогена. Структура и свойства В сб. Международная научно-исследовательская конференция "Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты" часть 1, г.Трехгорный, 17.03.2017, с. 101-103

ROLE OF MECHANICAL ACTIVATION IN THE FORMATION OF THE CRYSTAL STRUCTURE OF HEXAMINE

Sych Ekaterina Igorevna, Post-graduate Student, katerina-sych@rambler.ru
Toneev Ivan Romanovich, Post-graduate Student, toneeff@yandex.ru
Epifanov ladimir Borisovich Ph. D., Professor, htpkm@samgtu.ru

Samara State Technical University, 443100, Russia, Samara region, Samara city, Molodogvardeyskaya st., 244

Abstract:

All operations with powerful explosives (PE) require compliance with the recommendations prescribing certain standards aimed at reducing the risk.

Since most of the technologies of PE processing into products do not exclude mechanical action, including transportation, a preliminary assessment of the effect of mechanical activation on the assigned physical and chemical changes in such materials is necessary.

Preliminary results can be obtained on model chemicals. In this work, urotropin, which is a raw material for the production of hexogen, was chosen as a model. Methods of differential thermal analysis (DTA) and x-ray phase analysis (XPA) investigated the "consequences" of mechanical activation of urotropin. The possibility of formation of crystal structures in the urotropin-phlegmatizer system, as well as acceleration of the decomposition process of mechanoactivated urotropin and its mixtures as a result of the generation of structural and physical defects is shown.

Keywords: mechanical activation, methenamine, crystal structure, cocrystallization, deterrent.

УДК 662.351

УТИЛИЗАЦИЯ ТРУБЧАТЫХ ПИРОКСИЛИНОВЫХ ПОРОХОВ. ТЕХНОЛОГИЯ. ОБОРУДОВАНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ

Терземан Мария Юрьевна, аспирант; Терземан Андрей Владимирович, аспирант; Епифанов Владимир Борисович, д.т.н., профессор

Самарский Государственный Технический Университет, 443100, Россия, Самарская область, город Самара, улица Молодогвардейская, дом 244
Терземан М.Ю. htpkm@samgtu.ru
Терземан А.В. htpkm@samgtu.ru
Епифанов В.Б htpkm@samgtu.ru
Адрес для корреспонденции: ***Епифанов Владимир Борисович***, Самарский Государственный Технический Университет, 443100, Россия, Самарская область, город Самара, улица Молодогвардейская, дом 244

Аннотация:

Большой объем и ассортимент подлежащих утилизации энергонасыщенных материалов (ЭМ) не позволил осуществить их переработку в короткие сроки.
Отсутствие приемлемых технологических решений по многим изделиям и недостаточное финансирование затруднило решение проблемы. В связи с чем до настоящего времени необходимость в разработке новых предложений существует. В работе проводятся результаты, которые реализованы в практике утилизации. Например измельчение трубчатых пироксилиновых порохов (ТПП) в двух, четырех и пяти-валковых дробилках.
Обоснованы безопасные условия деформации, а также технологические параметры и специальные приемы.

Ключевые слова: трубчатые пироксилиновые пороха, утилизация, измельчение, валковая дробилка, энергонасыщенные материалы.

Технологии производства ЭМ относятся к пожаро-взрывоопасным. Поскольку большинство ЭМ, в том числе пироксилиновые и нитроглицериновые пороха, являются диэлектриками фактор электризации существенно повышает степень опасности операций в которых отсутствует механическое воздействие на материал. В штатном производстве к числу таких операций относятся перемешивание (усреднение) зерненных порохов, просеивание. Отдельные аварии последних лет на предприятиях отрасли не исключено, связаны с электризацией.

Переработка брака основного производства, а также утилизация ТПП требует в современных условиях внедрение дополнительных мероприятиях отвечающих не только условиям технологической безопасности, но и экологичности. Поскольку использование растворителей при вторичной переработке, в том числе утилизированных порохов, недопустимо основным

приемом исключающим электризацию и пыление, и служащим средством отвода тепла с поверхностей разрушения материала и металлических деталей оборудования является подача воды в зону измельчения. В тоже время очистка воды, утилизация пыли и мелких фракций требует не меньших затрат чем само измельчение. Кроме того вопросы экономики в штатном производстве порохов не могут быть решены без наличия собственной сравнительно дешевой сырьевой базы. В этой связи востребованы менее затратные технологии.

В работе изложены апробированные экспериментальные результаты, содержащие новые технологические приемы и оборудование, которые целесообразно использовать при утилизации ТПП, рассмотренные в комплексе с вопросами обеспечения безопасности.

В технологии «переделочных» ТПП для измельчения используется штатное оборудование (РК-01, ДМК), где в рабочую зону в больших количествах подают воду. В связи с чем последующие приемы разделения измельченного материала и воды трудоемки. Кроме того фракционный состав полученной крошки неоднороден. Эти же проблемы остаются и в технологии утилизации ТПП с истекшим сроком гарантированного хранения при использовании для измельчения РК-01 и ДМК.

Комплексный подход предусматривает возможность использования утилизируемых порохов для производства кондиционного продукта [2].

Поскольку длительное хранение практически не производит к изменению свойств ТПП за исключением несущественного понижения скорости горения, которая может быть компенсирована введением в рецептуру определенных добавок (в работе не рассматривается). С определенной уверенностью можно рекомендовать использование специально приготовленных утилизированных порохов в штатных рецептурах в количествах до 30%.

В практике утилизации ТПП в ПВВ рассматриваются 2х валковые дробилки. Крошку размером (2…20)мм принято считать кондиционной. Оптимизация конструкции 2х валковой дробилки показала, что пара валков должна иметь рифленую поверхность. Например оба валка с продольными рифами или один - с продольными рифами, второй - в форме «зубчатого» колеса.

Лучшие показатели по однородности конечного продукта (пороховой крошки) получены при последовательном прохождении ТПП трех зазоров с уменьшением расстояния между валками в пятивалковой дробилке. Кроме того условия деформации в пятивалковой дробилке обеспечивают возрастание давления ступенчато в отличие от двухвалковой, в которой конечный результат достигается при однократном прохождении валкового зазора или при многократном с промежуточными стадиями сбора крошки.

Технологическая схема процесса измельчения утилизируемого ТПП и производства ПВВ при использовании 2-х, 4-х или 5-и валковых дробилок приведена на рисунке 1.

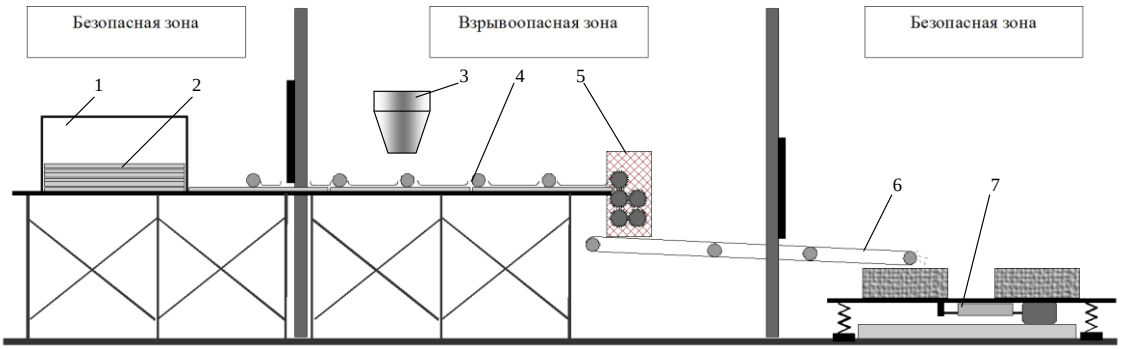


Рис.1. Технологическая схема измельчения трубчатого пироксилинового пороха:
1 – бункер-питатель; 2 – пороховая трубка; 3 – мерник; 4 – транспортер подачи трубки на измельчение;
5 – пятивалковая дробилка; 6 - транспортер отвода измельченного пороха; 7 – сепаратор.

Максимальная производительность валковых дробилок ограничена с одной стороны требованиями к геометрическим характеристикам (размерам, форме), с другой стороны возможностями оборудования- габаритами, технологическими характеристиками, пропускной способностью, которые определяют безопасность процесса.

Скорость прохода пороховой трубки позволяет увеличить производительность на выходе, а минимальный зазор уменьшить размер крошки. Однако стремление к максимальному положительному результату без учета вероятности возникновения аварийной ситуации неоправданно и никогда не принималось в качестве основного руководства.

На модельном устройстве воспроизведены условия, в которых исходя из практического опыта, существует вероятность загорания пороха: зазор между валками 1,5 мм; скорость подачи пороха в зазор 0,05 м/с; отсутствие теплоотвода за счет подачи в зону дробления воды, проход дробленки через зазор – 10 раз; создание ситуации «завала» пороха перед межвалковым зазором, кратковременный контакт пороха смоченного в техническом масле с нагретой проволочкой. Воспламенение отсутствует. Продолжительное (10 мин) измельчение смеси порох+индустриальное масло в дробилке (зазор 1,5мм) без выгрузки дробленки не дало воспламенения.

Дробилки молотково-ударного принципа действия наиболее безопасные из рассматриваемых в работе конструкций. Незначительное повышение температуры инструмента и плоскостей, по которым происходит касание расположенной в момент удара трубки незначительно зависит от прикладываемой энергии достаточной для разрушения.

Валково-каландровая технология рекомендована для получения погонажных изделий, в том числе плоских многослойных огнепроводных лент (ОГЛ). Тканевая подоснова промазывается с обеих сторон пороховой массой и обкладывается стеклохолстами (рис. 2).

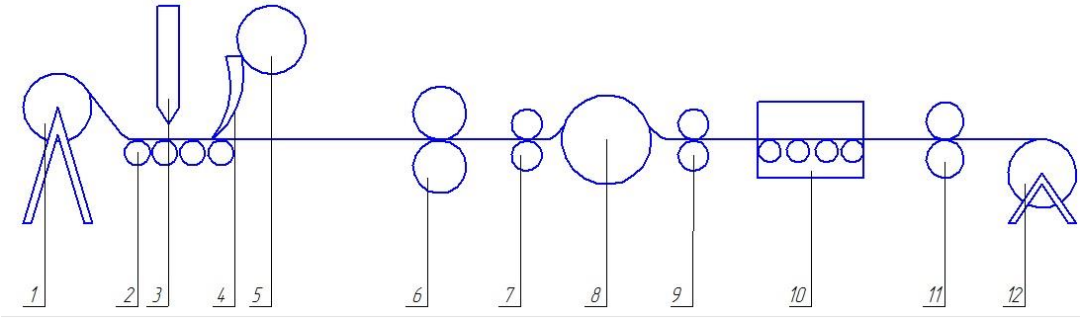


Рис.2. Схема производства трехслойной ленты

1,5-отдающее устройство с тканевой основой; 2,7,9,11-направляющие ролики; 3-бункер-дозатор полимера; 4-ракельный выравнивающий нож; 6-валковая машина; термостатирующий барабан; 10-камера термостатирующая; 12-тянущее и приемное устройство

Моделирование возникновения аварийных ситуаций – один из приемов позволяющий определить не только вероятность возникновения вспышки или детонации, но и выявить условия, приводящие к развитию неблагоприятных событий.

Технологическую безопасность часто отождествляют с чувствительностью ЭМ, например, к механическим воздействиям. Надо признать, что численные показатели чувствительности к удару, ударному и длительному трению на начальной стадии оценки степени опасности переработки ЭМ имеют важное значение. Однако для объективной оценки процесса необходимо оперировать информацией полученной с помощью модельных устройств, конструкция которых наиболее приближена к условиям реальных аппаратов, где ЭМ подвержены деформациям, численные значения которых одного порядка с реализемыми в промышленном оборудовании.

Измельчение ТПП в межвалковом зазоре(h) с рифленой поверхностью валковых пар показало отсутствие загорания для условий деформации при прохождении трубки $h \geq 1{,}5$ мм (двухвалковая дробилка) и $h=1{,}0$ (пятивалковая дробилка, между 4 и 5 валками).

Руководствуясь результатами, полученными на модельных устройствах рекомендованы условия деформации оптимальные и безопасные режимы измельчения ТПП.

Библиографический список:

1.Д.Ф. Давыдов, А.В. Рябов, В.В. Федосеев, Б.В. Мацеевич, Ю.Г. Щукин Переработка (утилизация) боеприпасов и порохов и адаптация продуктов их утилизации для промышленных целей, "Горная Промышленность" №3 (139) 2018, с.76

2. D. Khomeriki, S. Khomeriki, R. Mikhelson, N. Chikhradze, A. Khvadagiani Production of Industrial Explosive Substances on the Basis of the Powders and Solid Rocket Fuel Released from the Utilization of the Expired Ammunition Procedia Earth and Planetary Science (15) 2015, P. 738-741

RECYCLING TUBULAR PYROXYLIN GUNPOWDERS. TECHNOLOGY. EQUIPMENT. SECURITY

Terzeman Maria Yuryevna, Post-graduate Student, htpkm@samgtu.ru
Terzeman Andrey Vladimirovich, Post-graduate Student, htpkm@samgtu.ru
Epifanov ladimir Borisovich Ph. D., Professor, htpkm@samgtu.ru

Samara State Technical University, 443100, Russia, Samara region, Samara city, Molodogvardeyskaya st., 244

Abstract:

The large volume and range of energy-saturated materials to be recycled did not allow their processing in a short time. The lack of acceptable technological solutions for many products and insufficient funding made it difficult to solve the problem. Therefore, there is still a need to develop new proposals. The results are implemented in the practice of recycling. For example, the grinding of tubular pyroxylin powders (TPP) in two, four and five-roll crushers. Safe deformation conditions, as well as technological parameters and special techniques are substantiated.

Processing of defects of the main production, as well as utilization of TPP requires in modern conditions the introduction of additional measures that meet not only the conditions of technological safety, but also environmental friendliness. Since the use of solvents for recycling, including recycled gunpowder, is unacceptable the main method excluding electrification and dusting, and serves as a means of heat removal from the surfaces of destruction of the material and metal parts of the equipment is the supply of water to the grinding zone. At the same time, water purification, dust and small fractions disposal requires no less costs than the grinding itself. In addition, economic issues in the regular production of gunpowder can not be solved without its own relatively cheap raw material base. In this regard, less expensive technologies are in demand.

Keywords: tubular pyroxylin powder, recycling, grinding, roller crusher, energy-saturated materials

УДК 662.21

КУМУЛЯТИВНАЯ ОБЛИЦОВКА С МОЛИБДЕНОВЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ ПЕРФОРАТОРНОГО ЗАРЯДА ПОВЫШЕННОЙ ПРОБИВНОЙ СПОСОБНОСТИ

Ткаченко Екатерина Витальевна, студент; Попов Александр Геннадьевич, к.т.н., Нурмухаметов Андрей Тагирович, к.т.н.; Рогожин Павел Викторович, к.т.н.

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Ткаченко Е.В., email FasteX2@yandex.ru
Попов А.Г., email popov-scorpio@yandex.ru
Нурмухаметов А.Т., email FasteX2@yandex.ru
Рогожин П.В., email p.rogojin@inbox.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Технология твердых химических веществ», Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация

Предложен способ нанесения детонационного покрытия на облицовку для кумулятивного заряда. Представлены теоретические и экспериментальные результаты оценки пробивной способности перфораторных зарядов с многослойными облицовками.

Ключевые слова:

Кумуляция, эффективность, пробитие, ВВ.

В настоящее время кумулятивные заряды (КЗ) нашли достаточно широкое применение, как в военной технике, так и в мирных отраслях промышленности для пробивания отверстий (каналов) в различного рода материалах [1]. Наиболее широко КЗ используются в конструкциях кумулятивных перфораторов, представляющих собой устройства для перфорационных работ в нефтяных и газовых скважинах, действие которых основано на кумулятивном эффекте. Основное назначение КЗ — создание канала в породе, соединяющего скважину с пластом для притока в ствол жидкости или газа. Канал создаётся действием кумулятивной струи, образующейся при взрыве заряда [2].

Кумулятивная струя возникает за счет схлопывания конической металлической облицовки при детонации энергетического вещества в перфорационном заряде. Эта струя способна проникать в преграду со скоростью достигающей до 8 км/с на глубину, которая может составлять несколько калибров. Глубина проникновения струи является функцией плотности материала

облицовки, пластичности материала в условиях высокоскоростной деформации и объемной скорости звука в материале облицовки [2]. В конструкциях кумулятивных зарядов обычно используется облицовка из меди.

Актуальность работы связана с поиском путей повышения пробивной способности зарядов, используемых при перфорации нефтедобывающих скважин. Как показано в работе [3], нефтяные месторождения, требующие минимум капитальных вложений, находятся на последней стадии разработки, а значительные запасы углеводородов сосредоточены в низкопроницаемых коллекторах. Для освоения таких месторождений необходимы конструкции зарядов с элементами, позволяющими повысить глубину проникновения кумулятивной струи и увеличить диаметр перфорационных каналов.

Существующие технологии порошкового прессования позволяют получать двухслойные облицовки из разнородных материалов. Заряды с применением таких облицовок дают эффективность отдачи по нефти до 30 % больше по сравнению с зарядами, включающими обычные однослойные облицовки. Однако при использовании кумулятивных облицовок, изготовленных методом порошковой металлургии, может происходить радиальное рассеивание материала кумулятивной струи при полёте, что вызывается расширением воздуха, содержащегося в поровом пространстве, окислением легирующих добавок, вводящихся при прессовании.

Также кумулятивные струи, сформированные из порошковых прессованных облицовок, обладают повышенной нестабильностью пробивного действия. Это объясняется разностью между наибольшим и наименьшим значениями плотности материала облицовки.

В работе предлагается способ изготовления бислойной облицовки кумулятивного заряда, включающий воздействие высокоплотным порошковым материалом в потоке газодинамической струи.

Для проведения эксперимента в качестве напыляемого материала использован молибденовый порошок. В качестве детонационной смеси - ацетиленокислородное газообразное топливо.

Работа осуществлялась на детонационном комплексе для исследования ударно-волнового действия многофазовых газовых систем. Принцип работы установки заключается в подаче порошкового материала и газовой смеси, способной детонировать в ствол; дальнейшее инициирование взрыва газового топлива. Продукты детонации газов воздействуют на частицы порошкового материала, расплавляя их и придавая ускорение. Порошковый материал вылетает из канала ствола со скоростью порядка 1 км/с и напыляется на внутреннюю часть медной облицовки, образуя прочную связь на молекулярном уровне. Для строго равномерного распределения толщины детонационного слоя по конусу облицовки разработана программа перемещения манипулятора относительно ствола детонационного комплекса.

Для теоретической оценки адекватности предположений в программе ANSYS AUTODYN выполнено моделирование процессов, происходящих при детонации КЗ с двухслойными кумулятивными облицовками из меди и сплава

ВК, плакированного кобальтом. Рассмотрены варианты, как с внешним, так и с внутренним покрытием на медную воронку.

В таблице 1 представлены результаты по пробитию стальной мишени на основе математического моделирования. Значения со знаком «-» отвечают за толщину внешнего слоя покрытия кумулятивных облицовок.

Таблица 1. Расчетные значения пробивной способности зарядов

Толщина покрытия, мм	Максимальная скорость, м/с	Глубина пробития, мм
-0,5	3811	76
-0,25	4195	96
0	4437	89
0,25	4192	110
0,5	3694	99

Из таблицы 1 видно, что при внутреннем дополнительном слое в 250 мкм, происходит увеличение пробивной способности на 20 %. Дальнейшее увеличение толщины слоя из молибдена приводит к снижению глубины пробития. Напыление на внешнюю поверхность облицовки нецелесообразно из-за незначительного увеличения пробития заряда (6-7%).

Сформированы медные кумулятивные облицовки с детонационным покрытием из молибдена толщиной от 100 до 500 мкм, изготовлены опытные заряды с их использованием и проведены их испытания по пробитию пакета стальных пластин.

Экспериментальные исследования по измерению параметров пробития стальных мишеней КЗ с двухслойными облицовками, по сравнению со штатными изделиями, показали возможность увеличения глубины пробития до 15 %, что позволит существенно повысить нефтеотдачу пластов. Теоретические исследования показывают возможность дальнейшего повышения пробивной способности КЗ. Дальнейшее совершенствование конструкции кумулятивной облицовки может быть связано с оптимизацией толщины и материала подложки, вида напыляемого материала, а также изготовлением КО с переменной толщиной покрытия по сечению, что обеспечит больший градиент скорости по длине формирующейся кумулятивной струи и, следовательно, более высокое значение глубины пробития.

Библиографический список:

1. Ладов, С.В. Использование кумулятивных зарядов во взрывных технологиях / С.В. Ладов, И.Ф. Кобылкин.// – М.: Изд-во МГТУ, 1995. – 47 с.;

2. Физика взрыва. / под ред. Л.П. Орленко. – изд. 3-е, переработанное. – в 2т., т.1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, - 832с.;

3. Дияшев И.Р. Супер-ГРП повышает рентабельность разработки Ачимовской свиты Ярайнерского месторождения (Западная Сибирь) / И.Р. Дияшев, А.И. Небесный, М.Р. Гиллард // Нефтегазовое обозрение. – 2002. Весна.- С. 80-93.;

4. 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.

CUMULATIVE FACING WITH MOLIBDENE COATING FOR PERFORATORY CHARGE OF INCREASED PUNCHING ABILITY

Tkachenko E., email FasteX2@yandex.ru
Popov A., email popov-scorpio@yandex.ru
Nurmukhametov A., email FasteX2@yandex.ru
Rogozhin P., email p.rogojin@inbox.ru
Samara State Technical Univerrity, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100

Abstract.

A method of applying a detonation coating on a facing for a shaped charge is proposed. The theoretical and experimental results of the evaluation of the penetration capacity of perforated charges with multilayer linings are presented.

Keywords: cumulation, efficiency, penetration, explosives.

СЕКЦИЯ: КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

УДК 531.66

РАСЧЁТЫ НА ПРОЧНОСТЬ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Алымов Александр Владимирович [1], студент; Родионов Андрей Иванович [1], к.ф-м.н. доцент

[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-17-77
Алымов А. В., e-mail alymov.2015@stud.nstu.ru
Родионов А. И., e-mail rodionov@corp.nstu.ru
Адрес для корреспонденции: ***Алымов Александр Владимирович,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 999-466-46-76

Аннотация

В статье представлены результаты определения прогибов и напряжений при инерционно-импульсном нагружении элементов типа «балка» изделий микроэлектронной техники. На основе этих результатов представляется возможность контролировать ударную устойчивость и прочность данных элементов. Результаты были получены при решении уравнения вынужденных колебаний балки, описывающее динамический прогиб с учетом внутренней диссипации. Решение было получено с помощью метода разделения переменных. И в дальнейшем было просчитано в MathCad 14. В результате было получено зависимость для шарнирно-опёртой балке при инерционно-импульсном нагружении.

Ключевые слова

Инерционно-импульсное нагружение; балка как элемент изделий микроэлектронной техники; уравнение вынужденных колебаний балки; прогиб балки; нормальные напряжения; внутренняя диссипация; метод разделения переменных; балочные функции; MathCAD 14.0; пример.

1. Введение

В данной работе речь пойдет об определении прогибов и напряжений при инерционно-импульсном нагружении элементов типа «балка» электронной, полупроводниковой и микроэлектронной техники. Данное нагружение отличается

от удара, только тем, что при нем отсутствует внедрение друг в друга взаимодействующих тел в зоне контакта.

Контроль ударной прочности микроэлектронной техники, которая наиболее подвержена разрушительному воздействию, как раз и предполагает наличие сведений о прогибах и напряжениях, которые возникают в элементах конструкций при импульсном нагружении. Это задача является крайне актуальной. В силу того, что динамические испытания балочных элементов изделий микроэлектронной техники, наталкивается на существенные трудности. И это обусловлено как невозможностью непосредственного измерения напряжений, возникающих в жизненно важных элементах микроэлектронной техники, так и ограниченными возможностями существующего испытательного оборудования.

2. Теория

Элементы изделий, моделируемых балкой представлены на рис. 1-2. Рассмотрим поперечный характер нагружения, с позиции удароустойчивости и ударопрочности, так как такое возбуждение балки одно из наиболее удароопасных. Рассмотрим действие инерционно-импульсного нагружения на балку задаваемым ударным ускорением по (1).

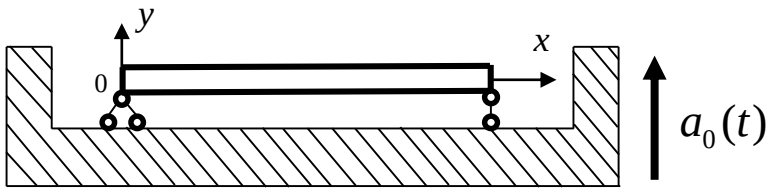


Рис. 1. Элемент изделия, моделируемый шарнирно-опёртой балкой

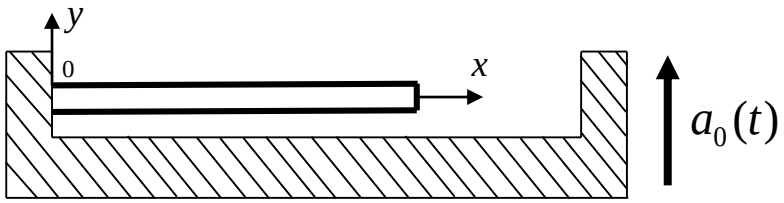


Рис. 2. Элемент изделия, моделируемый балкой, защемлённой с одно края и свободной с другого

$$a(x,t) = \begin{cases} 0, \ t < 0 \\ a_0(t), 0 \le t \le \tau_a \\ 0, t \ge \tau_a \end{cases} \quad (1)$$

τ_a – длительность импульса ускорения

Напряженно-деформированное состояние балки полностью определяется заданием динамического прогиба в функции от x и t (2).

$$y = y(x,t) \quad (2)$$

Уравнение движения, описывающее динамический прогиб [1], с учетом внутренней диссипации (по закону Кельвина-Фохта [2]) при инерционно-импульсном нагружении будет иметь вид (3).

$$EI\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \lambda I\frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} + \rho s\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\rho s a_0(x,t) \quad (3)$$

$I -$ момент инерции сечения стержня [м^4]

$E -$ модуль упругости [Па]

$\lambda -$ коэффициент внутреннего трения (Закон Стокса)[Па $*$ с]

$\rho -$ плотность материала [кг/м^3]

$s -$ площадь поперечного сечения [м^2]

Нормальные напряжения определяются через прогиб по формуле (4) [2].

$$\sigma(x,t) = \pm Eb\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (4)$$

$b -$ половина толщины балки

Для решения уравнения используем метод разделения переменных [1], представив прогиб в следующем виде суммы (5), где Y_i – балочные функции [1], удовлетворяющие выражению (6).

$$y = \sum_i T_i(t)Y_i(x) \quad (5)$$

$$Y_i^{IV} = k_i Y_i \quad (6)$$

Функции T_i, удовлетворят уравнению вынужденных колебаний [1] (7).

$$\ddot{T}_i + 2\beta_i\dot{T}_i + \omega_i^2 T_i = Q_i(t) \quad (7)$$

Уравнение при Y (6) определяет коэффициент (8), а уравнение при T (7) определяют коэффициент диссипации (9), собственная частота колебаний (10) и нагрузка (11).

$$k_i^4 = \frac{\rho s\omega_i^2}{EI} \quad (8)$$

$$2\beta_i = \frac{\lambda I k_i^4}{\rho s} \quad (9)$$

$$\omega_i^2 = \frac{EIk_i^4}{\rho s} \quad (10)$$

$$Q_i(t) = -\rho s a_0(t)\frac{\int_0^l Y_i dx}{\int_0^l Y_i^2 dx} \quad (11)$$

$l -$ длина балки

Согласно [3], получим функции T_i, для промежутка времени действия импульсного нагружения (9).

$$T_i(t) = \frac{1}{\sqrt{\omega_i^2 - \beta_i^2}} \int_0^t Q_i(t) e^{-\beta_i(t-t')} \sin\left[\sqrt{\omega_i^2 - \beta_i^2}(t-t')\right] dt' \qquad (12)$$

$$0 \le t \le \tau_a$$

Балочные функции могут быть выражены через функции Крылова стандартным образом, согласно [1], для рассматриваемых способов крепления балки, получим соответствующие формы собственных колебаний, для шарнирно-опёртой балки (13), и для балки с защемлённым и свободным концом (14).

$$Y_i(x) = \sin\left(\frac{i\pi}{l}x\right) \qquad (13)$$

$$Y_i(x) = \left[\mathrm{sh}\left(\frac{\pi(2i-1)}{2}\right) + \sin\left(\frac{\pi(2i-1)}{2}\right)\right] \times \left[\mathrm{ch}\left(\frac{\pi(2i-1)}{2}x\right) - \cos\left(\frac{\pi(2i-1)}{2}x\right)\right] - \left[\mathrm{ch}\left(\frac{\pi(2i-1)}{2}\right) + \cos\left(\frac{\pi(2i-1)}{2}\right)\right] \times \left[\mathrm{sh}\left(\frac{\pi(2i-1)}{2}x\right) - \sin\left(\frac{\pi(2i-1)}{2}x\right)\right] \qquad (14)$$

Полученные выражения (1-14) полностью определяют напряженно-деформированное состояние рассмотренных элементов при инерционно-импульсном нагружении. Были проведены расчеты для шарнирно-опёртой балки в MathCAD 14.0 при виде инерционно-импульсного нагружения (15) [4], и исходных данных, представленных в таблице 1.

$$a_0(t) = a_m \sin\left(\frac{\pi}{\tau_a}x\right) \qquad (13)$$

a_m – амплитуда

D – диаметр поперечного сечения балки

Таблица 1

Исходные данные

a_m, м/с	τ_a, мкс	l, мм	D, мкм	E, ГПа	ρ, кг/м^3	λ, Па $*$ с
$2 * 10^5$	50	1.5	50	70	2700	$1.2 * 10^{-3}$

1. Результаты

Величина прогиба $y\left(\frac{l}{2}, t\right)$ в функции от времени представлена на рис. 3. Величина нормальных напряжений $\sigma\left(\frac{l}{2}, t\right)$ в функции от времени представлена на рис. 4.

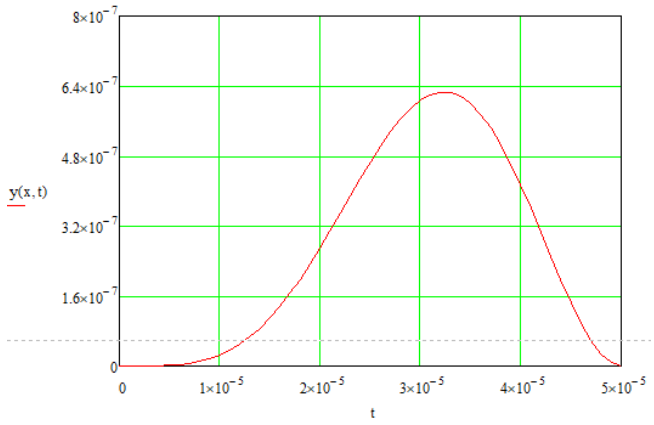


Рис. 3. Величина прогиба $y\left(\frac{l}{2},t\right)$ в функции от времени

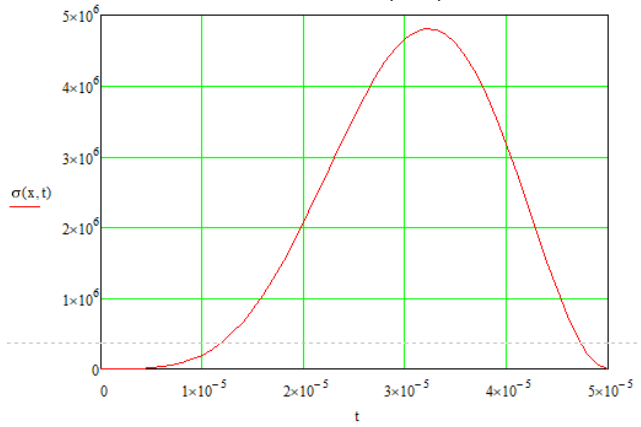


Рис. 3. Величина нормальных напряжений $\sigma\left(\frac{l}{2},t\right)$ в функции от времени

4. Выводы

В данной работе были определены прогибы и напряжения при инерционно-импульсном нагружении элементов типа «балка» электронной, полупроводниковой и микроэлектронной техники. Это как раз и позволяет осуществлять контроль ударной прочности микроэлектронной техники, которая наиболее подвержена разрушительному воздействию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вибрации в технике: Справочник, в 6-ти т. /Ред.совет: В.Н. Челомей (пред.) – М.: Машиностроение, 1978. – т.1. Колебания линейных систем /Под ред. В.В.Болотина, 1978. – 352 с.
2. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. – М.: Стройиздат, 1995. – 448 с.
3. Родионов А.И. Исследование соударений дефомируемых тел при малых и средних скоростях, 1986. – 363 с.
4. Пеллинец В.С. Измерение ударных ускорений. – М.: Изд. Стандартов, 1975. – 275 с.

CALCULATIONS ON STRENGTH OF BEAMS OF THE MICROELECTRONIC EQUIPMENT AT INERTIAL-PULSE FORCES

Alymov Alexander Vladimirovich [1], student;
Rodionov Andrey Ivanovich [1], Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor
[1] Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, ph. 346-17-77
Alymov A. V., e-mail alymov.2015@stud.nstu.ru
Rodionov A. I., e-mail rodionov@corp.nstu.ru
The address for correspondence: **Alymov Alexander Vladimirovich**,
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia,
Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, ph. 999-466-46-76

Abstract

Results of definition of deflections and stress at inertial-pulse forces of "beam" elements of products of the microelectronic equipment are presented in article. On the basis of these results opportunity to control impact stability and strength of these elements is represented. Results have been received at the solution of the equation of the forced vibrations of beam, describing dynamic deflection taking into account internal dissipation. The decision has been received by means of method of division of variables. And further it has been counted in MathCad 14. As a result it has been received dependence for simple beam at inertial-pulse forces.

Keywords:

Inertial-pulse forces; beam as element of products of the microelectronic equipment; the equation of the forced vibrations of beam; beam deflection; normal stress; internal dissipation; method of division of variables; beam functions; MathCAD 14.0; exampl

УДК: 623.427.7

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В ОБУЧЕНИИ КУРСАНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ОГНЕВОЙ ПОДГОТОВКЕ

Горовой Сергей Алексеевич

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия,
г. Новосибирск, ул. Иванова, 49
Горовой С.А., e-mail gtasa@ngs.ru
Адрес для корреспонденции: ***Горовой Сергей Алексеевич,***
Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия,
г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, тел. 8(383)332-50-45

Аннотация: В статье описаны инновационные подходы в обучении курсантов с использованием электронных комплексов (тренажёров) по огневой подготовке.

Ключевые слова: электронные тренажёры, образовательные технологии, методика обучения, боеприпасы.

В настоящее время информационные технологии играют важную роль в жизни современного общества. Современные электронные образовательные ресурсы (СЭОР), применяемые в коррекционно-образовательном процессе, открывают совершенно новые варианты обучения, являются одним из инструментов обновления и модернизации любого вида образования. Информационная компетентность курсантов необходима для качественного освоения всех учебных предметов.

Одной из технологий обучения, позволяющих успешно решить эту задачу, являются электронные тренажёры.

Рис. 1. Электронные тренажёры наводчика пулемёта БТР.

Электронные тренажёры представляют собой электронные образовательные ресурсы, предполагающие многократное выполнение курсантами подобных заданий с целью закрепления изучаемого материала и формирования прочных учебных навыков. Каждый электронный тренажёр содержит систему разноуровневых заданий по определённой теме. Их генерация происходит от простого к сложному. Использование электронных тренажёров может происходить на разных этапах процесса обучения.

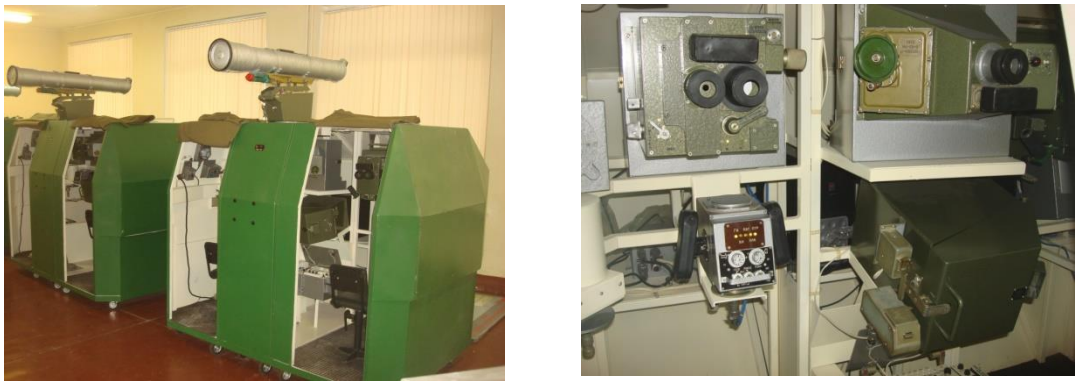


Рис. 2. Электронные тренажёры наводчика-оператора БМП-2.

Образовательные технологии направлены на обеспечение включенности каждого обучающегося в учебно-познавательную деятельность. При этом для формирования нового понятия или отработки алгоритма обучающийся должен выполнить определённый набор действий. Реализации этой цели способствует использование на занятиях и во внеурочной деятельности преподавателем всевозможных тренажёров. Нередко тренажёрами называют оригинальную методику обучения, контроля и оценки знаний обучающихся, предлагающую обучающемуся набор заданий на заданную тему с контролем правильности их выполнения.

Актуальным становится использование интерактивных электронных тренажёров по разным темам учебных предметов, с учётом индивидуальных особенностей обучающихся. Преподаватели кафедры на занятиях, систематизируют изученный материал, и акцентируют внимание обучающихся на основных моментах изучаемой темы, необходимой для дальнейшего восприятия подготовки к зачётной стрельбе. Кроме того, визуальный ряд, используемые для создания электронного тренажёра, дополняет рисунки учебника, что повышает наглядность на занятии. Это делает электронный тренажёр, как пособие, незаменимым не только при объяснении нового материла, но и помогает курсантам понять сложный учебный материал в случае самостоятельного его изучения. Преподаватели кафедры используют тренажёры на разных этапах, для фронтальной или индивидуальной работы обучающихся, для самостоятельной работы вне урока (в качестве домашнего задания), для ликвидации пробелов в обучении, отработки навыков решения задач или теоретических основ изученной темы.

Боеприпасы при этом не расходуются, и, что немаловажно, практически

полностью исключена возможность нарушения требований безопасности, по сравнению с проведением боевых стрельб. К несомненным достоинствам тренажёров следует отнести их низкую стоимость и быструю окупаемость, возможность проведения тренировок с использованием практически любого вида оружия, простоту установки и настройки.

При составлении интерактивного электронного тренажёра с помощью программы презентаций PowerPoint преподаватели придерживаются следующих этапов:

- Выбирают тему, которая обычно вызывает затруднения у большинства обучающихся, и выделяют в ней то умение, которое должно быть отработано.

- Придумывают игровой сюжет для тренажёра с описанием работы с ним (инструкцией) для обучающегося.

- Разрабатывают задания для тренажёра, чтобы обучающийся выполнял задания с использованием определённого правила, т.е. осознанно, а не механически выбирал правильный ответ. Хотя задания для тренажёра составляются однотипными, но для обучающегося задания должны быть непредсказуемыми.

- Результатом прохождения тренажёра будет являться сумма набранных баллов и достижение (или не достижение) игровой цели. Количество набранных баллов можно соотнести с определённой оценкой, но можно просто дать обучающемуся необходимые рекомендации. При неуспешном прохождении тренажёра предложить пройти тренажёр ещё раз, но только после повторного изучения соответствующей темы курса.

- Составить тренажёр таким образом, чтобы действия, которые будет выполнять обучающийся при работе с тренажёром, не формировали у него неверных представлений. Исключить возможные ошибки, несколько раз апробировав тренажёр.

- Указываются источники материалов, используемые для создания тренажёра. Для распространения своего опыта разработать методическую поддержку (инструкцию) по работе с тренажёром для преподавателей.

На кафедру поступил Электронный тренажёр «Вега-СВ №1», индекс 9Ф6014 предназначен для освоения приёмов обращения с оружием, приобретения и совершенствования навыков прицельной стрельбы, а также проведения анализа результатов выполнения упражнений. Решением № А97-2013 от 19 сентября 2013 года данному тренажёру присвоена литера «01».

Используя различные методические приёмы преподаватели кафедры проводят:

- Обучение военнослужащих первичным навыкам обращения с оружием с учётом внешней и внутренней баллистики;

- Получение навыков ведения прицельной стрельбы по неподвижным (появляющимся) и подвижным целям с использованием прицельных приспособлений в различных метеорологических и климатических условиях;

- Выполнение упражнений начальных, подготовительных, учебных и контрольных стрельб, на виртуальных стрелковых полосах с индивидуальным

закреплением полос за обучающимися (возможна одновременная работа по 6-ти полосам);

- Выполнение упражнений по разведке целей наблюдением и целеуказанию;
- Анализ результатов стрельбы каждого обучаемого: движение ствола до, во время и после выстрела, свал оружия при выстреле, плавность нажатия на спусковой крючок, усилие прижатия приклада имитатора оружия к плечу;
- Отображение результатов выполнения упражнений в сравнении с предыдущими результатами стрельбы;
- Одновременное выполнение упражнений с различными имитаторами оружия и различными вариантами фоно-целевой обстановки на всех стрелковых полосах.

Рис. 3. Электронный тренажёр «Вега-СВ №1».

Преимущества данного тренажёра очень большие и преподаватели на занятиях и на тренировках используют их в полном объёме. Занятия на тренажёре вызывают интерес и у обучающихся.

- Тренажёр обеспечивает возможность проведения учебных занятий и огневых тренировок с взводом (им равным) в составе отделений на трёх учебных местах в соответствии с методиками обучения без использования оружия и боеприпасов.
- Система позволяет обучать первоначальным навыкам владения оружием с контролем действий обучающихся и последующим разбором, а также совершенствовать навыки ведения имитационного боя в различных условиях местности, обстановки и по видео сценарию реального объекта.
- Используемые имитаторы полностью соответствуют массогабаритным характеристикам реальных образцов стрелкового оружия, не имеют соединительных шлангов и проводов, в них до 80 % реализована имитация отдачи оружия при стрельбе. Имитаторы оружия комплектуются штатными оптическим, ночным, коллиматорным прицелами.
- Инструментальные средства тренажёра позволяют изменять условия и сценарии упражнений при изменении методик обучения, курсов стрельб или необходимости отработки нестандартных ситуаций (сценариев действий).
- Тренажёр позволяет обучать военнослужащих, оценивать их знания и навыки, выставлять общую оценку по огневой подготовке, как отдельному военнослужащему, так и отделению, взводу (им равным).

- Существует возможность интегрирования системы в комплексные тренажёры и дополнение тренажёром (модулем) боевой машины (БМП, БТР), что позволит проводить боевое слаживание отделения.

В перечень поставляемого оборудования в штатной комплектации вошли учебный стрелковый электронный комплекс с комплектом имитаторов стрелкового оружия и средств ближнего боя, а также интерактивный и электронные классы. Все поставляемое оборудование было смонтировано в установленные сроки, проведено обучение персонала, который успешно использует его в процессе подготовки будущих командиров подразделений.

Отличительной особенностью стрелкового тренажёра стало применение уникальных имитаторов стрелкового оружия отечественной разработки, которые полностью соответствуют массогабаритным характеристикам реальных образцов и на 70% создают эффект отдачи при стрельбе, а также не имеют соединительных шлангов и проводов и не требуют использования боеприпасов.

Существуют варианты использования «Вега-СВ» в режиме «Стрелковой полосы», а также в режиме «3D». С его помощью можно приобрести навыки использования различных видов стрелкового оружия для ведения прицельной или скоростной стрельбы. Разработчики говорят о том, что «Вега-СВ» может быть использована и профессиональными стрелками.

В интерактивном классе появляется возможность изучения устройства и знакомства с характеристиками стрелкового оружия. Кроме того, военнослужащие и курсанты получают возможность изучать возможности эффективного и оптимального использования различных боеприпасов.

Преподаватели кафедры перед каждой стрельбой в часы самостоятельной работы организуют дополнительные тренировки. В ходе этих занятий курсанты изучают или совершенствуют свои знания по материальной части оружия, по правилам стрельбы из стрелкового оружия и вооружения боевых машин. Получают и закрепляют навыки в стрельбе из стрелкового оружия вооружения боевых машин по появляющимся и движущимся целям из различных положений с учётом различных метеорологических условий.

Безусловно, ни один тренажёр не в состоянии заменить стрельбы из боевого оружия, однако современные электронные стрелковые тренажёры обладают целым рядом достоинств и представляют собой отличное дополнение к традиционной системе огневой подготовки военнослужащих. Они всегда доступны и не зависят от погодных условий. Поэтому занятия на них легче планировать, а также их можно задействовать и в рамках самоподготовки, в выходные дни, в свободное время после ужина и т. д. Кроме того, только на тренажёре возможен детальный анализ действий стрелка и его ошибок, что крайне важно для начинающих стрелков, делающие первые шаги с оружием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://army-news.ru/.
2. http://gunrf.ru
3. http://millitaryarms.ru

INNOVATIVE APPROACHES IN TEACHING STUDENTS WITH THE USE OF ELECTRONIC SYSTEMS FOR FIRE TRAINING

Gorovoy Sergey Alekseevich
Novosibirsk higher military command school, 630117, Russia, Novosibirsk, ul. Ivanov, 49
Gorovoy S. A., e-mail gtasa@ngs.ru
Address for correspondence: ***Gorovoy Sergey Alekseevich***,
Novosibirsk higher military command school,
630117, Russia,
Novosibirsk, ul. Ivanov, 49, tel. 8(383)332-50-45

Abstract: The article describes innovative approaches to training cadets using electronic systems (simulators) for fire training.

Key words: electronic simulators, educational technologies, teaching methods, ammunition and correctly.

УДК 662.245.142.3

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОЙ КУМУЛЯТИВНОЙ СКВАЖИННОЙ ПЕРФОРАЦИИ

Гриф Екатерина Михайловна; Гуськов Анатолий Васильевич, д.т.н., профессор; Милевский Константин Евгеньевич, к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет, Россия
630073, Новосибирск, просп. Карла Маркса, 20.
Гриф Е.М., email: grif.2015@stud.nstu.ru
Гуськов А.В., email: a.guskov@corp.nstu.ru
Милевский К.Е., email: milevskij@corp.nstu.ru
Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет, 630079, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,
тел. (383)346-11-21

Аннотация.

Проводится патентный обзор кумулятивных зарядов, предназначенных для скважинной перфорации, анализируются перспективные направления их совершенствования.

Ключевые слова: перфорация, скважинный перфоратор, кумулятивная воронка, кумулятивная струя, линзовый узел.

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 [1].

На данном уровне развития технологий кумулятивная перфорация – один из наиболее часто применяемых способов вторичного вскрытия продуктивных пластов. Кумулятивные перфораторы сочетают в себе высокую эффективность, универсальность, простоту и экономичность в эксплуатации. Однако, несмотря на перечисленные достоинства перфораторов данного типа, кумулятивные перфорационные системы имеют недостаток в виде малого диаметра входных отверстий и сечений перфорированных каналов, что ограничивает приток полезных ископаемых в скважину. Площадь пробитого материала повышают как за счет плотности расположения кумулятивных зарядов (далее КЗ) в перфораторе, так и за счет совершенствования КЗ. И, если плотность расположения КЗ ограничивается геометрией перфоратора и прочностью обсадной трубы и цементного кольца, воспринимающих взрывную нагрузку при функционировании перфорационной системы, то совершенствование КЗ происходит по следующим

направлениям: за счет оптимизации размеров и формы кумулятивного заряда, формы, геометрии и материала кумулятивной облицовки, качества, энергосодержания, плотности и скорости детонации взрывчатого вещества, наличия линзового узла, правильного подбора фокусного расстояния для заряда и точности изготовления деталей заряда и их сборки. Но наиболее прогрессивным, имеющим большие потенциальные возможности направлением из вышеперечисленных является возможность повышения характеристик заряда за счет изменения формы и профилей и выбора материала кумулятивных облицовок[2].

Например, авторами [3] предлагается КЗ, изображенный на рис. 1, в составе облицовки которого содержится специальный вкладыш, закрепленный на внутренней поверхности облицовки специальным пластичным материалом:

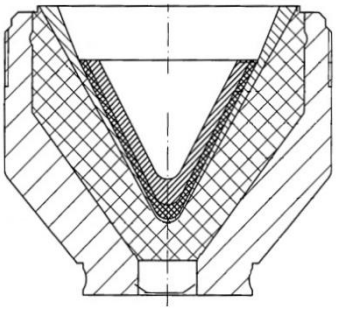


Рис. 1 Кумулятивный заряд с многослойной кумулятивной облицовкой

В процессе обжатия кумулятивной облицовки за счет наличия вкладыша и пластичного материала между облицовкой и вкладышем снижается скорость обжатия и формируется кумулятивная струя большого диаметра. Диаметру кумулятивной струи прямо пропорционален диаметр пробиваемого отверстия в преграде. Подобные способы решения задачи об увеличении диаметра пробития заранее сталкиваются с серьезной проблемой, основанной физическим процессом кумуляции: кумулятивная струя в теории струеобразования описывается схлопыванием конической облицовки, которая формируется в длинную тонкую металлическую проволоку, движующуюся продольно с очень большой скоростью [4]. Поэтому значительный интерес вызывают именно способы увеличения диаметра пробития с помощью использования кумулятивных облицовок новых форм и профилей. Исследователи [5] предлагают КЗ, изображенный на рис. 2:

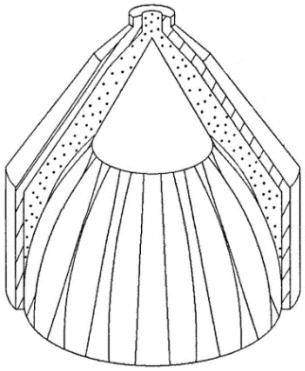


Рис. 2 Кумулятивный заряд сложной формы кумулятивной облицовки

Наличие продольных кумулятивных выемок в сферической (эллиптической) части облицовки позволяет формировать дополнительные кумулятивные «ножи», которые при проникании в преграду совершают дополнительную работу по увеличению площади входного отверстия и объема перфорационного канала. Применение зарядов предлагаемой конструкции позволяет увеличить диаметр входного отверстия перфорационных каналов по сравнению с использованием кумулятивных зарядов с конической кумулятивной выемкой, и глубину пробития преград по сравнению с применением зарядов с полусферической или полуэллипсной кумулятивной облицовкой.

Однако, анализируя описанные выше конструкции, можно отметить, что, несмотря на предлагаемые авторами изменения, основная масса металла, участвующая в струеобразовании, концентрируется к оси заряда. Для обеспечения относительно большого диаметра отверстий целесообразно создание и совершенствование КЗ сложных форм облицовок, в которых кумулятивные элементы (струя или ударное ядро) формируются как в центральной части корпуса заряда, так и в его периферийных областях [6]. Предлагается кумулятивный заряд, составная кумулятивная облицовка которого является сочетанием коническо-кольцевого и конического металлических элементов. Его функционирование обеспечивает образование как кумулятивной струи, так и кольцевой кумулятивной пелены [7].

Численное моделирование процессов формирования отверстия КЗ сложной формы облицовки и КЗ с конической облицовкой равного калибра в среде нелинейных динамических процессов Ansys Autodyn определило значительное увеличение диаметра отверстия в 1,5 раза и его площади в 4,5 раза, полученных предлагаемым вариантом.

Результаты исследования определили возможности и перспективы использования кумулятивных облицовок сложных форм в составе КЗ для кумулятивных перфораторов, и в дальнейшем планируется провести оптимизацию их параметров, в т.ч. определить влияние характеристик взрывчатых веществ, материала и геометрии оболочки [8], с целью более глубокого изучения происходящих при функционировании заряда процессов и получения наилучших характеристик пробития как по глубине, так и по диаметру отверстий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гриф Е. М. Кумулятивный скважинный перфоратор / Е. М. Гриф, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 19 Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 18–20 апр. 2018 г. В 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 2. – С. 11–13. - 50 экз. - ISBN 978-5-7782-3550-2, 978-5-7782-3552-6 (Т. 2).

2. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – Изд. 3-е, испр. – В 2 т. Т. 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 656 с. – ISBN 5-9221-0220-6

3. Калашников В. В., Деморецкий Д. А., Трохин О. В., Рогожин П. В., Ненашев М. В., Нечаев И. В., Ганигин С. Ю., Хлыстова И. Е., Крылова М. А. Технология изготовления облицовок кумулятивных зарядов, обладающих повышенной пробивной способностью // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №1-2

4. 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

5. Калашников В. В., Деморецкий Д. А., Ненашев М. В., Трохин О. В., Нечаев И. В., Богданов Ю. А., Мурзин А. Ю., Кобякина О. А., Григорьев А. А. Кумулятивный заряд со сложнопрофильной облицовкой для создания отверстий повышенного диаметра // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. №1-2.

6. Гриф Е. М. Перспективы развития кумулятивных зарядов с повышенным диаметром пробития / Е. М. Гриф, К. Е. Милевский // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч., Новосибирск, 3–7 дек. 2018 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 9. – С. 92–96. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-3733-9, 978-5-7782-3742-1 (Ч. 9).

7. Гриф Е. М. Кумулятивный скважинный перфоратор / Е. М. Гриф, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 19 2. Всерос. науч.-техн. конф., Новосибирск, 18–20 апр. 2018 г. В 4 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 2. – С. 11–13. - 50 экз. - ISBN 978-5-7782-3550-2, 978-5-7782-3552-6 (Т. 2)

8. Высокоэнергетические материалы : учеб. пособие / В.В. Андреев, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, Е.Ю. Слесарева. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – С. 135

ACTUAL ASPECTS OF MODERN CUMULATIVE BOREHOLE PERFORATION

Grif Ekaterina Mikhailovna, Guskov Anatoly Vasilyevich, Milevsky Konstantin Evgenyevich

Novosibirsk State Technical University, 20, Karl Marx Prospect, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract.

A patent review of cumulative borehole charges, prospective directions for their improvement are analyzed.

Key words: perforation, bore perforator, cumulative funnel, cumulative jet, lens knot.

УДК 623.45

ВЛИЯНИЕ КУМУЛЯТИВНОГО ЭФФЕКТА НА СОЗДАНИЕ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАБРОНЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Ефимов Антон Павлович, студент; Милевский Константин Евгеньевич, к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет, Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. (913)005-48-19
Ефимов А.П. e-mail efimov.2016@stud.nstu.ru
Милевский К.Е. e-mail milevskij@corp.nstu.ru
Адрес для корреспонденции: Ефимов Антон Павлович, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация

Принцип действия кумулятивных боеприпасов основан на физическом эффекте накопления (кумуляции) энергии в сходящихся детонационных волнах, образующихся при подрыве заряда ВВ, имеющего выемку в форме воронки (эффект Монро[1]). В результате в направлении фокуса выемки образуется высокоскоростной поток продуктов взрыва – кумулятивная струя.

Эти процессы на макроуровне описываются гидродинамической теорией, в частности для них справедливо уравнение Бернулли, а также полученное Лаврентьевым М.А. уравнение гидродинамики для кумулятивных зарядов[2].

В данной работе рассматривается влияние кумулятивного эффекта на формирование поражающих факторов в заброневом пространстве.

Ключевые слова

Кумулятивный боеприпас; кумулятивный эффект (эффект Монро); кумулятивная струя; осколки; давление; температура; забронеевое пространство.

Кумулятивные боеприпасы предназначены для поражения бронированных целей, а также железобетонных фортификационных сооружений, путём создания узконаправленной струи продуктов взрыва с высокой пробивной способностью: при взрыве из материала облицовки специальной выемки во взрывчатом веществе формируется тонкая кумулятивная струя, находящаяся в состоянии сверхпластичности, направленная вдоль оси выемки. При встрече с препятствием струя создает большое давление и пробивает броню.

При пробитии брони кумулятивными снарядами люди, модули и приборы, находящиеся в танке, в теории могут быть поражены следующими поражающими элементами: кумулятивная струя, осколки, образующиеся из тыльной поверхности брони, а также ударной волной и температурой (рис. 1).

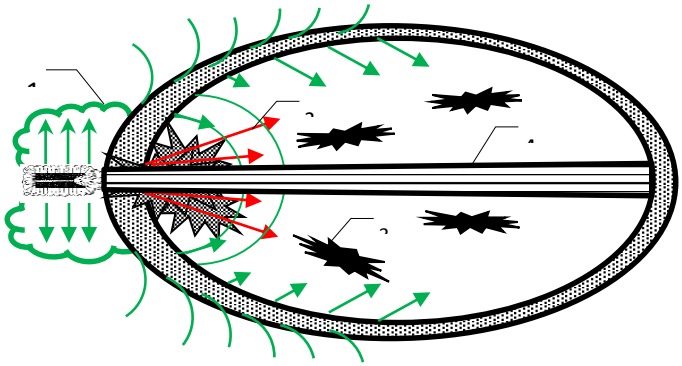


Рис. 1. Теоретическая модель поражения забронёвого пространства. 1 – ударная волна; 2 – температура; 3 – осколки; 4 – кумулятивная струя.

В ходе проведения патентно-экспериментального обзора были обнаружены следующие данные. Оборонная исследовательская служба вооружённых сил Дании провела испытания эффективности кумулятивных суббоеприпасов для 155-мм снарядов, выбрав в качестве объекта танк «Центурион». В ходе эксперимента использовали методику статических испытаний, разместив суббоеприпасы на башне и корпусе машины под различными углами.

Внутри машины, на местах экипажа в обитаемом отделении, и по всему танку поместили датчики давления, температуры, ускорений. В процессе исследований на танке провели 32 подрыва суббоеприпасов. Мощность кумулятивных боеприпасов позволяла кумулятивной струе пробивать танк насквозь, оставляя под днищем воронку в грунте. При этом установленные в танке датчики не зафиксировали повышения давления и температуры [3].

В 2008 году на 24-м международном симпозиуме по баллистике доктор Манфред Хельд из оборонного департамента Defence and Security Systems аэрокосмической корпорации EADS представил доклад «Behind Armour Effects at Shaped Charge Attacks» (Забронёвое действие кумулятивных боеприпасов)[4]. Рассмотрим итоговый рисунок из доклада (рис.2).

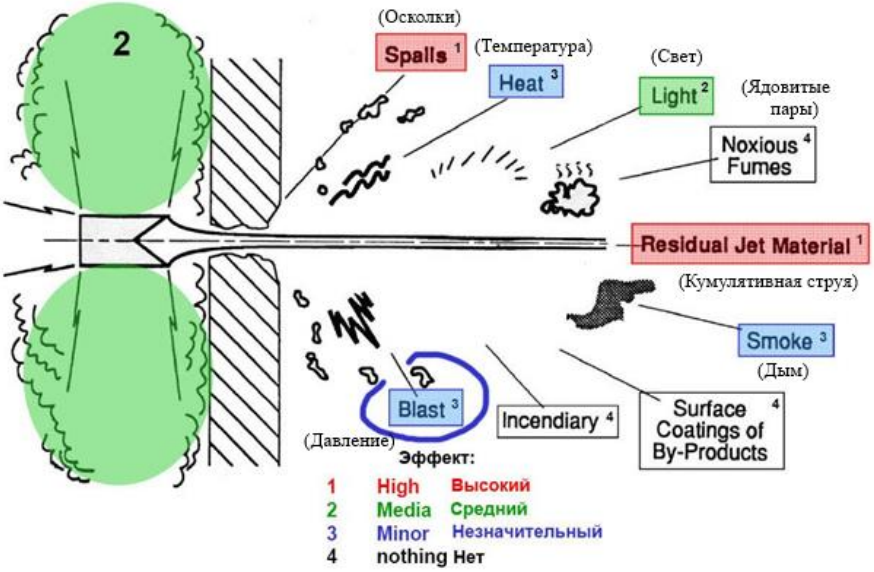


Рис. 2. Степень опасности поражающих факторов кумулятивного боеприпаса

Эффект избыточного давления (Blast) отмечен как незначительный (согласно отечественной классификации – нулевая степень поражения, табл.), так же не зафиксировано и резкое повышение температуры.

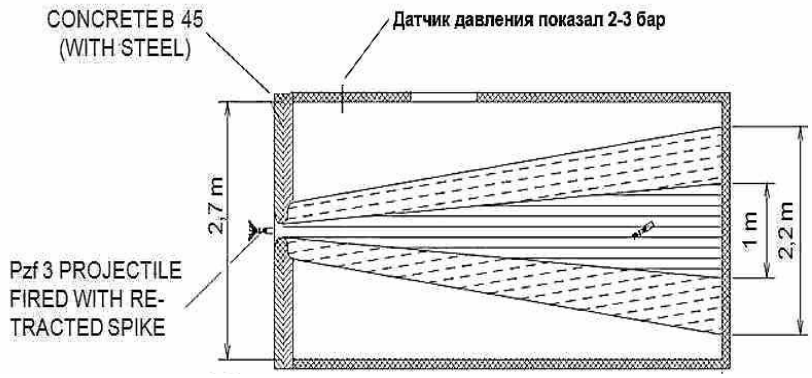
Табл.

Значения избыточного давления при поражении живой силы.

Степень тяжести поражения	Медико-тактические характеристики поражения	Значения избыточного давления на фронте ударной волны (атм), при вероятности поражения		
		0,1	0,5	0,99
0	Выход из строя на 3-5 мин	0,41	0,47	0,63
1	Санитарные потери до 10 суток	0,48	0,67	1,09
2	Санитарные потери до 30 суток	1,22	1,41	1,84
3-4	Санитарные потери до 60 суток, с вероятностью смертельных исходов ниже 0,5	1,97	2,10	2,44

А вот кумулятивная струя (Residual Jet Material) и осколки (Spalls) представляют серьёзную опасность. Отмечена также средняя степень опасности фугасного действия боеприпаса с наружной стороны брони.

Опасное повышение давления внутри закрытых объектов возникает только в тех случаях, когда кумулятивным и фугасным действием заряда ВВ в преграде пробивается отверстие, достаточное для затекания продуктов взрыва и создания внутри ударной волны. Синергетический эффект достигается сочетанием кумулятивной струи и фугасного действия заряда на слабобронированных и непрочных преградах, что приводит к конструкционному разрушению материала, обеспечивая затекание продуктов взрыва за преграду.



Например, боеприпас немецкого гранатомёта «Panzerfaust» 3-IT600 в многоцелевом варианте при пробитии железобетонной стены создаёт в помещении избыточное давление 2-3 бар (рис. 3).

Рис. 6. Поражающее действие кумулятивного боеприпаса РПГ «Panzerfaust» 3-IT600 в многоцелевом варианте при стрельбе по зданиям (сооружениям). Источник: Dynamit Nobel GmbH

Вывод

Исходя из полученных данных, следует, что при пробитии кумулятивным боеприпасом забронёвого пространства основными поражающими факторами являются кумулятивная струя и осколки брони. Ударную волну создаёт подрыв заряда ВВ боеприпаса, и она не может проникнуть за тяжелобронированную преграду через отверстие, пробитое кумулятивной струей, потому что диаметр такого отверстия недостаточен для передачи какого-либо значимого импульса. Соответственно, не может создаваться избыточное давление внутри бронеобъекта. Если кумулятивная струя и осколки брони не поражают людей и пожаро- и взрывоопасное оборудование танка, то экипаж выживает.

Избыточное давление и температура будут являться поражающими факторами только в том случае, если фугасное действие заряда приводит к конструкционному разрушению материала, обеспечивая затекание продуктов взрыва и создание внутри ударной волны.

Библиографический список

1. «Reactive Armor», Travis Hagan // Explosives Engineering MNGN 498; March 18, 2002.
2. Минин И. В., Минин О. В. Кумулятивные заряды: монография. – Новосибирск: СГГА, 2013 – 200 с.
3. http://www.danskpanser.dk/Artikler/Destruerede_kampvogne_for_skud_igen.htm
4. http://www.netcomposites.com/netcommerce_features.asp?1682
5. Танки в боях за Грозный. Часть 1, Владислав Белогруд // «Фронтовая Иллюстрация», М.: «Стратегия КМ», 2008. «Танки в боях за Грозный. Часть 2», Владислав Белогруд // «Фронтовая Иллюстрация», М.: «Стратегия КМ», 2008.

DEVICE FOR ADJUSTMENT OF GYROSCOPE MOTION

Efimov Anton Pavlovich student
Milevsky Konstantin Evgenievich Ph.D. the senior lecturer
Novosibirsk State Technical University, Russia, 630073, Novosibirsk, K. Marx's avenue, 20, tel. (913) 005-48-19
Efimov A.P. e-mail efimov.2016@stud.nstu.ru
Milevsky K.E. e-mail milevskij@corp.nstu.ru
Address for correspondence: Anton Pavlovich Efimov, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx ave., 20,
tel. (913) 005-48-19

Abstract

The basis of a basic principle of cumulative munition (shaped charge) effect is the physical effect of cumulation of energy in detonation wave collision that the explosion of an explosive material forms due to a void cut that focuses blast energy of a shaped charge (Munroe effect). As a result, the effect forms a high velocity stream of explosion products - a cumulative jet.

Hydrodynamic theory describes those processes on a macro level with Bernoulli equation and hydrodynamic equation that M.A. Lavrentiev made for shaped charges specifically.

The paper reviews the influence of cumulative effect on forming impact damage in armored space.

Key words

Shaped charge; cumulative effect (Monroe effect); cumulative stream; chips; pressure; temperature; behind-armor space.

УДК 547.414.2;547.796.1

СИНТЕЗ АЛКИЛ-(1-((МЕТИЛ-1Н-ТЕТРАЗОЛ-5-ИЛ)ИМИНО)-2,2,2-ГАЛОГЕНДИНИТРОЭТИЛ)КАРБАМАТОВ

Заломленков Владимир Александрович, к.х.н., доцент;
Гидаспов Александр Александрович, д.х.н., профессор;
Персиянцева А.В., студент; Гудкова З.С.,студент;
Ли К.В., студент; Михайловская Я.С., студент
Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Заломленков В. А., e-mail: venom21@rambler.ru
ГидасповА. А., e-mail: xtoca@samgtu.ru
*Адрес для корреспонденции:****Заломленков Владимир Александрович****,*
Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. (846)337-08-89

Аннотация

Разработаны методы получения алкил-(1-((метил-1Н-тетразол-5-ил)имино)-2-хлор-2,2-динитроэтил)карбаматов и алкил-(1-((метил-1Н-тетразол-5-ил)имино)-2-бром-2,2-динитроэтил)карбаматов. Полученные вещества представляют интерес в качестве соединений с NO-донорной активностью. Эти соединения могут стать основой новых противоопухолевых или сосудорасширяющих препаратов.

Ключевые слова: тринитрометильные производные, динитрометильные соединения, денитрование, галогенирование, NO-донорная активность.

1. Введение

Ранее было показано [1], что взаимодействие 3-алкил-5-тринитрометил-тетразоло-[1,5-*a*]-1,3,5-триазин-7-онов со спиртами приводит к раскрытию цикла 1,3,5-триазина и образованию алкил-(1-((метил-1Н-тетразол-5-ил)имино)-2,2,2-тринитроэтил)карбаматов (**1**). Соединения **1** являются новым классом соединений, для которых практически не изучены химические свойства. Они представляют интерес как энергонасыщенные материалы, а также для изучения их биологической активности, поскольку сочетают в своем строении целый комплекс биологическиактивных фрагментов: уретановый (карбамат), амидиновый, тетразольный и полинитрометильный. Соединения, содержащие полинитрометильный фрагмент представляют интерес в качестве противоопухолевых, сосудорасширяющих препаратов с NO-донорной активностью [2, 3], а также другими видами биоактивности (антибактериальной, фунгицидной, противовирусной) и наиболее изучены в ряду 1,3,5-триазинов [2-8]. Среди полинитропроизводных 1,3,5-триазина наибольшими цитотоксическими свойствами обладают галогендинитрометильные производные [7, 8]. Галогендинитрометил-1,3,5-триазины получают из тринитрометильных производных путем их денитрования и дальнейшего галогенирования [4]. Целью

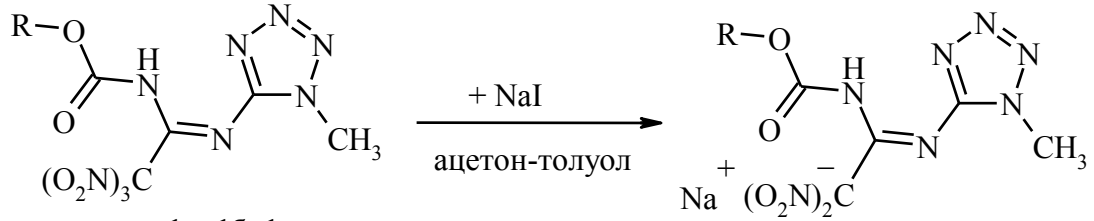
данной работы было получить галогендинитрометильные аналоги соединений **1,** которые интересны как биологически активные вещества.

2. Методика экспериментального исследования

В работе использовали реактивы квалификации х.ч. или ч.д.а., чистота исходных соединений **1** и продуктов **2, 3, 4** подтверждена температурой плавления, методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254, а также методами ЯМР и ИК-спектроскопии. Спектры ^{1}H и ^{13}C ЯМР получены на спектрометре JEOL JNM ECX-400 (400 и 100 МГц соответственно) в $CDCl_3$, внутренний стандарт ТМС. ИК-спектры сняты на фурье-спектрофотометре Avatar 360ESP с использованием приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Температуры плавления определены на приборе Gallenkamp и не исправлены.

3. Результаты и обсуждение

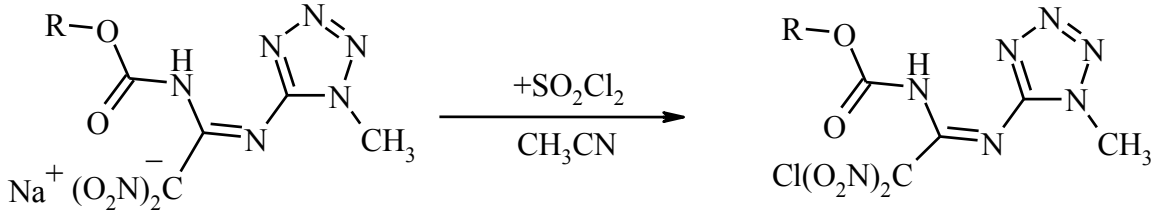
Для получения необходимых динитрометильных солей было изучено взаимодействие соединений **1а, 1б, 1в** с иодидом натрия. В результате взаимодействия получены динитрометильные соли **2**, которые представляют собой светло-желтые кристаллические вещества хорошо растворимые в воде и имеющие температуры плавления около 200°С с разложением.



1а, 1б, 1в — **2а (57%), 2б (48,5%), 2в (52%)**

R = Метил (**а**); $AdCH_2CH_2$ (**б**); Октил (**в**)

Для получения галогендинитрометильных производных были изучены реакции галогенирования солей **2**. Хлорирование соли **2а** первоначально было проведено хлором в четыреххлористом углероде, в результате чего впервые был получен метил(1-((1-метил-1Н-тетразол-5-ил)имино)-2-хлор-2,2-динитроэтил) карбамат (**3а**) с выходом 64%. Реакция хлорирования была изучена также в среде ацетонитрила. В качестве источника хлора в этом случае использовали сульфурилхлорид в эквимолярном соотношении.



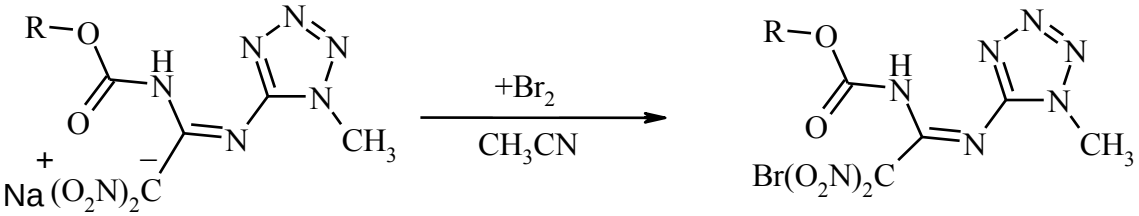
2а, 2б, 2в — **3а (86%), 3б (80%), 3в (85.5%)**

R = Метил (**а**); $AdCH_2CH_2$ (**б**); октил (**в**)

Проведение реакции хлорирования в ацетонитриле позволяет не только получать соединения с высокими выходами, но и многократно увеличивает

скорость реакции в сравнении использованием четыреххлористого углерода в качестве среды.

Бромпроизводные были получены при добавлении эквимолярного количества брома к суспензии соответствующих натриевых солей в ацетонитриле.



2а, 2б, 2в **4а (85%), 4б (82%), 4в (83%)**

R = Метил (**а**); $AdCH_2CH_2$ (**б**); октил (**в**)

Выводы:

Таким образом, разработаны методы получения алкил-(1-((метил-1Н-тетразол-5-ил)имино)-2-хлор-2,2-динитроэтил)карбаматов и алкил-(1-((метил-1Н-тетразол-5-ил)имино)-2-бром-2,2-динитроэтил)карбаматов. Строение всех новых соединений было доказано методами ИК-, ЯМР-спектроскопии и данными элементного анализа.

Библиографический список:

1. Раскрытие цикла 1,3,5-триазина в реакциях 3-метил-5-тринитрометил-тетразоло[1,5-α]-1,3,5-триазин-7-она со спиртами / В.А. Заломленков, А.А. Гидаспов, В.В. Бахарев, В.Е. Парфенов, А.М. Харизина // Труды XVII Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона.»(20-22 апреля 2016 г.). Новосибирск: НГТУ. 2016. Т.2.С.122-126.

2. Граник В.Г., Григорьев Н.Б. Экзогенные доноры оксида азота в ряду С-нитросоединений // Успехи химии. 2011.Т. 80. №2. С.182-198.

3. Синтез и электрохимическое исследование NO-генерирующей способности полинитрометильных производных 1,3,5-триазина / А.А. Гидаспов, В.В. Бахарев, Е.В. Качановская, Ю.Н. Булычев, В.И. Левина, О.В. Азизов, А.П. Арзамасцев, Н.Б. Григорьев, В.Г. Граник // Хим.-фарм. журнал. 2003. Т. 27. №9. С.12-16.

4. Гидаспов А.А., Бахарев В.В., Булычев Ю.Н. Синтез и цитотоксическая активность тринитрометильных производных 1,3,5-триазина // Хим.-фарм. журнал. 2008. Т. 42. №5.С.11-13.

5. Бахарев В.В., Гидаспов А.А., Булычев Ю.Н. Синтез и цитотоксическая активность 2,4-дизамещенных 1,3,5-триазинилдинитроэтанолов и динитроэтанов // Хим.-фарм. журнал. 2000. Т. 34. № 7. С. 6-12.

6. Синтез и цитотоксическая активность эфиров и нитрилов 1,3,5-триазинилдинитромасляных кислот / А.А. Гидаспов, В.В. Бахарев, Е.В. Качановская, Н.Г. Якунина, Ю.Н. Булычев // Хим.-фарм. журнал. 2002. Т. 36. № 7. С. 26-32.

7. Синтез и цитотоксическая активность галогендинитрометильных производных 1,3,5-триазина / А.А. Гидаспов, В.В. Бахарев, М.В. Галкина, Е.В.

Екимова, Ю.Н. Булычев, Е.В. Качановская, Е.А. Косарева, Н.Г. Якунина / Хим.-фарм. журнал. 2004. Т.38. С. 9-15.
8. Новые антиметастатические препараты на основе хлординитрометил-1,3,5-триазинов / А.А. Гидаспов, В.В. Бахарев, Б.С. Федоров, М.А. Фадеев, Н.П. Коновалова // Журнал прикладной химии. 2009. Т.82. № 10.С.1664-1668

SYNTHESIS OF ALKYL-(-((-METHYL-1H-TETRAZOL-5-YL)IMINE)-2,2,2-HALOGENDINITROETHYL)CARBAMATES

Zalomlenkov Vladimir Alexandrovich,Senior Lecturer, e-mailvenom21@rambler.ru
Department of Chemistry and Technology of Organic Nitrogen Compounds, Samara State Technical University, 443100, Molodogvardeyskaya St., 244, Samara, Russian Federation
Gidaspov Alexander Alexandrovich, D.Sc. (Chemical), Professor, e-mail xtoca@samgtu.ru
Department of Chemistry and Technology of Organic Nitrogen Compounds, Samara State Technical University, 443100, Molodogvardeyskaya St., 244, Samara, Russian Federation
Persiyantseva A.V., student,e-mail Arinochka_pers@mail.ru
Gudkova Z. S., student, e-mail rbytkm@mail.ru
Li K.V., student, e-mail li_201@bk.ru
Mikhailovskya Y.S., student, e-mail lavrenteva.y@inbox.ru

Abstract:
Methods of obtaining alkyl-(-((methyl-1H-tetrazole-5-yl)imine)-2-chlorine-2,2-dinitroethyl)carbamates and alkyl-(-((methyl-1H-tetrazole-5-yl)imine)-2-bromine-2,2-dinitroethyl)carbamates were developing. Compounds obtained introduce of interest as compounds with NO-donor activity. These compounds can be the basis of new anticancer or vasodilator preparations.
Keywords:trinitromethyl derivatives, dinitromethyl compounds, denitration, halogenation, NO-donor activity.

УДК 623.451

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВЕДУЩИХ ПОЯСКАХ ДВУХ ТИПОВ

Зубашевский Константин Михайлович, Гуськов Анатолий Васильевич

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.
Зубашевский К. М., e-mail: zubashewscky@yandex.ru
Гуськов А. В., e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru
Адрес для корреспонденции: Гуськов Анатолий Васильевич, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, ул. Геодезическая 10, 3-ий корпус, каб. 204. Тел. 7(383)3462976

Аннотация

Ведущий поясок артиллерийского снаряда при выстреле разогревается до больших температур, которые изменяют механические свойства материала пояска. В данной работе проведено исследование распределения температур в ведущих поясках из меди и стали, численным моделированием установлены распределения температур вглубь материалов поясков. Распределение представлено также в графическом виде.

Ключевые слова: ведущий поясок, медь, сталь, температурное распределение, численное моделирование, боеприпасы.

Введение

Трение пары “ведущий поясок — канал ствола” при скоростях скольжения от ста до нескольких тысяч метров в секунду представляет собой предельный случай внешнего трения [1]. Особенностью работы артиллерийских установок является интенсивное тепловыделение в области контакта, источники которого – пластическая деформация ВП при врезании и трение ВП по каналу ствола, а сама теплота генерируется в приповерхностном слое ВП. При этом контактные температуры могут достигать температур плавления материала одного из трущихся тел. В таком случае необходимо учитывать влияние высокой температуры, которая вызывает изменение механических свойств материала ведущего пояска, в результате чего возникает необходимость более подробного изучения материала в этом состоянии.

Цель работы – исследовать распределение температуры в медном и стальном ВП.

Расчетная часть

Простейшую математическую модель распределения температуры можно получить с помощью теории температуры вспышки Блока. Им впервые предложена формула, которая позволяет рассчитать температуру локальных тепловых источников и учесть их движение. Теория Блока относится к тепловому

источнику с удельной мощностью Q (Вт/м^2), непрерывно движущемуся со скоростью V по поверхности полупространства.

Расчет был произведен со взятой за основу модель Х. Блока:

$$T_{max} = 2\mu P(\frac{BV}{\pi k \rho c})^{1/2}, \quad (1)$$

где:μ – коэффициент трения, определенный экспериментально;
P – среднее контактное давление медного (стального) ведущего пояска;
k – теплопроводность меди (стали);
ρ – плотность меди (стали);
c – удельная теплоемкость меди (стали);
B – длина вдоль скольжения (длина пройденного ВП канала ствола);
V – скорость скольжения ведущего пояска по каналу ствола.

Коэффициент трения пары «медь – сталь» на начальный момент времени принимался равным 0,165 [2]. На основании теории «температура вспышки» для металлов определяется температурой плавления. Для материала М1 типового ведущего пояска она равна 1053 °С (температура плавления 1083°С минус температура окружающей среды 30°С). Для стали коэффициент трения пары «сталь – сталь» на начальный момент времени принимался равным 0,0846, «температура вспышки» равна 1420 °С (температура плавления 1450 °С минус температура окружающей среды, равной 30 °С) [3,4].

Для расчетов использовались средние контактные давления P, зависящие от точности изготовления ведущего пояска. Для меди в диапазоне допусков $P_1 = 1250$ МПа и $P_2 = 1239$ МПа. Аналогично для стального ВП $P_1 = 641{,}6$ МПа и $P_2 = 633{,}6$ МПа;

По результатам расчетов определены зависимости распределения температуры Т °С от длины канала ствола l, м, по которым можно сделать следующие выводы:

- происходит резкий рост температуры на расстоянии 0,5 м для обоих ВП;
- медный ВП достигает температуры плавления на расстоянии 1,5 м, а стальной – на расстоянии 2 м;
- температура рекристаллизации стального ВП достигается при 0,4 м.
- разностью температур при усилиях продавливания, зависящих от точности изготовления материала ведущего пояска, можно пренебречь.

Для определения температурного поля материала ВП при скольжении по каналу ствола проведено математическое моделирование [5,6]. При постановке задачи сделаны следующие допущения: материал ведущего пояска однороден и изотропен, физические параметры постоянны, деформация исследуемого объёма является очень малой величиной по сравнению с самим объёмом. Тепловыделения определены по теории Х. Блока.

Для определения прогрева материала ведущего пояска во время выстрела использовались зависимости, показанные на рисунках 1 и 2.

Рисунок 1.Зависимость температуры на поверхности медного ВП от времени движения.

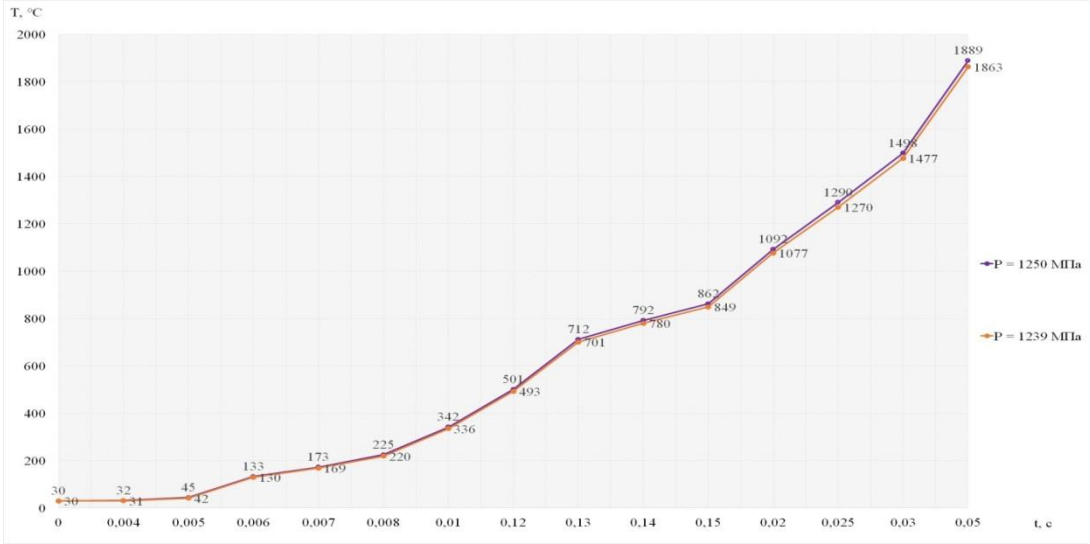


Рисунок 2. Зависимость температуры на поверхности стального ВП от времени движения

Для решения задачи теплопроводности использовалось программное обеспечение PascalABCNET, с решением на основе материалов [7]. Итоги расчетов для времени движения 0,0252 с показаны на рисунках 3 и 4.

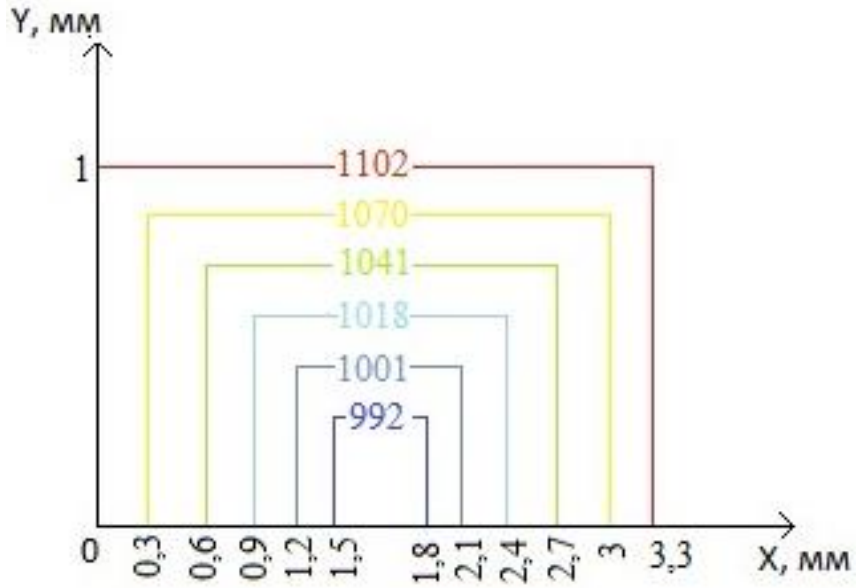


Рисунок 3. Распределение температуры медного ВП в момент времени

t = 0,0252 с.

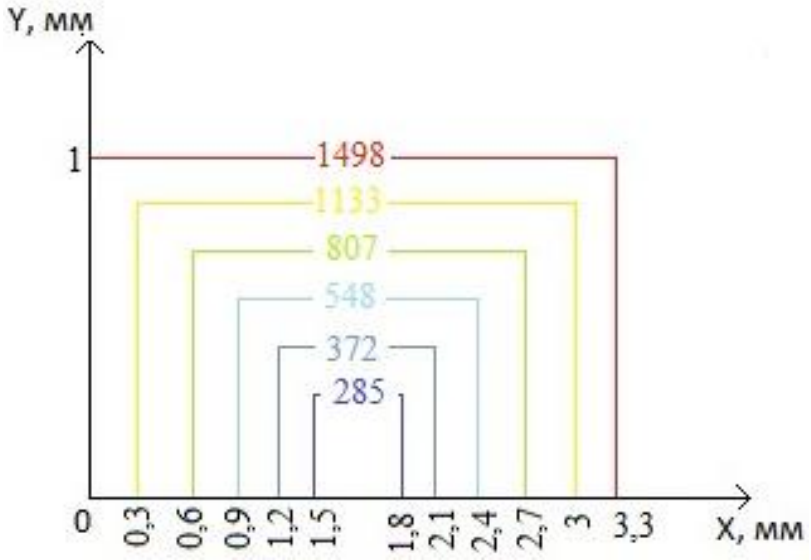


Рисунок 4. Распределение температуры стального ВП в момент времени *t = 0,0252 с.*

Вывод

- определены зависимости распределения температуры от длины канала ствола. Выделены две основных точки нагрева материала ведущего пояска: для медного – $T_{\text{рек}} = 180\,°C$, и $T_{\text{плав}} = 1082\,°C$, для стального – $T_{\text{рек}} = 720\,°C$, и $T_{\text{плав}} = 1450\,°C$;

- вычислены распределения температуры в медном и стальном ВП при $t = 0{,}006\,c.$, $t = 0{,}0133\,c.$, $t = 0{,}0252\,c$, а также определены границы слоев температурного распределения для обоих ВП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трение и износ при высоких скоростях скольжения / В. А. Балакин. – Москва : Машиностроение, 1980. 136 с.

2. 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. - Art. 012011 (7 p.).

3. Guskov A.V. Heat and Mass Transfer during High-Speed Acceleration of SteelReference Node through the Channel of Ballistic Booster Complex/ A.V.Guskov, A.M. Lider, V.I. Maksimov, K.E. Milevskii// Journal of Engineering Thermophysics. – 2018. – Vol.27, No. 3, pp. 369-377.

4. Влияние тепловых эффектов на трение при высоких скоростях скольжения / С. М. Эттлс // Проблемы трения. – 1986. – № 1. – С. 71 – 78.

5. Blok, H. Theoretical study of temperature rise at surfaces of actual contact under oiliness lubricating conditions / H. Blok // Proc. Inst. Mech. Eng. – 1937. – № 2. – pp 222 – 235.

6. Гуськов А. В. Расчет температуры н поверхности контакта «Ведущий поясок – канал ствола»/ Бессонов Г.К., Гуськов А. В., Милевский К. Е., Сильченко

А. О.// Наука. Промышленность. Оборона: тр. XV Всеросс. научно-техн. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014 – 692 С 88-91.

7. Гурский Б.Э., Чичинадзэ А.В. Тепловая задача трения и ее развитие. Часть 1. Модель Блока и её совершенствование // Трение и износ. – 2007. – № 3. – С. 311 – 324.

ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE LEADING TWO TYPES OF BELTS

Zubashevskij Konstantin Michailovich, student e-mail: **zubashewscky@yandex.ru**

***Guskov Anatoly Vasilievich, D. Sc (Engineering), Associate Professor, Head of department gas-dynamic pulse devices*, e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru**

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx avenue, 20.

Annotation

The leading belt of the artillery shell when fired is heated to high temperatures, which change the mechanical properties of the material of the belt. In this paper, the temperature distribution in the leading belts of copper and steel is studied, the temperature distribution deep into the material of belts is determined by numerical simulation. The distribution is also presented in graphical form.

Keywords: leading belt, copper, steel, temperature distribution, numerical simulation, ammunition.

УДК 623.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФТОРОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОРАЖЕНИЯ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ И ЛЕГКОУЯЗВИМЫХ ЦЕЛЕЙ

***Ильин Семен Сергеевич*[1], *д.т.н.; Хмельников Евгений Александрович*[1]; *Смагин Константин Владимирович*[1]; *Заводова Татьяна Евгеньевна*[1]**

[1]Нижнетагильский Технологический институт (филиал) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,622031, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59,тел. (343) 525-65-00

ИльинС.С.,e-mailsemen.ilin.97@mail.ru

Хмельников Е.А.,e-mailkhmelnikov7@gmail.com

СмагинК.В., e-mailsmaginkv@gmail.com

Заводова Т.Е.,e-mailtanushka-zavodova@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрены проблемы поражения легкобронированной легкоуязвимой авиационной техники. Рассчитан удельный импульс и суммарная энергия, затрачиваемые на поражение топливопроводной системы самолетов.

Ключевые слова: фторполимеры, авиционная техника, поражающее действие.

В современном бою ствольная артиллерия малого калибра имеет высокую эффективность в борьбе с живой силой противника, как с незащищенной, так и с защищенной легкобронированной техникой, укрытиями и индивидуальными средствами защиты. В связи с активным применением в последнее время штурмовой и тактической авиации и вертолетов против живой силы и техники противника, развитие и совершенствование ствольной артиллерии малого калибра приобрело особую необходимость. Эффективность воздействия на авиацию ствольной артиллерии малого калибра складывается из суммарного количества попаданий снарядов, приведших, в конечном итоге, к нарушению систем жизнеобеспечения и функционирования авиатехники.

В результате исследований поражаемости боевых самолетов различных типов были выявлены 6 основных причин, которые приводили к невозвращению самолетов на свои базы в результате противодействия противника: пожар или взрыв летательного аппарата, повреждение его силовой установки, потеря управляемости, взрыв боеприпасов на борту, повреждение конструкции планера.

Наиболее перспективными, с точки зрения противодействия легкобронированной авиации, являются поражения конструкции планера и разрушение или зажжение топливных баков.

Поражение функционирования важных агрегатов самолетов и вертолетов при действии снарядов, пуль и осколков может происходить за счет следующих физических факторов:

1. Механическое (пробивное) действие: экипаж и приборы управления, силовую установку и топливные баки (потеря топлива через пробоины). Механическое воздействие на топливные баки малоэффективно, поскольку защитный слой резины при повреждении самозатягивает пробоину.
2. Зажигательное действие: гидросистема силовой установки, масляные топливные баки.
3. Инициирующее действие: боекомплект и бомбовая нагрузка.
4. Гидроудар: топливные баки (детонация, взрыв и пожар).

Из приведенных выше физических факторов поражения важных функциональных узлов самолетов и вертолетов, наибольший интерес представляет зажигательное действие.

Основной причиной воспламенения горючего в топливных баках является наличие дюралюминиевой обшивки корпуса самолета. При пробитии обшивки, выполняющей роль своеобразного экрана, образуется факел раскаленного диспергированного металла. При ударе пулей или осколком в топливный бак, в пространстве между обшивкой и стенкой бака происходит контакт факела частиц и топливной смеси, что приводит к воспламенению топлива с определенной вероятностью, зависящей от атмосферного давления, температуры окружающей среды, давления паров горючего, концентрации смеси и кислорода в смеси и окружающем воздухе. Однако, поражение такого типа происходит только при отсутствии внутренней комплексной защиты, имеющей многослойную структуру, включающую в себя поропласт и латексную губчатую резину.

Таким образов, в настоящее время, все еще существует необходимость в создании нового типа боеприпасов, обладающих не только необходимой удельной энергией при пробитии преграды, но и последующим зажигательным запреградным действием, способным привести к поражению авиационной цели.

Экспериментально было доказано, что фторполимеры имеют меньшую удельную энергию, затрачиваемую на разрушение преграды по сравнению с недеформируемыми сталями и текстолитовыми ударниками [1].

Если говорить о физическом смысле данного процесса, то необходимо отметить, что такое возможно за счет прохождения термоокислительной деструктивной реакции фторполимеров при высокоскоростном взаимодействии с легкими сплавами на основе титана и алюминия [2]. Давление, возникающее на границе контакта преграды и поражающего элемента, превышает минимальное давление, необходимое для прохождения экзотермичной реакции взрывоподобного типа, сопровождающейся выделением фторида алюминия или титана [3]. В процессе удара такие поражающие элементы деформируются и разрушаются, что вместе с взрывоподобной реакцией приводит к увеличению пробоин и многофакторному (термобарическому и фугасно-зажигательному) действию в запреградном пространстве. При выходе этого облака на тыльную

сторону происходит его мгновенное расширение, что способствует увеличению диаметра каверны, края которой загибаются на внешнюю сторону, образуя в случае тонких слоистых преград звездчатую форму. Высокая температура и образующиеся мелкодисперсные конденсированные продукты нарушают работу электронных устройств приборных отсеков цели.

Рассматривая процесс проникания любого срабатывающегося (теряющего массу в процессе проникания или деформирующегося) ударника в преграду можно отметить, что слои материала преграды и деформирующегося бойка движутся параллельно, при этом происходит и химическое окисление алюминий и титаносодержащей преграды при взаимодействии с фторопластом. Процессы параллельного окисления были рассмотрены на различные рода газовых смесях и сформированы в методе Counterflow Diffusion Flame (CDF), впервые предложенном Цудзи и Ямаока [4]. Результаты, полученные в ходе экспериментов [5], подтверждают математическую модель взаимодействия фторопластовых ударников и преград на основе легких сплавов, предложенную авторами, что позволяет перейти к рассмотрению конкретных практических задач.

Для установления эффективности действия фторопластовых боеприпасовпо топливной и маслопроводной системе была разработана специальная экспериментальная установка «Баллистический стенд». Схема установки представлена на рис. 1.

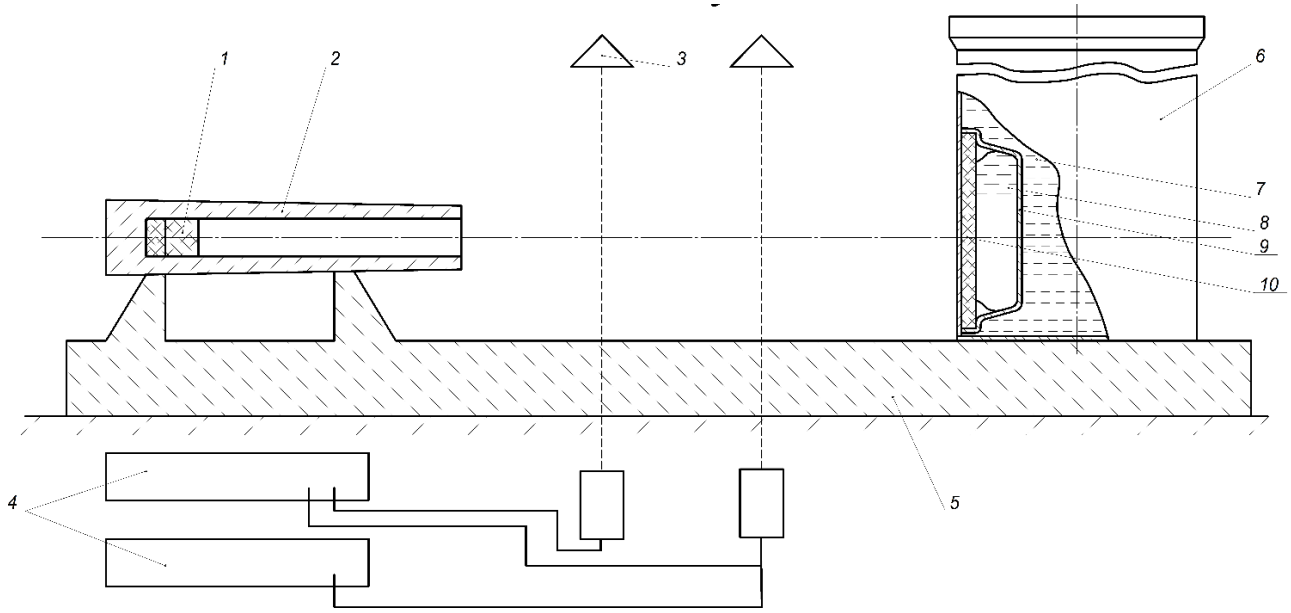


Рис. 1. Схема установки «Баллистический стенд»
1 - ударник из фторполимерного материала; 2 - артиллерийская установка; 3 - фотоблокировка; 4 - баллистический хронограф;5 - основание; 6 - корпус бака; 7 - уловитель (вода); 8 - горючее; 9 - упор; 10 - губчатая латексная резина

Для проведения экспериментов на баллистическом стенде использовались бойки из фторопласта с массой 9 грамм, с углами при вершине 90˚ и 180˚; боек из стали 60 с углом при вершине 90˚; бойки из текстолита с углами при вершине 90˚

и 180˚; комбинированные бойки из АМц и фторопласта с углами при вершине 60˚, 90˚ и 180˚.

Результаты экспериментов по определению действия запреградного поля осколков приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты экспериментов по зажжению топлива за комбинированной преградой.

	Материал бойка/угол при вершине, α˚	m, г	Скорость, V, м/с	Результат: + зажжение – нет
	Ф / 180˚	9	916,34	–
	Сталь 60 / 180˚	9	1025,69	–
	Б-32	48	828,64	–
	Ф / 90˚	9	898,11	–
	Сталь 60 / 90˚	9	864,54	–
	Ф / 180˚	9	989,17	–
	Ф / 90˚	9	1128,53	+ устойчивое
	Ф / 90˚	9	918,51	–
	Ф + АМц / 180˚	9	1106,64	+ устойчивое
0	Ф + АМц / 90˚	9	986,15	+ тление
1	Ф + АМц / 90˚	9	1092,88	+ устойчивое
2	Ф + АМц / 180˚	9	863,12	–
3	АМц + Ф /60˚	9	1153,91	+ устойчивое
4	АМц + Ф /180˚	9	1006,32	+ устойчивое
5	Ф / 90˚	9	916,58	–
6	Ф / 180˚	9	1013,18	–

Анализ результатов стрельб показывает, что воспламенение топлива произошло при испытании образцов бойков из фторопласта и комбинированных

ударников из АМц и фторопласта. По результатам экспериментов была составлена программа для расчета удельного импульса осколков и вероятности воспламенения топлива. Для построения графической зависимости вероятности воспламенения от удельного импульса данные были внесены в программу аппроксимирования значений параметров.

Осколковым критерием при оценке вероятности воспламенения топлива является ударный импульс осколка:

$$i = 0.000204 \cdot m^{1/3} \cdot V, (\frac{кгс \cdot с}{см^2})$$

где m – масса осколка, г;
V – скорость осколка, м/с.

При удельном импульсе $i \leq 0.16$ вероятность воспламенения равна нулю. При удельном импульсе $i \geq 2.5$ вероятность зажжения топлива близка к единице:

$$p = 1 + 1.08 \cdot e^{-4.16i} - 1.96 \cdot e^{-1.46i}$$

Дополнительная химическая энергия, выделяемая при прохождении экзотермической реакции между фторопласта с алюмосодержащей преградой вычислялась по экспериментальной зависимости:

$$Ex = -0.06943 - 0.2605 \cdot 10^{-2} \cdot V + 0.1021 \cdot 10^{-4} \cdot V^2$$

На рис. 2 показана зависимость вероятности воспламенения топлива от энергии E. За счет увеличения общей энергии ($Ek+Ex$) увеличивается и вероятность. Зависимость вероятности воспламенения топлива от скоростей (с учетом прочих параметров) показана на рисунке 3. Зависимость вероятности воспламенения от удельного импульса осколка представлена на рисунке 4. Основной график по результатам экспериментов изображен на рис. 5.

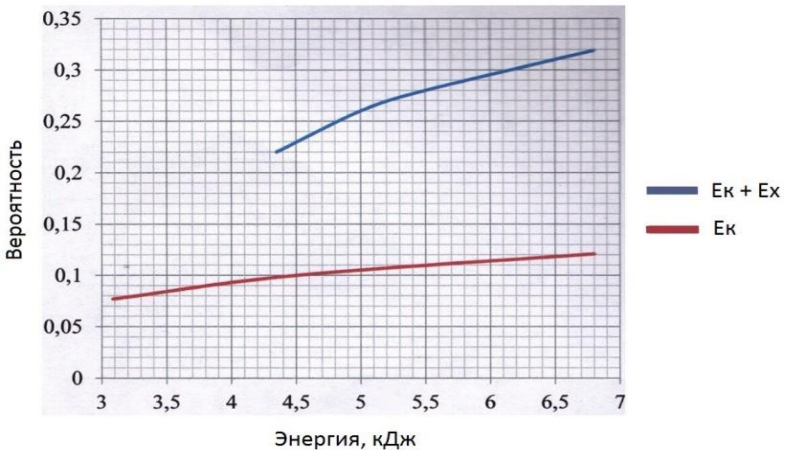


Рисунок 2. Зависимость вероятности воспламенения от энергии.

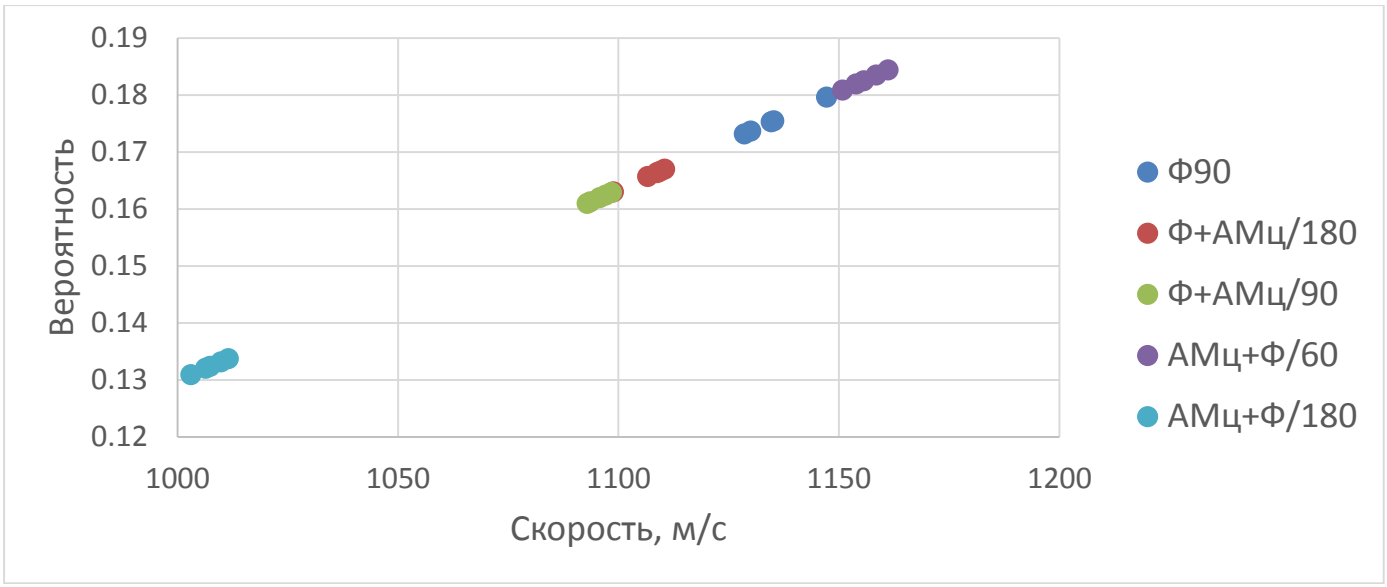


Рисунок 3. Зависимость вероятности воспламенения от скорости.

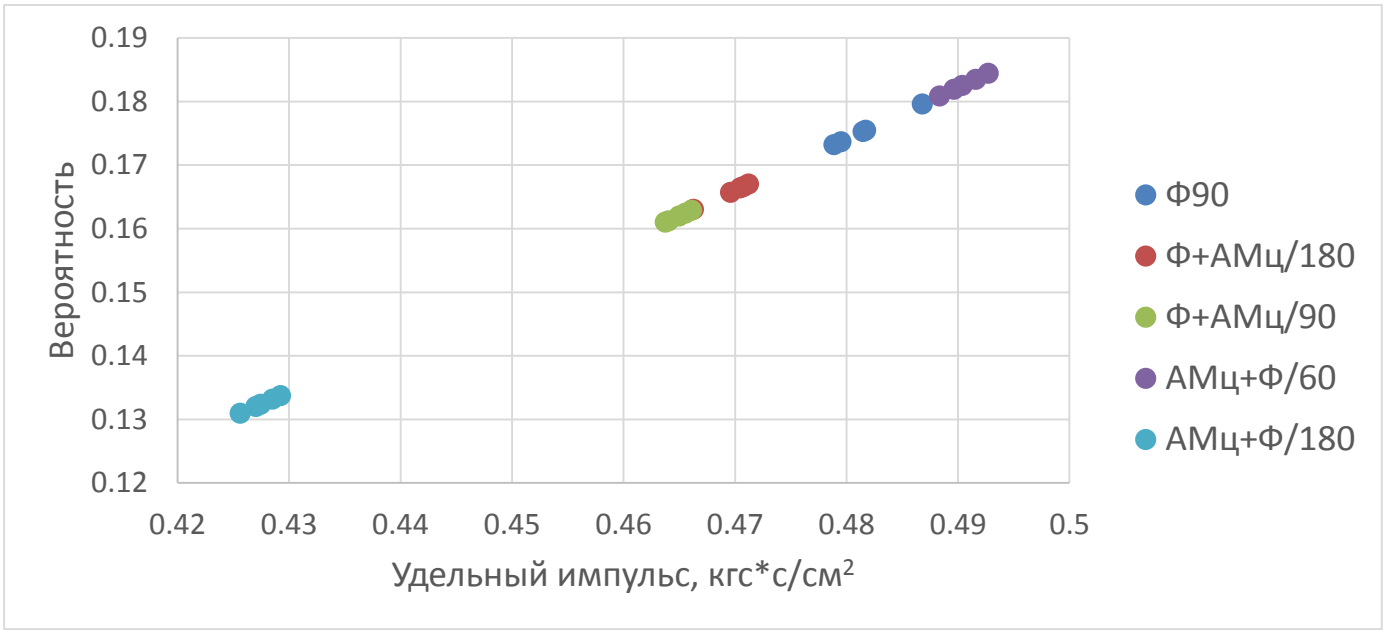


Рисунок 4. Зависимость вероятности воспламенения от удельного импульса.

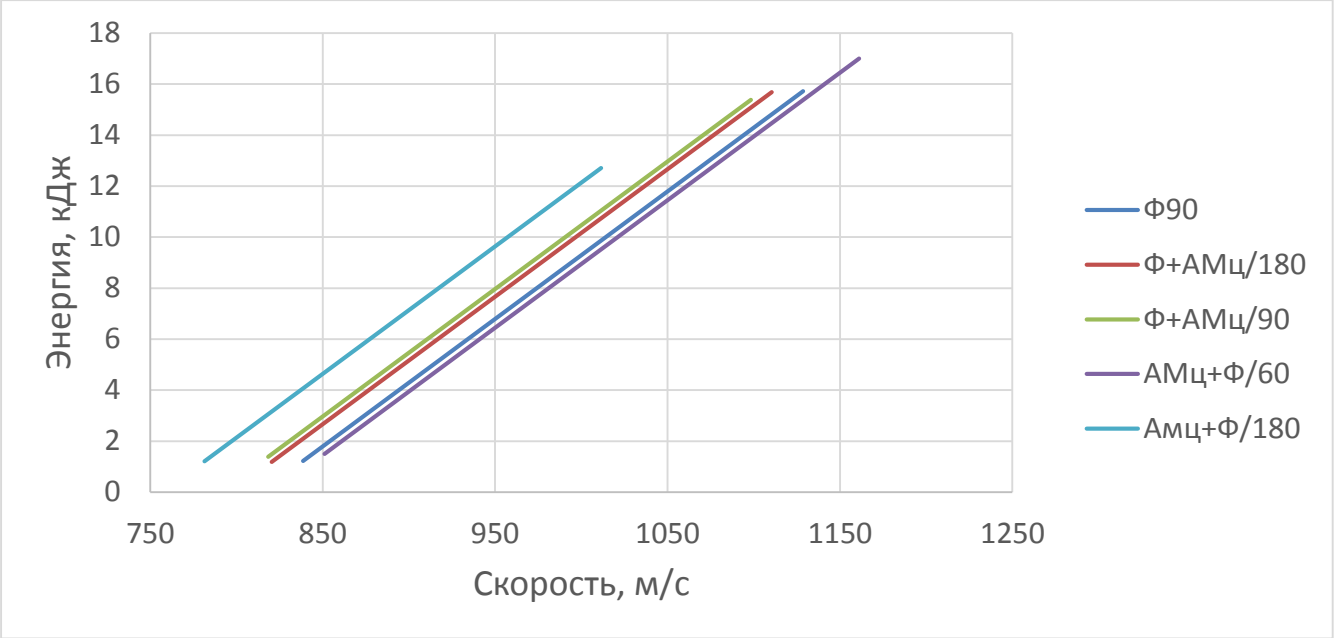


Рисунок 5. Зависимость общей энергии ударника от скоростей взаимодействия.

Проанализировав полученные графики по данным экспериментов отметим, что с увеличением скорости взаимодействия ударника и преграды - увеличиваются кинетическая энергия и удельный импульс поражающего элемента соответственно. Эти факторы прямо влияют на рост процента вероятности зажжения в запреградном пространстве. Если, кроме кинетической энергии ударника, учесть еще и химическую (в результате термоокислительной реакции ПТФЭ и АМц), то можно наблюдать увеличение вероятности образования пламени за преградой.

Таким образом, использование ударников, содержащих фторполимерные материалы для поражения масло- и топливопроводной систем авиационной техники, является эффективным методом, за счет увеличения поражающей способности боеприпасов зажигательным эффектом.

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. Khmelnikov, E.A.; Smagin, K.V.; Zavodova, T.E.; Application of the Methodology "Counterflow Diffusion Flames" in Modeling of the Terminal Ballistic Processes of Munitions Based on Reactionary Material. Proceedings 11th International High Energy Materials Conference & Exhibits. Vol. 1.Pune: High Energy Materials Society of India, 2017. P. 270-276. T. 1.

4. Tsuji, Hiroshi; Counterflow diffusion flames. Progress in Energy and Combustion Science. Volume 8, Issue 2. – 1982. Pp. 93-119
DOI: 10.1016/0360-1285(82)90015-6
5. Е.А. Хмельников, К.В. Смагин, Чванов А.Е., К вопросу о поражающем действии боеприпасов, содержащих реакционные материалы. Фундаментальные основы баллистического проектирования: VI Всероссийская научно-техническая конференция. Санкт-Петербург, 5-10 июня 2018 г. Балт. гос. техн. ун-т. – СПб, 2018, С. 239-243

USING OF FLUOROPOLYMER MATERIALS TO DEFEAT LIGHTLY ARMORED AND VULNERABLE TARGETS

***Semen Sergeyevich Ilin*[1],**student, e-mail semen.ilin.97@mail.ru
***KhmelnikovEvgeny Aleksandrovich*[1],** doctor of technical Sciences, head of Department of Special engineering, e-mail khmelnikov7@gmail.com
***Smagin Konstantin Vladimirovich*[1]**, Assistant, e-mail smaginkv@gmail.com
***Zavodova Tatiana Evgenievna*[1]**, Senior Lecturer, e-mail tanushka-zavodova@yandex.ru

Annotation: The article deals with the problems of destruction of lightly armored, lightly vulnerable aircraft. The specific impulse and total energy expended on the defeat of the aircraft fuel supply system was calculated.
Keywords*:* fluoropolymer, aircraft, striking action.

УДК623.4

РОЛЬ РАЗВИТИЯ АРТИЛЛЕРИИ В НАУКЕ

Квашнёв Александр Андреевич, студент; Егоров Роман Игоревич, сутдент;
Милевский Константин Евгеньевич, к.т.н., доцент;
Гуськов Анатолий Васильевич, д.т.н., проффесор.
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Квашнёв А.А., email brasuni607@mail.ru

Егоров Р. И., email egorov.2015@stud.nstu.ru

Милевский К.Е., email milevskij@corp.nstu.ru

Гуськов А.В., email a.guskov@corp.nstu.ru

Аннотация.

В данной статье рассматривается вопрос проблемы связи технологии и науки на примере истории развития артиллерии. Решения вопроса состоит из приведения различных примеров проблем в истории артиллерии и путей их решения, найденных учёными того времени, а также рассматривается, что в той или иной ситуации было первостепенно, наука или технология. Приводятся такие примеры, как вопрос о горении пороха, вычисление траектории полёта снаряда, вопрос о сопротивлении и обтекании воздуха, а также проблема составления таблиц стрельб, основанных на теории вероятности и математической статистике. После рассмотрения данных в статье примеров сделан вывод, что первостепенным всё же является технологическое развитие артиллерии, именно оно на протяжении веков подталкивало многих учёных в их научных изысканиях.

Ключевые слова: Технологии, наука, сопротивление воздуха, баллистика, артиллерия, открытия, история.

Ещё со времён эпохи Возрождения в философии техники остро стоит вопрос проблемы связи технологии и науки. Особенную актуальность этот вопрос приобрёл сейчас в эру глобальных научно-технологических преобразований, в период становления постиндустриализационных технологий. Вопрос состоит в следующем: являются ли научные открытия первостепенными в плане появления новых технологий или напротив, появление новых технологий подталкивает развитие науки. Это касается всех отраслей технологических изысканий, в том числе и артиллерии. Так что же первостепенно: наука или технология? В этой статье, на примере развития артиллерийского вооружения, мы и будем пытаться ответить на этот вопрос.

В истории первые упоминания об артиллерии датируются XIII-XIV веками. Согласно арабским рукописям, первое огнестрельное оружие было применено в

1200 году арагонцами против флота Анжу. Однако историки считают, что военные того времени до конца не понимали механизм работы огнестрельного оружия. Лишь в XVII веке французский естествоиспытатель и основатель современной химии Антуан Лоран Лавуазье и британский физик и химик Генри Кавендиш разработали и научно обосновали теорию горения веществ, собрав выделяющийся при горении газ и классифицировав его как водород [1], [2]. Впоследствии, эти знания дали крепкую базу для изучения вопросов горения пороха. Таким образом, уже в середине XIX века Митчель, Дюфур и Сен-Робер проводят опыты о сжигании пороховых трубок при различном давлении, что позволяет им вычислить прямую зависимость между давлением окружающей среды и скоростью горения пороха и созданию такого понятия как «давление форсирования» [3]. Исходя из этого примера, мы можем сделать вывод, что, в этой ситуации, именно необходимость объяснения принципа работы артиллерийских орудий и нужда в их модернизации привела к научным открытиям, связанным с горением не только порохов, но и любых других веществ. Таким образом, в этом случае, именно технология оказалась первостепенной.

В XVI веке огнестрельная артиллерия прочно вошла в состав вооружения армий. Артиллерийская практика настоятельно требовала разработки надежных и простых методов составления таблиц стрельбы, уточнения некоторых эмпирических правил. Становление внешней баллистики как отдельной науки прочно связано с именем итальянского учёного Тартилья, опубликовавшего в 1537 году труд под названием новая наука. Исследуя теории траекторий, предложенных ещё античными учёными, Тартилья сумел первым установить пропорцию, связывающую дальность полёта с начальным углом вылета снаряда. Эта пропорция позволила существенно сократить количество опытных стрельб, необходимых для составления таблиц стрельбы. Сам же Тартилья утверждал, что необходим только один выстрел по углом в 45 градусов, но тогда он ещё не знал о рассеивании снарядов. Впоследствии, Галилей разложил движение снаряда на равномерное горизонтальное и равноускоренное вертикальное, чем и смог доказать, что траекторией является парабола. Таким образом, технологии снова подтолкнули развитие артиллерии [4].

Имея знания о зависимости угла вылета снаряда с его дальностью, артиллеристы смогли составить более точные таблицы стрельб, но всё ещё имеющие огромные погрешности. Без опытов было невозможно даже приблизительно спрогнозировать поведения снаряда в воздухе, высоту и максимальную дальность его траектории. К этому времени науке уже была известна природа воздуха, они рассматривали его как совокупность равномерно распределённых и не связанных между собой частиц. И многие учёные XVI-XVII веков занимались вопросом сопротивления воздуха, в том числе Декарт и Гюйгенс. Но окончательная постановка задачи принадлежит Исааку Ньютону. В своих трудах он утверждал, что, при ударе о поверхность снаряда, частицы воздуха получают некую кинетическую энергию, что затормаживает движение

снаряда. Применив уравнения количества движения и сохранения кинетической энергии, Ньютон установил, что сопротивление воздуха пропорционально квадрату скорости движения тела, площади его поперечного сечения и плотности воздуха. Сейчас известно, что квадратичный закон сопротивления справедлив для дозвуковых скоростей. Также, в конце XVII века, Исаак Ньютон предложил, что давление, действующее на обтекаемый объект при сверхзвуковом движении, зависит только от угла наклона поверхности тела к вектору скорости набегающего потока [5]. Впоследствии это привело к созданию снарядов оживальной формы (рис.1), как идеально обтекаемых снарядов при скоростях превышающих скорость звука. И в этом примере можно отметить, что именно необходимость развития артиллерии привело к развитию науки.

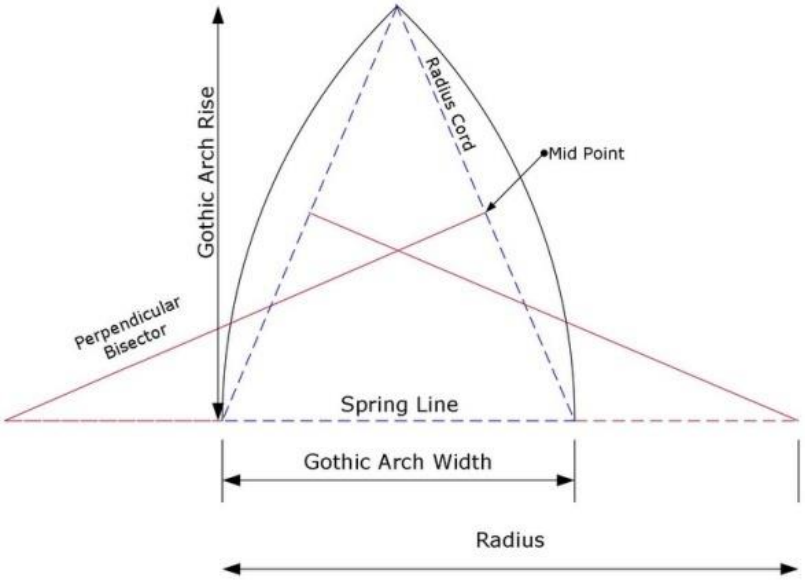


Рисунок 1 – Оживальная форма.

В Германии XV века оружейники впервые начали использовать вращение, как способ стабилизации снаряда на траектории. Тем самым они получили технологию, которая повышала эффективность их стрелкового вооружения в несколько раз, но они абсолютно не представляли, как это работает с точки зрения физики. Лишь в 1852 году Жан Фуко в своём докладе во Французской академии наук об экспериментальном обнаружении вращении земли ввёл такое понятие как гироскоп и описал его действие. Гироскоп – тело, которое способно сохранять направление и ориентацию своего вращения при изменении положения его оси [6]. Только после этого оружейные мастера стали осознанно использовать стабилизацию снаряда вращением, учитывая зависимость массы от необходимой частоты вращения, что позволило многократно увеличить точность стрельбы.

По итогу в XVIII веке артиллеристы знали о зависимости дальности траектории от угла бросания, знали о законе сопротивления воздуха, а также в XIX веке стали осознанно и целенаправленно стабилизировать снаряды вращением. Совокупность этих знаний позволяла им составлять достаточно точные таблицы стрельб, основываясь на большом количестве испытаний. Но даже эти знания не позволяли спрогнозировать рассеивание снарядов. Но в 1809

году Карл Фридрих Гаусс, постоянно занимавшийся астрономическими вычислениями, разработал вероятностную методику работы с измерениями, содержащими погрешности (1809). Он глубоко изучил нормальное распределение, показал, что оно во многих практических ситуациях является предельным для случайных значений, обосновал применение метода наименьших квадратов для оценки измеряемого значения и параметров его возможного диапазона разброса. Окончательную версию теории Гаусс изложил в двух трудах «Теория комбинации наблюдений, подверженных случайным ошибкам»[7]. Выстрел и его результативность зависят от множества параметров, начиная от давления пороховых газов и длиной канала ствола и заканчивая погодными условиями, всё это делает выстрел абсолютно случайным событием, а значит, он подчиняется закону о нормальном распределении. Но и этого не хватало, для достаточно точного прогнозирования. И лишь в 1926 году французский математик Дейтейль выпускает математическую брошюру «Геометрические вероятности», в которой описывает принцип геометрического метода нахождения вероятности. Для геометрического метода полагают, что есть определённая область G, а в ней область A, и на G случайно бросается точка. Событие A – попадание точки в область A [8]. И вот уже совокупность двух этих принципов распределения вероятностей, а также многочисленные опыты артиллеристов позволили определить положение средней точки падения и эллипса рассеивания (рис.2). По сути своей, средняя точка падения является совокупностью математических ожиданий выстрела по двум координатам, а эллипс рассеивания – определяется по закону нормального распределения Гаусса. Таким образом, были созданы таблицы стрельб современного образца. На этом примере нельзя точно определить, что было первостепенно, наука или технология, ведь Гаусс занимался своей теорией распределения случайных величин не ради артиллерии, но ради определения погрешностей, которые были вызваны другими технологиями.

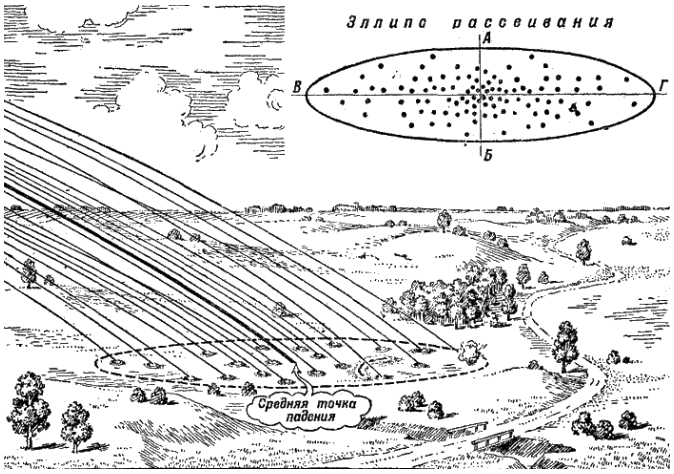


Рисунок 2 – Эллипс рассеивания.

Рассмотрев вопрос о «зависимости» науки от технологии на примере истории развития артиллерийских систем, можно сделать однозначный вывод, что

появление новых технологий, полученных опытным путём, подталкивает науку к рассмотрению и описанию научных аспектов этого изобретения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brush, Stephen G.; Holton, Gerald James. Physics, the human adventure: from Copernicus to Einstein and beyond. — New Brunswick, N.J : Rutgers University Press, 2001. — P. 137.
2. Guerlac, Henry. Antoine-Laurent Lavoisier — Chemist and Revolutionary. — New York : Charles Scribner's Sons, 1973. — P. 130.
3. Шиллинг Н.А. Курс дымных порохов – М.: Оборонгиз. – 1940. – 280 с.
4. Балаганский И.А. Основы баллистики и аэродинамики: Учебное пособие. — Новосибирск: Изд-во Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 200 с.
5. Тихомиров В.М. Аэродинамическая задача Ньютона // Квант. — 1982. — № 5. — С. 11—18.
6. А. Верин. Опыт Фуко. — Г.Т.Т.И. — 1934. —100 с., рис., черт.
7. Королюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. — М.: Наука, 1985. — 640 с.
8. М.Кендаль, П.Моран «Геометрические вероятности» - Москва, «Наука», 1972. – 192 с.
9. Квашнёв А. А. Влияние науки на развитие артиллерии / А. А. Квашнёв, Р. И. Егоров, К. Е. Милевский // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч., Новосибирск, 3–7 дек. 2018 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 9. – С. 115–119. - 100 экз.

THE ROLE OF THE DEVELOPMENT OF ARTILLERY SCIENCE

Kvashnev Alexandr Andreevich, student; Egorov Roman Igorevich, student; Milevskiy Konstantin Evgenievich, Ph.D., associate Professor; Guskov Anatoliy Vasilievich, Dr. Tech.Sc., Professor

Novosibirsk state technical University, Russia, 630073, Novosibirsk, Karl Marx Avenue, 20.

Kvashnev A.A., email brasuni607@mail.ru

Egorov R.I., email egorov.2015@stud.nstu.ru

Milevskiy K.E., email milevskij@corp.nstu.ru

Guskov A.V., email a.guskov@corp.nstu.ru

Abstract. In this article the question of a problem of connection of technology and science on the example of history of development of artillery is considered. Solutions of a question consists of reduction of various examples of problems in the history of artillery and ways of their decision found scientists of that time and also is considered that in this or that situation was paramount, science or technology. Such examples as a question of gunpowder burning, calculation of a trajectory of flight of a shell, a question of resistance and flow of air and also a problem of drawing up tables of the firing practice based on probability theory and mathematical statistics are given. After consideration of the examples given in article the conclusion is drawn that nevertheless technological development of artillery is paramount, it throughout centuries pushed many scientists in their scientific researches.

Keywords: Technologies, science, air resistance, ballistics, artillery, discover, history.

УДК 623.5

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ НА ПОЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРЕЛОВИДНЫХ ПУЛЬ

Кислин Михаил Александрович; Герман Александр Александрович; Гуськов Анатолий Васильевич [1]; Милевский Константин Евгеньевич [1]; Шашков Виктор Иванович; Лавров Алексей Станиславович

Новосибирский механический завод АО «НМЗ «Искра», 630900, Россия, г. Новосибирск, Чекалина, 8, тел. (913)785-78-85
Новосибирский механический завод АО «НМЗ «Искра», 630900, Россия, г. Новосибирск, Чекалина, 8, тел. (913)483-54-68
[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383) 346-29-76
[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383) 346-25-65
Институт прикладной астрономии РАН, 191187, Санкт-Петербург, наб. Кутузова, 10, тел. (812) 275-11-18
Кислин М. А.,email kislin69@yandex.ru
Герман А. А., e-mail morany123@mail.ru
Гуськов А. В., email a.guskov@corp.nstu.ru
Милевский К. Е., email milevskij@corp.nstu.ru
Шашков В. И.,email vik2266.@ mail.ru
Лавров А. С.,email alexs.lavrov@yandex.ru
Адрес для корреспонденции: ***Гуськов Анатолий Васильевич,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383) 346-29-76

В работе рассмотрена зависимость начальной скорости пуль патрона с разделенным пороховым зарядом обеспечивающих бронепробиваемость и предложены различные варианты стреловидных пуль для решения оперативно служебных задач.

Ключевые слова: разделенный пороховой заряд, самозарядное ружье МР-153, эффективность пробития, поперечная нагрузка, пули стреловидного типа стабилизации.

Введение

В связи с тем, что в настоящее время проводятся Министерством обороны РФ НИР и ОКР по созданию перспективных образцов стрелкового оружия и боеприпасов к нему, осуществляются поиски путей решения повышения начальной скорости пуль стрелкового оружия (поиски начались с времен, когда появилось огнестрельное оружие, заряженное унитарным патроном и не

прекращается по сей день) поиски «оптимального армейского патрона». Была проделана определенная работа в области модернизации патронов для стрелкового оружия, опубликованная в журналах и патентах РФ.

В ходе решения поставленной задачи были разработаны уникальные конструкции высокоскоростного патрона и капсюля воспламенителя к нему представленные от ОАО «НМЗ «Искра» на соискание Государственной премии Новосибирской области, а также выполнены шаги в поиске инновационных технологий, повышающих обороноспособность государства и совершенствования стрелкового оружия для боевой экипировки военнослужащих. Применение высокоскоростного патрона с разделенным пороховым зарядом и капсюля-воспламенителя с высокой степенью безотказности малого времени срабатывания за счет новой конструкции наиболее подходит для нарезного и гладкоствольного оружия. На основании большого опыта создания мощных высокоскоростных патронов с разделенным пороховым зарядом для различных калибров огнестрельного оружия была доказана возможность повышения эффективности стрельбы.

Постановка задачи

Начальная скорость из группы десяти выстрелов ВПО-208 патронами с разделенным пороховым зарядом в среднем составила 636 м/с. Данная скорость выше скорости штатного патрона с пулей ДЭРИ на 14 %, а его кинетическая энергия соответственно превышает на 30 %. Такое увеличение скорости объясняется необходимостью решения оперативно-служебных задач, при которых требуется поражение или ранение правонарушителей, а также для принудительной остановки агрегатов и управляемой ими техники путем выведения из строя основных узлов.

Имеется опыт в проведении совместной подконтрольной эксплуатации СОБР ГУ МВД России по Новосибирской области в присутствии представителей АО «НМЗ «Искра» более мощного патрона «Тринар» (разделение порохового заряда на три части) калибра 12/70 с разрушающейся пулей, стрельба производилась из самозарядного ружья МР-153 со специальной дульной насадкой для вышибания дверного замка или петель.

В результате взаимодействия со специалистами ФКУ НПО «СТиС» МВД России были сформулированы основные требования к патрону «Тринар-БП» для карабина специального с пулей:

- патрон должен обеспечивать при стрельбе из баллистического ствола (L=500 мм) на расстоянии 50 м рассеивание $П_{100} \leq$ 10 см, а разница при этом между наименьшим и наибольшим значением скорости пуль в группе из 10 выстрелов не должна превышать 25 м/с;

-патрон должен обеспечивать безотказность и надежность механизма перезаряжания карабина специального.

Были проведены испытания по определению бронепробиваемости нового патрона «Тринар-БП» на дистанции 20 м по стальной плите (материал – Ст3) толщиной 10 мм и на дистанции 50 м – толщиной 6 мм.

В патенте на изобретение РФ № 2151369 исследовалось влияние скорости полета бронебойной пули на эффективность пробития стальной преграды. Для испытания были взяты пули типа ПБМ пистолета Макарова с сердечником из закаленной стали У 10 по технологии изложенной в патенте на изобретение РФ 2110353. Масса пули приблизительно равна 6 г. Твердость сердечника составляет 60-63 HRC. Начальные данные испытания:

Количество патронов в каждой партии – 30 шт;

Преграда выполнялась из стали Ст.3 толщиной 10 мм;

Дистанция выстрела – 10 м;

При этом известно, что скорость взаимодействия пули с преградой составляла около 500 и 600 м/с.

Результаты испытаний количества пробитий стальной преграды из Ст.3 толщиной 10 мм приведены в таблице 1.

Таблица 1

Количество пробитий стальной преграды при различных скоростях бронебойной пули ПБМ пистолета Макарова

Скорость пули, м/с	Количество пробитий преграды (в процентах)
500	11 (38%)
600	18 (60%)

Из табличных данных можно сделать вывод, что бронебойная пуля на скорости 500 м/с пробивает стальную преграду (материал – Ст.3) толщиной 10 мм с меньшей вероятностью, чем на скорости 600 м/с. Это еще раз доказывает необходимость создания высокоскоростных патронов со скоростью полета пули 600 м/с и выше.

Конструкция бронебойной пули приведена на рис. 1.

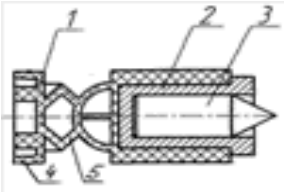


Рис. 1. Бронебойная пуля, состоящая из: пластмассового корпуса стабилизатора 1, имеющего обтюрирующую юбку 4 и амортизирующее устройство 5, бронебойного сердечника 3, размещенного с натягом в металлическом поддоне 2

Конструкция пули была предложена на полезную модель РФ №45519, относящаяся к классу стреловидных охотничьих пуль для гладкоствольного оружия поскольку стабилизируется в полете не за счет вращения вокруг своей оси как пуля пистолета Макарова, а за счет того, что центр тяжести пули находится впереди центра давления сопротивления воздуха движению пули на траектории. Масса такой пули составляет 27 г. В состав пули входит стальной сердечник массой 14 г с геометрическими размерами: 10,9 мм – диаметр; длина 26 мм; конусная часть с углом 60^0. Для проверки работоспособности конструкции была

изготовлена партия пуль и снаряжены в патрон с разделенным пороховым зарядом.

- среднее максимальное давление пороховых газов в канале ствола 485 кгс/см^2;
- средняя скорость пули на расстоянии 10 м от дульного среза равна 490 м/с;
- поперечник рассеивания пуль на дистанции 35 м составляет 15 см.

Экспериментально было установлено, что пуля пробивает плиту толщиной 10 мм на расстоянии 20 м от дульного среза, что на то время не обеспечивалось ни одной из пуль для гладкоствольного оружия.

Недостатком такого патрона является низкая начальная скорость бронебойной пули и высокая величина рассеивания пуль при стрельбе. Конструкция пули является калиберной, поэтому она имеет малую величину поперечной нагрузки – 10 г/см^2, которая уступает значениям поперечных нагрузок подкалиберных пуль. Подкалиберные пули и снаряды из-за своей высокой поперечной нагрузки гораздо дольше сохраняют начальную скорость на больших расстояниях по баллистической траектории.

По мере накопления опыта создавались новые образцы пуль для применения их с разделенным пороховым зарядом. На рис.2 представлены некоторые из них.

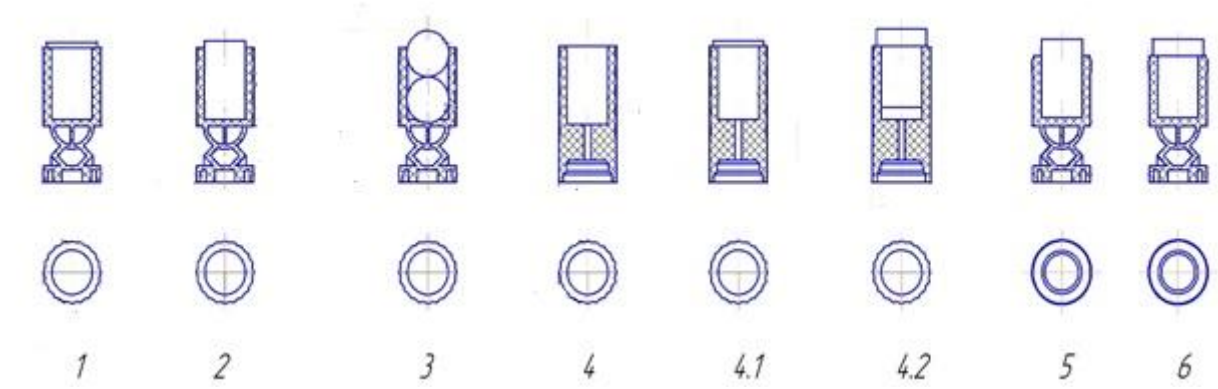


Рис.2 Различные варианты конструкций пуль для патрона «Трина-БП»

В 2013 году в патенте на изобретение РФ №2537016 была предложена перспективная конструкция пули для гладкоствольного оружия на основе конструкции пули Совестра Франция представленной на рис.3.

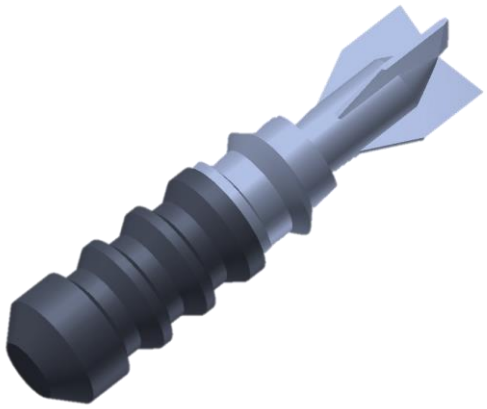


Рис. 3. Конструкция пули Совестра Франция для гладкоствольного оружия

Теоретические вопросы (формула изобретения)

Из-за отсутствия в настоящее время в России технологии массового изготовления таких пуль, обеспечивающее разумную стоимость была предложена пуля подкалиберная стрелочного типа стабилизации.

Пуля содержит монолитную головную часть радиусной, либо конусной, либо плоско-торцевой формы, изготовленной из пластичного свинцового сплава, с цилиндрическим хвостовиком, и хвостовой частью с оперением, предназначенных для образования единого осесимметричного аэродинамического тела за счет выборки зазора необходимого для схлопывания при выстреле. Неотъемлемой частью конструкции является пыж-обтюратор с обтюрирующей юбкой, имеющий глухое отверстие для надежного размещения в нем оперения хвостовой части. Также в состав пули входят центрирующие элементы. На рисунке 3 изображен сборочный чертеж пули Шквал.

Пуля выполнена в виде капли, имеющей оптимальную аэродинамическую форму и длиной порядка 2,0-3,5 диаметра канала ствола. На цилиндрической поверхности хвостовика головной части на расстоянии α (примерно, 4 мм) от торца имеется уступ высотой (0,1-0,2) мм служащий для повышения прочности, созданного амортизирующим зазором во время выстрела.

Наружная поверхность головной части пули выполнена гладкой, а ее диаметр составляет (0,7-0,82) диаметра ствола гладкоствольного оружия из которого она выстреливается. Хвостовая опорно-стабилизирующая часть состоит из цилиндра сопряжения с хвостовиком пули, имеющим пустотелый конус обтекатель, снаружи его расположены под углом $6\text{-}10^0$ к продольной оси лопасти оперения стабилизатора в количестве не менее шести и длиной около 0,8 диаметра канала ствола. На внутренней поверхности цилиндра сопряжения на некоторой глубине α (составляет 4 мм) имеется уступ высотой (0,1-0,2) мм для создания амортизирующего зазора и выборки данного зазора с повышением прочности соединения во время выстрела.

Размах оперения хвостовика занимает (0,7-0,82) диаметра канала ствола гладкоствольного оружия из которого оно выстреливается.

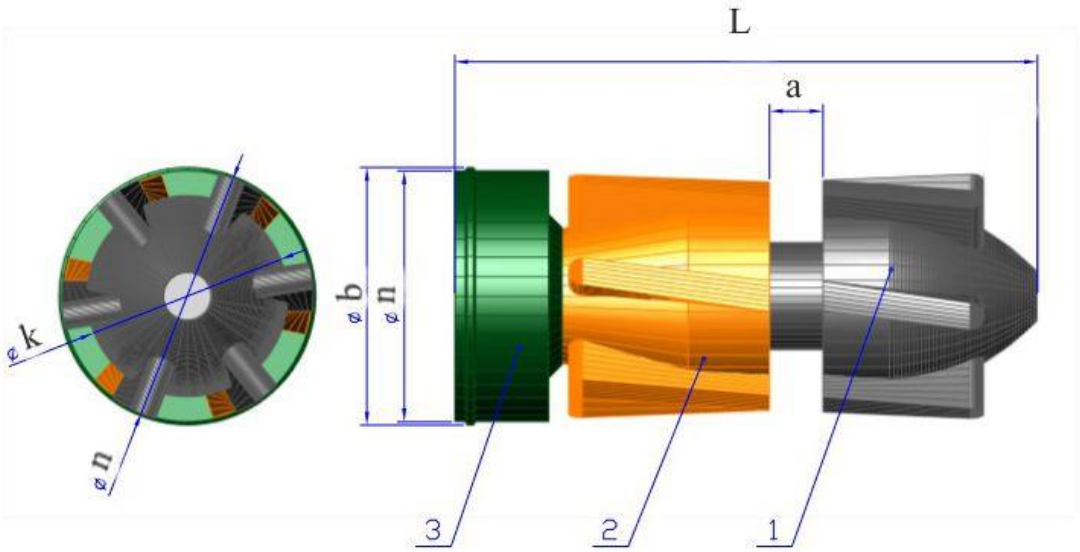


Рис.3 Сборочный чертеж пули Шквал

На рис.4 представлен чертеж головной части пули.

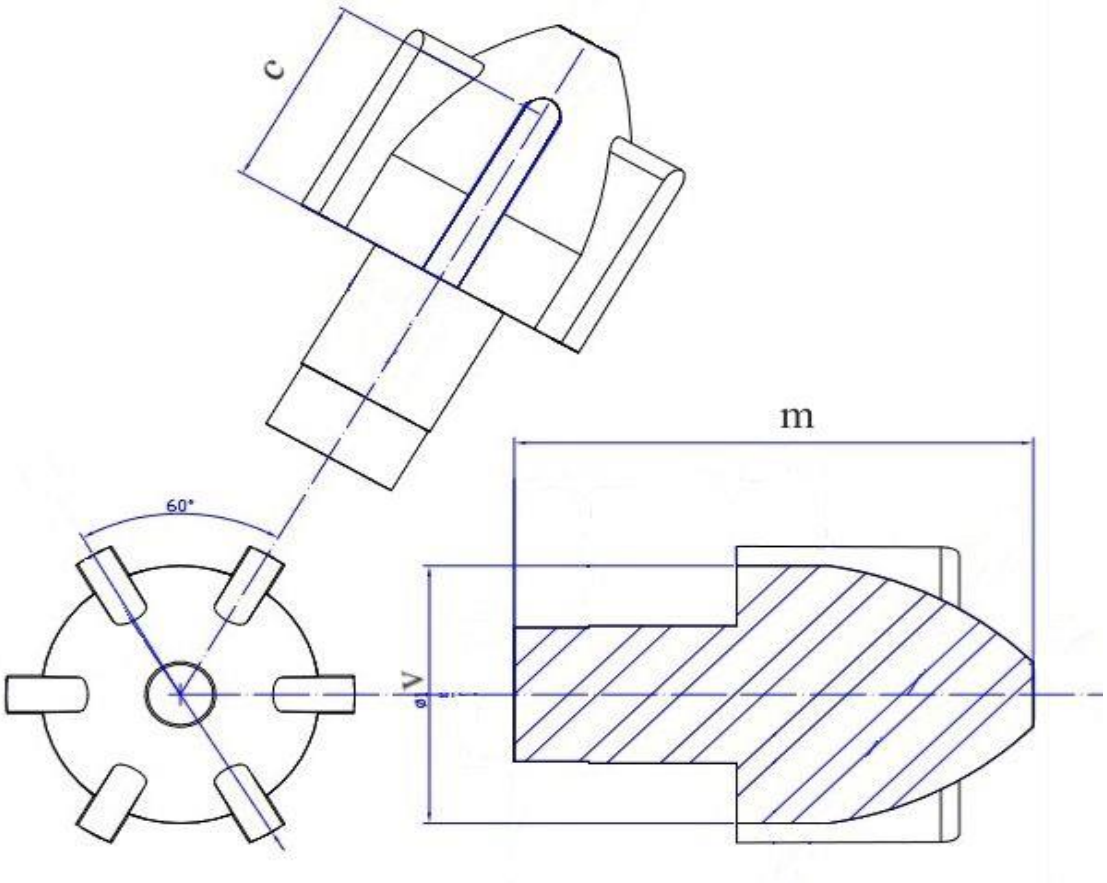


Рис. 4 Головная часть пули

Хвостовая опорно-направляющая стабилизирующая часть на противоположном конце имеет цилиндрический выступ и конусные и цилиндрические комплиментарные поверхности для состыковки пули с пыжом-обтюратором с усилием сборки (3-6) кг.

Центрирующие элементы, охватывающие пулю соединены с пыжом-обтюратором через кольцо малой прочности, которое при закатке срезается усилием не более 15 кг. При изготовлении используется специальная прессформа, позволяющая отлить единым телом.

Охватывающие центрирующие элементы пулю имеют в районе ребер оперения внутренний диаметр на 1 мм больше, чем размах оперения, детали установлены с натягом, что обеспечивает прочность и жесткость соединения.

Вывод

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

-при повешении скорости в патронах с разделенным пороховым зарядом «Тринр» заметно улучшается настильность траектории, кучность и бронепробиваемость;

-изучение влияния скорости на внешнюю баллистику и полетные характеристики стоит изучить углубленно с помощью программного комплекса FlowVision;

-моделирование и конструирование новых образцов пуль с применением высокоскоростного патрона «Тринар» позволит решать широкий спектр задач для различных служб, а также использовать достижения в охотничьем промысле.

Список литературы

1. Власов В.М., Королев В.М., Соломин Н.П., Токмаков В.С. Бронебойная пуля и способ изготовления бронебойных сердечников, патент на изобретения RU 2151369, 02.04.1999.

2. Кислин М.А., Зыков В.А. Пулевой патрон для гладкоствольных ружей, патент на изобретение RU 2537016, 13.06.2013.

3. Вандакуров А.Н., Гуськов А.В., Кислин М.А., Милевский К.Е., Шальнев В.А. Разработка высокоскоростного патрона «Тринар» по схеме разделенного порохового заряда с разрушающейся пулей. Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. - 2016. - № 3 (6). - С. 35-38. - (Серия 1: Наука и военная безопасность).

4. Кислин М.А., Пеньков В.А., Гольдинштейн З.М. Бронебойная пуля для гладкоствольного оружия, патент на полезную модель RU 45519, 15.10.2004.

5. Андреев В. В., Гуськов А. В., К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева. Теория горения и взрыва: высокоэнергетические материалы : учеб. пособие /. - Москва : Юрайт, 2017. - 323 с.

6. 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. - 50 экз.

7. Гуськов А. В. Перспективы и пути развития бронебойных оперенных подкалиберных снарядов = Prospects and ways of development armour-piercing discarding sabot / А. В. Гуськов, Д. В. Гынгазов, К. Е. Милевский // Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов : материалы докл. 17 Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Тула, 20 апр. 2018 г. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2018. – С. 51–56. - 100 экз.

STUDYING THE EFFECT OF PRIMARY SPEED ON THE FLIGHT CHARACTERISTICS OF ARROW-SHEETS

Kislin Mihail Alexandrovich, German Alexander Alexandrovich,Guskov Anatolii Vasilievich [1], Milevskii Konstantin Evgenievich [1], Shashkov Victor Ivanovich, Lavrov Alexei Stanislavovich.

Novosibirsk Mechanical Plant JSC «NMZ «Iskra», 630900, Russia, Novosibirsk, Chekalina st, 8, tel. (913)785-78-85
Novosibirsk Mechanical Plant JSC «NMZ «Iskra», 630900, Russia, Novosibirsk, Chekalina st, 8, tel. (913)483-54-68
[1] Novosibirsk state technical University, Russia, 630073, Novosibirsk, Karl Marx Avenue, 20, tel. (383) 346-29-76
[1] Novosibirsk state technical University, Russia, 630073, Novosibirsk, Karl Marx Avenue, 20, tel. (383) 346-25-65
Institute of Applied Astronomy RAS, 191187, St. Peterburg, Kutuzova emb., 10, tel. (812) 275-11-18
Kislin M. A.,email kislin69@yandex.ru
German A. A., e-mail morany123@mail.ru
Guskov A. V., email a.guskov@corp.nstu.ru
Milevskii K. E., email milevskij@corp.nstu.ru
Shashkov V. I.,email vik2266.@ mail.ru
Lavrov A. S.,email alexs.lavrov@yandex.ru

Annotation.

In the work, the dependence of the initial velocity of the bullets of a cartridge with a divided powder charge providing armor penetration is considered and various versions of arrow-shaped bullets are proposed for solving operational tasks promptly.

Keywords:
divided powder charge, self-loading rifle MR-153, penetration efficiency, lateral load, arrow-shaped stabilization bullets.

© М. А. Кислин, А. А. Герман, А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, В. И. Шашков, А. С. Лавров, 2019

УДК 662.43

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ БЕЗЫНИЦИАТОРНОГО КАПСЮЛЯ-ДЕТОНАТОРА ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИНИЦИИРОВАНИЕМ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТРУБКОЙ

Кожевников Евгений Александрович, ст. преподаватель;
Гидаспов Александр Александрович,д.х.н., профессор;
Янзин Семен Александрович, аспирант;
Игошин Дмитрий Станиславович, студент

Самарский государственный технический университет, 443100, Россия,
г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. (846)337-08-89
Кожевников Е.А., e-mail: evil_chemist@mail.ru
Гидаспов А.А., e-mail: xtosa_samgtu@mail.ru
Янзин С.А., e-mail: semenyanzin@outlook.com
Игошин Д.С., e-mail: xtosa_samgtu@mail.ru
Адрес для корреспонденции: ***Кожевников Евгений Александрович,***
Самарский государственный технический университет, 443100, Россия,
г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. (846)337-08-89

Аннотация: Проведено экспериментальное определение времени срабатывания капсюля-детонатора повышенной безопасности (КД-ПБ), с ударно-волновой трубкой, не содержащего инициирующих взрывчатых веществ. Исследования проведены по методике с использованием двух ионизационных датчиков, датчика детонации в виде провода в лаковой изоляции и двухлучевого запоминающего осциллографа. Одновременно контролировался диаметр пробития продуктами детонации КД-ПБ свинцовой пластины. Показано, что капсюль-детонатор повышенной безопасности по времени срабатывания соответствует требованиям ГОСТ 9089-75.

Ключевые слова: капсюль-детонатор повышенной безопасности, ударно-волновая трубка, время срабатывания, ионизационный датчик.

Введение

На кафедре ХТОСА ФГБОУ ВО «СамГТУ» разработана конструкция электродетонатора повышенной безопасности (ЭД-ПБ), не содержащая инициирующих взрывчатых веществ (ИВВ) [1-3].

В настоящее время предложена и всесторонне изучается конструкция капсюля-детонатора повышенной безопасности (КД-ПБ) без ИВВ с инициированием ударно-волновой трубкой (УВТ), приведенная на рис.2 [4]. В настоящей статье рассматривается экспериментальное определение времени срабатывания КД-ПБ.

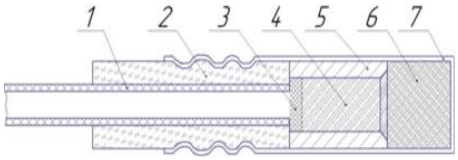


Рис.2. Конструкция КД-ПБ с УВТ: 1 – УВТ, 2 – резиновая уплотнительная втулка, 3 – узел зажигания, 4 – ТЭН в МЦО, 5 – МЦО, 6 – основной заряд гексогена (RDX), 7 – гильза

Методика экспериментального исследования

Измерение времени срабатывания КД-ПБ проводилось по методике, описанной в [5]. Испытания проводились в подрывной кабине с УВТ, изготовленной ЗАО «ВСИ», г. Чапаевск. Для измерения времени применялся двухканальный цифровой осциллограф (GDS-840C), который позволяет с высокой точностью (± 5 мкс) проводить измерения времени от момента срабатывания датчиков.

Сигналы на осциллограф поступали от 3 датчиков. Первый датчик Д1 включал осциллограф, второй датчик Д2 измерял время прохождения детонации по УВТ в отрезке 1 метр и третий датчик Д3 фиксировал момент завершения детонации в КД-ПБ. Первые два датчика Д1 и Д2 устанавливались в УВТ. Д1 и Д2 представляют собой устройства одинаковой конструкции, которая состоит из двух стальных игл диаметра 0.4 мм и длиной 30 мм с припаянным к тупым сторонам одиночными изолированными проводами для соединения с узлом питания и обработки сигналов от датчиков (УП). Третий датчик представлял собой тонкий провод диаметром 0,4 мм, покрытый лаковой изоляцией.

Одновременно с изменением времени контролировался диаметр пробития свинцовой пластины, который составлял $d_{отв}$ = 14 ±0,2 мм, а также характер разрушения МЦО – дробление части МЦО (около 10 мм) на мелкие фрагменты [2].

Принцип работы схемы для измерения времени заключается в следующем. Стартовое устройство с помощью капсюля «Жевело» возбуждает детонационный процесс в УВТ. Через 2,5 м детонация в канале УВТ приобретает стационарный характер, поэтому можно проводить измерение времени ($\tau 1$) прохождения детонации в УВТ длиной 1м. Датчики Д1 и Д2 срабатывают за счёт замыкания продуктами детонации ионизационного промежутка между иглами. Далее детонация распространяется по УВТ длинной 1 м ($\tau 2$ – время прохождения детонации). Детонационный импульс от УВТ возбуждает горение ТЭНа в МЦО и его переход в детонацию, возбуждающую детонацию основного заряда КД-ПБ. Датчик Д3 от действия продуктов детонации КД-ПБ замыкается на пластину и заземление за счёт разрушения лаковой изоляции на нём, при этом отключается осциллограф и происходит пробитие свинцовой пластины. Искомым является $\tau 3$ – время прохождения всех процессов в КД-ПБ.

Сигналы от датчиков поступают на входы УП, преобразовываясь с помощью триггерного преобразователя в сигнал ступенчатой формы с определенной амплитудой напряжения питания и подаются на входы в осциллограф. Одновременно, сигнал от датчика Д1 запускает однократную развертку осциллографа, запуская на экране отсчет времени. При срабатывании датчика Д2,

когда фронт детонации в УВТ прошел отрезок в 1м, сигнал в виде ступени записывается в канале 1. При срабатывании датчика Д3, сигнал в виде ступени записывается в канале 2.
На рисунке 3 представлена поясняющая схема измерения времени срабатывания КД-ПБ с УВТ.

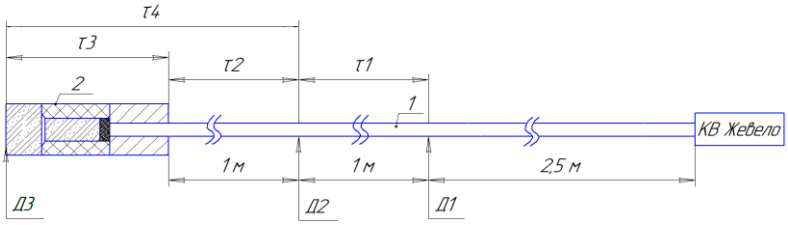


Рисунок 3 – Принципиальная схема измерения времени срабатывания КД-ПБ с УВТ:
Д1,Д2,Д3 – места расположения ионизационных датчиков Д1,Д2,Д3; 1 – УВТ, 2 – КД-ПБ.

Результаты и обсуждение.
Таким образом, в ходе эксперимента фиксируется время τ1 и τ4. Время τ4= τ2 + τ3, но время τ2 = τ1, так как это время прохождения детонации по УВТ одинаковой длины в 1 м. Это позволяет найти искомое время τ3:
τ3 = τ4 - τ2 = τ4 - τ1
Результаты экспериментов и расчётов представлены в таблице.

Результаты измерений и расчётов времени срабатывания КД-ПБ с УВТ.

№ п/п	τ1= τ2, мкс	τ4, мкс	τ3 мс	Примечание
				Свинцовая пластина пробита, $D_{отв}$=14±0,2 мм; часть МЦО (~10 мм) раздроблена на фрагменты
				То же
Ср. Знач.				

Следует отметить, что полученное время τ3 = 1,296 мс = 1296 мкс представляет собой время срабатывания МЦО, так как по данным работы [6] время срабатывания основного заряда RDX в КД составляет 2-3 мкс.

Заключение

В конструкции ЭД мгновенного действия по ГОСТ 9089-75[7] имеется электровоспламенитель, требующий времени на свое срабатывание. Поэтому в ГОСТ регламентируется время срабатывания ЭД – не более 6 мс. В конструкции КД-ПБ имеется МЦО, в которой осуществляется процесс перехода горения ТЭНа в детонацию. Найденное время срабатывания КД-ПБ без ИВВ с УВТ соответствует требованиям ГОСТ.

Библиографический список

1. Пойлов В.В., Лаптев Н.И., Постнов С.И., Гидаспов А.А., Кожевников Е.А. Патент на полезную модель РФ № 142133. Непервичный капсюль-детонатор. Приор. 25.11.2013. Опубл. 20.06.2014, бюл.№17.

2. Kozhevnikov E.A., Gidaspov A.A., Postnov S.I., Rekshinskiy V.A. The design of high-safety electric blasting cap. Proceedings of the 15th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials (Pardubice, Czech Republic, April 18-20, 2012). P.767-772.

3. 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. Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона», НГТУ, Новосибирск, 2013. С. 253-255.

4. Янзин С.А., Игошин Д.С., Кожевников Е.А., Гидаспов А.А. Сопоставление зажигательных импульсов от ударно-волновой трубки и электровоспламенителя в капсюле-детонаторе без ИВВ. Труды XIX Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона.» (г. Новосибирск, 18-20 апреля 2018 г.). – Новосибирск: НГТУ, 2018. С. 67-69.

5. Пат. 2558419 РФ, МПК C06C7/00, F42B3/10, F42C19/10, G01P3/64. Устройство для измерения параметров срабатывания капсюля-детонатора с ударно-волновой трубкой. // В.А. Пойлов, Н.И. Лаптев, С.И. Постнов, А.А. Гидаспов, Е.А. Кожевников (РФ).- #2013151580/11. Заяв. 19.11.2013; Опубл. 27.05.2015. 5с., ил.

6. Толстых Н.Д., Павлыш Б.П. О механизме воспламенения промышленных электродетонаторов. /Физика горения и взрыва.- №4 (1968). С. 607-611.

ГОСТ 9089-75. Электродетонаторы мгновенного действия. Технические требования. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1975.

THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF NON-PRIMARY EXPLOSIVE HIGH-SAFETY SHOCK-TUBE INITIATED BLASTING CAP RESPONSE TIME

Kozhevnikov Evgeniy Alexandrovich, Senior lecturer, e-mail evil_chemist@mail.ru
Department of Chemistry and Technology of Organic Nitrogen Compounds, Samara State Technical University, 443100, Molodogvardeyskaya St., 244, Samara, Russian Federation

Gidaspov Alexander Alexandrovich, D.Sc. (Chemical), Professor, e-mail xtosa_samgtu@mail.ru
Department of Chemistry and Technology of Organic Nitrogen Compounds, Samara State Technical University, 443100, Molodogvardeyskaya St., 244, Samara, Russian Federation

Yanzin Semen Alexandrovich, Ph.D. student, e-mail semenyanzin@outlook.com
Department of Chemistry and Technology of Organic Nitrogen Compounds, Samara State Technical University, 443100, Molodogvardeyskaya St., 244, Samara, Russian Federation

Igoshin Dmitriy Stanislavovich, student, e-mail xtosa_samgtu@mail.ru
Department of Chemistry and Technology of Organic Nitrogen Compounds, Samara State Technical University, 443100, Molodogvardeyskaya St., 244, Samara, Russian Federation

Abstract: The experimental determination of non-primary explosive high-safety shock-tube initiated blasting cap response time was studied. The experiments were carried out using two ionization probes, the detonation probe in the form of varnish-insulated wire and two-ray oscilloscope. The diameter of the hole, punched in 5-mm lead plate with the blasting cap detonation products was measured at the same time. It is shown that the high-safety blasting cap fits Russian State Standard GOST 9089-75 with the response time.

Keywords: high-safety blasting cap, shock-tube, operation time, ionization probe.

УДК 662.215

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ВАКУУМИРОВАНИЕМ КАНАЛЬНЫХ ПИРОКСИЛИНОВЫХ ПОРОХОВ В МАСЛЕ

Козлов Владислав Валериевич, студент; Ганигин Сергей Юрьевич, д.т.н.; Гречухина Мария Сергеевна, аспирант; Кадигроб А.П.

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Козлов В.В., email vlad96_1996@inbox.ru
Ганигин С.Ю., email 79277229081@inbox.ru
Гречухина М.С., email mary19@mail.ru
Кадигроб А.П., email vlad96_1996@inbox.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Технология твердых химических веществ», Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация.
Исследованы свойства промышленного взрывчатого вещества получаемого из пироксилиновых порохов флегматизировных в масле вакуумом для снижения их чувствительности. Проведены эксперименты по установлению критического диаметра, полноты детонации и сравнению с гранипором-ФМ.

Ключевые слова: гранипор-ФМ, скорость детонации, критический диаметр.

Задача утилизации обычных боеприпасов в настоящее время не потеряла своей актуальности. По этой тематике ежегодно формируется гособоронзаказ, направленный на утилизацию боезапасов с истекшим гарантийным сроком хранения (ГСХ). Взрывчатые вещества (ВВ), извлеченные из боевых частей изделий, перерабатываются в промышленные ВВ, используемые в горнорудной промышленности. Методом подрыва в последние годы в России было уничтожено порядка 6 млн. тонн боеприпасов. Несмотря на эффективность, этот метод опасен и наносит вред экологической обстановке в соответствующем регионе. С 2009 года на военных складах произошло 29 пожаров, в результате которых в большинстве случаев произошла детонация боеприпасов.

Одной из задач утилизации боеприпасов с истекшим ГСХ является утилизация порохов. Наиболее эффективным методом, использующим энергетический потенциал этих веществ, является получение на их основе промышленных ВВ. Продукты переработки порохов являются высокоэффективными энергонасыщенными веществами, которые находят

применение в различных отраслях промышленности, в частности, в геотехнологии как взрывчатые вещества, в нефтедобыче как газогенерирующие и метающие составы. Безопасность и эффективность промышленных ВВ на основе пироксилиновых порохов подтверждается более чем 20-летним опытом их применения в геотехнологиях в виде гранипоров и других составов [1].

Для повышения эксплуатационной безопасности на основе пироксилиновых порохов предлагается флегматизировать их маслом в вакууме (ФМВ) и сравнить с гранипором-ФМ.

Техническая реализации технологии вакуумирования пироксилинового пороха в масле для снижения чувствительности, по сути, приводит к появлению нового взрывчатого материала (гранипор-ФМВ), для которого необходимо вновь определить параметры взрыва. Такими параметрами, характеризующими свойства ВВ являются детонационная способность, полнота и скорость детонации. К гранипору при использовании в качестве промышленного ВВ в горных разработках, предъявляют требования по детонационной способности, о которой судят по величине критического диаметра детонации (КДД).

Масло, заполняющее каналы порохового элемента (ПЭ) в новом веществе является химически неактивным и может считаться инертным наполнителем, в отличие, например, от водного раствора аммиачной селитры, которая распадается и окисляет продукты взрыва, выделяя при этом дополнительное тепло. В новом веществе содержание масла достигает 8% по массе. Увеличение количества масла работает так же, как и обводнение. При взрывании гранипоров в обводненных условиях плотность заряда возрастает за счет заполнения межгранульного пространства. Скорость детонации заряда повышается, что приводит к усилению бризантного действия взрыва.

Для определения критического диаметра детонации использовались заряды в картонной оболочке диаметром 60 мм. Длину зарядов брали 1000 мм. Для передачи детонации использовали боевик из аммонита 6ЖВ и прессованные шашки А-IX-1. Предварительно было установлено, что заряды в картонной оболочке диаметром 40 мм не детонировали при передаче детонации от патрона из аммонита [2].

Для оценки количества сдетонировавшего вещества и тротилового эквивалента по воздушно-ударной волне (ВУВ) измеряли избыточное давление и импульс ударной волны с помощью цифровых измерителей скорости и датчиков давления ВУВ. Оценку тротилового эквивалента выполняли по ГОСТ В 25801 – 83 (Метод определения характеристик и параметров воздушной ударной волны при взрыве боеприпаса). Расстояние, на котором устанавливали датчики были выбраны из рекомендуемого в ГОСТ В 25801–83 ряда – = 1.5 м, R_2 = 3 м, R_3 = 5 м. Радиус приборного поля R_0 в метрах выбирали исходя из массы ВВ в тротиловом эквиваленте $m_{\text{ТНТ}}$, кг:

$$R_0 = 8m_{TNT}^{1/3} = 8\cdot(2{,}8\cdot 1)^{1/3} = 13\text{м}.$$

Чувствительность датчиков выбирали по ожидаемой величине максимального избыточного давления S_1 = 0,14 мВ/кПа, S_2 = 1,4 мВ/кПа, = 2,9 мВ/кПа, S_4 = 14 мВ/кПа. Схема размещения заряда и измерительной

аппаратуры приведена на рисунке 1.

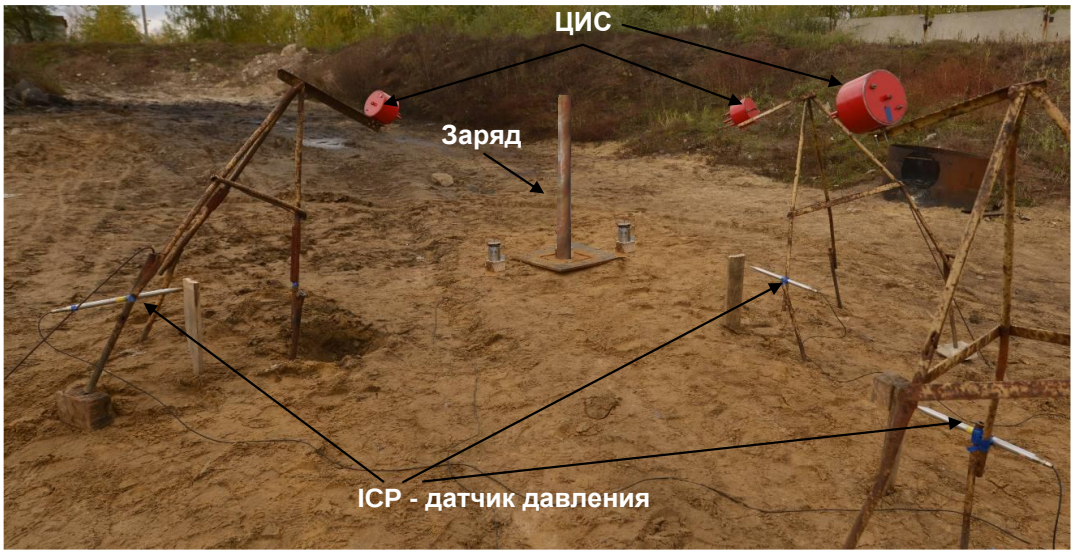


Рис. 1. Определение полноты детонации на взрывной площадке

В соответствии с ТУ на гранипор-ФМ полноту детонации определяют по ГОСТ 14839.19–69. В соответствии с этим методом гранипор-ФМ помещают в оболочку диаметром не менее 120 мм и длиной не менее 0,7 м и заливают его водой до верхней границы заряда. Выполнялись сравнительные испытания оригинального гранипора-ФМ и гранипора, флегматизированного маслом в вакууме, в соответствии с ГОСТ 14839.19 – 69 по методу Б в стальной трубе диаметром 40 мм и длиной 400 мм. Схема проведения и результаты эксперимента по определению полноты детонации приведены на рисунке 2.

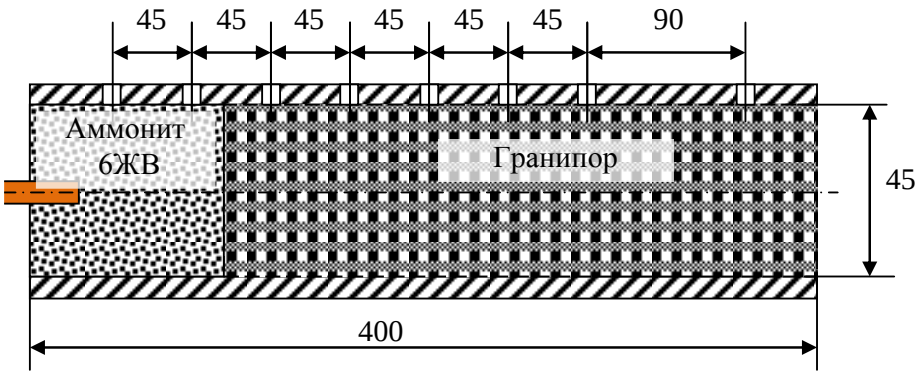


Рис. 2. Схема размещения датчиков при определении полноты детонации

В результате проведения испытаний была получена полная детонация всего заряда и не обнаруживались отдельные непрореагировавшие пороховые элементы, а стальная оболочка фрагментировалась на мелкие осколки. Также была определена средняя скорость детонации зарядов в стальной трубе: для гранипора-ФМ составила 6100 м/с, для гранипора-ФМВ – 6400 м/с. Таким образом, установлено, что скорость детонации нового вещества гранипора-ФМВ выше, чем у оригинального.

В результате полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что гранипор-ФМВ не уступает по физическим характеристикам гранипору-ФМ, а в некоторых параметрах даже превосходит его.

Библиографический список:

1. Ганигин С.Ю. Особенности применения утилизируемых порохов [Текст] / А.П. Палий, Н.А. Плохов // Труды XVIII всероссийской научно-технической конференции «Наука, промышленность, оборона». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. - С.53-56.
2. Рахманин О.С. Применение утилизированных артиллерийских порохов в качестве промышленных ВВ с учетом требований ТР ТС 028/2012 [Текст] / А.П. Палий, О.Ю. Глазунова, С.Ю. Ганигин // 44-я научно-техническая конференция «Проектирование систем». - М: МГТУ им. Баумана, 2017.

INDICATORS OF THE EFFECTIVENESS OF INDUSTRIAL EXPLOSIVES OBTAINED BY VACUUMING THE CHANNEL PYROXYLIN POWDERS IN OIL

Kozlov V. email vlad96_1996@inbox.ru
Ganigin S., email 79277229081@inbox.ru
Grechukhina M., email l mary19@mail.ru
Kadigrob A., email vlad96_1996@inbox.ru
Samara State Technical Univerrity, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100

Abstract.
The properties of industrial explosives derived from pyroxylin powders phlegmatized in oil by vacuum to reduce their sensitivity are investigated. Experiments on the determination of the critical diameter, detonation completeness and comparison with granipore-FM have been carried out.

Keywords: granipor-FM, detonation velocity, critical diameter.

УДК 536.46

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АГЛОМЕРАЦИИ АЛЮМИНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ

Корчемкина Полина Геннадьевна[1,2], студент; Глотов Олег Григорьевич[1,2], к.ф.-м.н., заведующий лабораторией

[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (999) 452-78-47
[2] Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук,
630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3
Корчемкина П. Г., e-mail Polishka25@mail.ru
Глотов О. Г., e-mail glotov@kinetics.nsc.ru
Адрес для корреспонденции: ***Корчемкина Полина Геннадьевна,***
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (999) 452-78-47

Аннотация

Экспериментально оценены возможности экспресс-методики, предназначенной для определения основных параметров агломерации металла при горении смесевых алюминизированных топлив путём отбора конденсированных продуктов горения в жидкость. На примере 11 модельных топлив показано, что измеряемые параметры заметно изменяются при вариации компонентного и гранулометрического состава топлив. Выявлено, что расчет размера агломератов по известной модели Коэна для исследованных топлив невозможен. Проведена оценка концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны, они не превышают ПДК.

Ключевые слова

Смесевое топливо; алюминий; агломерация; горение; конденсированные продукты горения (КПГ); модель «карманов» для расчета размера агломератов; установка для отбора КПГ; безопасные условия труда при работе на установке

Введение

Информация о параметрах дисперсной фазы алюминизированного топлива (в частности, об агломератах) необходима при конструировании двигателя и для расчётов внутрикамерных процессов, поэтому разработаны различные методики для экспериментальных исследований этих параметров [1–4]. Наиболее информативными оказались методики отбора, суть которых заключается в гашении частиц, их отборе и последующих анализах отобранных проб. Цели работы – оценка возможностей разрабатываемой экспресс-методики для

определения основных агломерационных параметров топлив, оценка возможностей расчёта размеров агломератов простейшими методами, оценка безопасных условий труда при работе на установке для сжигания миниатюрных образцов алюминизированного топлива.

Экспериментальная методика

Разрабатываемая методика основана на сжигании в малогабаритном сосуде высокого давления («минибомбе») исследуемого образца при заданном давлении и отборе продуктов горения в жидкость. Давление создается азотом из баллона и контролируется манометром. Под образцом устанавливается стакан с замораживающей жидкостью (дистиллированной водой). Диаметр стакана соответствует внутреннему диаметру бомбы. Расстояние от поверхности образца до поверхности жидкости устанавливается строго 2 см.

Для экспериментов использовали 12 модельных смесей. Смеси имели консистенцию пластилина. Для сжигания смеси помещали в стаканчики с размером ∅3×3 мм. Масса топлива типично составляла 0.2 г. Все эксперименты проведены при давлении 0.2 МПа. В ходе эксперимента проводили видеосъемку горения через окно бомбы. Видеосъемка позволяет определить время горения образца и по известной длине образца оценить его скорость горения. По окончании опыта стакан извлекали, отобранные частицы препарировали и исследовали следующим образом.

Суспензию из стакана процеживали через сито с размером ячеек 80 мкм. Согласно [2] частицы крупнее 80 мкм считаются агломератами. Остаток на сите высушивали при комнатной температуре и взвешивали. Высушенный остаток подвергали гранулометрическому анализу с применением оптического микроскопа и получали гистограмму распределения числа частиц по размерам. По гистограмме вычисляли средний размер D_{43} [5].

Результаты экспериментов

Основные результаты экспериментов – скорость горения r, средний размер D_{43} и безразмерная масса агломератов m_{ag}. Выявлены основные тенденции изменения скорости горения r и безразмерной массы агломератов m_{ag} при вариации состава топлив.

Расчет размеров агломератов

Размеры агломератов рассчитывали с помощью модели «карманов» Коэна [6]. Расчёты показали, что при массовой доле крупного ПХА больше 0.54 предположение о расположении частиц в вершинах кубической решетки приводит к тому, что расстояние между частицами становится отрицательным. Основная причина – использование высокоплотного связующего. Модель Коэна не может быть использована для исследованных топлив.

Оценка безопасности проведения экспериментов в лаборатории

Безопасность проведения экспериментов с минибомбой оценивали с точки зрения выделения вредных веществ [7]. Для этого были вычислены концентрации продуктов сгорания в вытяжном шкафу. Показано, что даже при выключенном моторе вытяжного шкафа концентрации вредных веществ-продуктов горения после сжигания образца не превышают предельно допустимых значений [8]. Работа на установке для отбора конденсированных продуктов горения с выпуском продуктов горения в объём вытяжного шкафа является безопасной.

Заключение

1. На основании экспериментального исследования 11 модельных топлив установлено, что результаты определения массовых и размерных параметров агломератов, полученные на малых образцах с помощью отбора остатков горения в жидкость, чувствительны к изменению компонентного и гранулометрического состава топлив, поэтому разработку экспресс-методики необходимо продолжить.

2. Выявлено, что расчет объёма карманов и размера агломератов по модели Коэна для исследованных топлив с высокоплотным связующим невозможен.

3. Показано, что работа на установке для отбора конденсированных продуктов горения с образцами массой 0.2 г в вытяжном шкафу является безопасной (концентрации вредных веществ-продуктов горения в воздухе рабочей зоны не превышают ПДК).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Price E. W., Sigman R. K., Sambamurthi J. R., Park C. J. Behavior of aluminum in solid propellant combustion. AFOSR-TR-82-0964. Georgia Institute of Technology, 1982;

2. Фролов Ю. В., Похил П. Ф., Логачев В. С. Воспламенение и горение порошкообразного алюминия в высокотемпературных газовых средах и составе гетерогенных конденсированных систем // Физика горения и взрыва, 1972, Т. 8, № 2, с. 213-236;

3. Глотов О.Г., Зырянов В.Я. Конденсированные продукты горения алюминизированных топлив. I. Методика исследования эволюции частиц дисперсной фазы, // Физика горения и взрыва, 1995, Т. 31, № 1, с. 74-80;

4. Иванов Н. Н., Иванов А. Н. Приборы и установки контактной диагностики и их использование в исследовании высокотемпературных двухфазных потоков // Физика горения и взрыва, 1991, Т. 27, № 6, с. 87-101;

5. Глотов О. Г., Зарко В. Е., Карасев В. В. Проблемы и перспективы изучения агломерации и эволюции агломератов методом отборов // Физика горения и взрыва, 2000, Т. 36, № 1, с. 161-172;

6. Коэн Н. С. Модель «карманов» для описания процесса агломерации алюминия в смесевых ракетных топливах // Аэрокосмическая техника, 1984, Т. 2, № 2, с. 67-75;
7. Забелин Л. В., Гафиятуллин Р. В., Гусева Л. Р. Экологические аспекты проблемы утилизации зарядов твердотопливных ракетных двигателей (РДТТ) // Химия в России, 1999, № 2, с. 4-7;

8. ГН 2.2.5.3532-18 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны" от 13 февраля 2018 г.

EXPERIMENTAL AND COMPUTATION STUDY OF THE ALUMINIUM AGGLOMERATION UNDER COMBUSTION OF MODEL COMPOSITE PROPELLANTS

Korchemkina Polina Gennadievna[1,2], student;
Glotov Oleg Grigorievich[1,2], head of laboratory
[1] Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Avenue, 20, Novosibirsk, 630073, Russia
[2] Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICKC SB RAS) , Institutskaya 3, Novosibirsk, 630090, Russia
Korchemkina P. G., e-mail Polishka25@mail.ru
Glotov O. G., e-mail glotov@kinetics.nsc.ru

Abstract

The possibilities has been experimentally estimated for the express-technique intended for measurements of the key parameters of metal agglomeration during combustion of composite aluminized propellant via sampling the condensed combustion products into liquid. It was shown on the basis of 11 model propellants that the measured parameters change considerably at the variation of propellant formulation and the powder components particle size. It was revealed that calculation of the size of agglomerates using known Cohen “pocket” model is impossible for the propellants under study. The concentrations of harmful substances in air of the work area were estimated. These concentrations do not exceed maximum permissible concentration (MPC).

Keywords: Composite solid propellant; aluminum; agglomeration; combustion; condensed combustion products (CCP); "pockets" model for the agglomerate size calculation; set-up for CCP sampling; safety working conditions for sampling set-up.

УДК 623.463.54

РАЗРАБОТКА КАР С ЛАЗЕРНОЙ ГСН НА БАЗЕ НАР С-13 С ПОВЫШЕННОЙ ДАЛЬНОСТЬЮ ДЕЙСТВИЯ

Егор Яковлевич Брагунцов[1], Марк Вадимович Кравец[1], Егор Алексеевич Кузнецов[1]

[1]Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск ул. Карла Маркса, 20

Аннотация:

Непрекращающиеся (и даже имеющие тенденцию к разрастанию) локальные конфликты требуют совершенствования авиационных средств поддержки пехоты - ударных вертолётов и самолётов, являющихся носителями авиационных средств поражения (АСП).

Ключевые слова:

Управляемые ракеты, авиационные средства поражения, мина, боевая эффективность

Современные носители АСП, являясь достаточно сложными и дорогими машинами, оснащены комплексами БРЭО, включающими навигационное оборудование, обзорно-прицельные станции для обнаружения и распознавания объектов, прицеливания, захвата и автосопровождения объектов по телевизионному и тепловизионному каналам, системы управления оружием. В состав БРЭО также входят теплотелевизионные автоматы с высокоскоростным цифровым интерфейсом, которые выполняют функции, связанные с интеллектуальной обработкой видеоизображений. Элементы БРЭО объединены в единые вычислительные системы, обеспечивающие возможность адаптации новых и уже имеющихся АСП. Поэтому целесообразно в полной мере использовать эти возможности для упрощения и удешевления расходуемых АСП.

Имеющиеся на вооружении управляемые ракеты высокоэффективны при поражении специализированных целей, например, танков, но не приспособлены к массовому производству и поэтому достаточно дороги при применении против многочисленных небронированных или легкобронированных целей. Неуправляемые ракеты более универсальны, могут изготавливаться в необходимых количествах, оснащены достаточно мощными БЧ, но имеют невысокую точность, что снижает их потенциально высокую эффективность.

Ввиду низкой боевой эффективности неуправляемых авиационных ракет (НАР), обусловленной высоким площадным рассеянием и расходом боеприпасов, недостаточными результативностью стрельбы по мобильным целям, недостаточной дальностью полета, в ведущих зарубежных странах реализуется ряд программ по созданию высокоточного оружия на базе НАР среднего калибра.

Компромиссное решение до сих пор не реализовано.

Концепция малогабаритной, технологичной и, следовательно, относительно дешевой, но достаточно точной системы вооружения имеет целью решить эту

задачу. Принципиально концепция не нова. В 70-х годах она получила распространение под названием “корректируемая”.

В данной работе собрана информации, показывающая возможность разработки корректируемой авиационной ракеты (КАР) с лазерной ГСН (головкой самонаведения) на базе неуправляемой авиационной ракеты (НАР) С-13 с повышенной дальностью действия путём адаптации управляемой мины (УМ) «Грань» с двигателем НАР С-13.

Разработанный таким образом КАР будет эффективно работать по широкому кругу целей, её эффективность подтверждена многочисленным опытом эксплуатации УМ «Грань» в боевых условиях. Дальность стрельбы, которая должна достигаться в результате адаптации УМ «Грань» с РДТТ НАР С-13, предположительно будет превышать 14 км.

УМ «Грань» это многоцелевое высокоточное средство поражения с осколочно-фугасной боевой частью (ОФБЧ).

В соответствии с принципом действия и системой наведения на цель мина на начальном участке траектории движется по баллистической траектории. Бортовая электронная аппаратура позволяет в заданные моменты её полёта автоматически раскрывать стабилизаторы и включать маршевый двигатель, сбрасывать носовой блок и раскрывать рули автопилотного блока.

При подлёте управляемой мины к зоне захвата цели лазерный целеуказатель дальномер (ЛЦД) автоматически включается в режим подсвета, головка самонаведения захватывает цель и начинается самонаведение.

Вследствие большой массы ВВ (5,3 кг) и углов подхода близким к 45º обеспечивается высокое поражающее воздействие на бронированные цели и фортификационные сооружения. Боевая часть является универсальной, способна поражать сверху на поле боя широкий круг целей, как бронированных, так и небронированных, находящихся как на открытых площадках, так и в укрытиях.

Сравнительный анализ зарубежных аналогов и мины «Грань» подтверждает преимущество последней по боевым возможностям, что предопределило признание этого образца оружия на международном рынке.

С учётом имеющихся характеристик РДТТ НАР С-13 и УМ «Грань» выполнена компоновка КАР С-13 с лазерной ГСН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Под ред. А.М. Московского Оружие России 2006-2007. М., 2006.

2. Тихонов С. Г. Оборонные предприятия СССР и России : в 2 т.. — М. : ТОМ, 2010. — Т. 1. — 608 с.

3. Тихонов С. Г. Оборонные предприятия СССР и России : в 2 т.. — М. : ТОМ, 2010. — Т. 2. — 608 с.

4. Лазарев Л.П. Инфракрасные и световые приборы самонаведения и наведения летательных аппаратов. Изд. 2-е. М., 1970.

5. В.К. Баклицкий. Проектирование ракетных и ствольных систем. М., 1974.

6. URL: http:// военная-энциклопедия.рф/ советская-военная энциклопедия/Г/Головки-самонаведения

7. Основы устройства и функционирования управляемых артиллерийских снарядов: учеб. пособие, издание 2-е, перераб. и доп. / В.И. Бабичев [и др.]; под ред. д-ра техн. наук, проф., акад. РАЕ В.В. Ветрова. - Тула: Изд-во ТулГУ , 2014. - 207 с.

DEVELOPMENT OF CARS WITH A LASER GOS BASED ON NAR S-13 WITH EXTENDED DISTANCE

Egor Yakovlevich Braguntsov[1], Kravets Mark Vadimovich[1], KuznetsovEgorAlekseevich[1]

[1]Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Annotation:

Continuing (and even tending to grow) local conflicts require the improvement of aviation infantry support equipment - attack helicopters and airplanes that are carriers of aviation weapons of destruction (TSA).

Keywords: guided missiles, aviation weapons, mine, combat effectiveness

УДК 623.463.54

АНАЛИЗ СПОСОБОВ МОДЕРНИЗАЦИИ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ БОЕПРИПАСОВ

Марк Вадимович Кравец, Егор Алексеевич Кузнецов

[1]Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск
ул. Карла Маркса, 20

Аннотация:

Работа посвящена анализу модернизации неуправляемых авиационных боеприпасов.

Ключевые слова:

Инерциальные системы наведения, неуправляемые авиационные средства поражения (АСП), ГЛОНАСС.

Неуправляемые авиационные боеприпасы — вид авиационных средств поражения (АСП), предназначенные для поражения наземных и воздушный целей. На сегодняшний день данный тип ракет широко применяется, как и в России так и за рубежом.

На фоне современных тенденций развития вооружения и военной техники (развитие «интеллектуальных» возможностей систем разведки, обнаружения, распознавания и наведения на цель ВТО, увеличение скорости носителей) формируется мнение о низкой боевой эффективности неуправляемых АСП.

В данной работе обосновывается предпочтение применения для повышения эффективности неуправляемых АСП способа модернизации основанного на применении инерциальных систем наведения интегрированных со спутниковой навигацией (ССН).

Инерциальная навигация — метод навигации (определения координат и параметров движения различных объектов — судов, самолётов, ракет и др.) и управления их движением, основанный на свойствах инерции тел, являющийся автономным, т. е. не требующим наличия внешних ориентиров или поступающих извне сигналов.

Инерциальные навигационные системы (ИНС) имеют в своём составе датчики линейного ускорения (акселерометры) и угловой скорости (гироскопы или пары акселерометров, измеряющих центробежное ускорение). С их помощью можно определить отклонение связанной с корпусом прибора системы координат от системы координат, связанной с Землёй, получив углы ориентации: рыскание (курс), тангаж и крен[1].

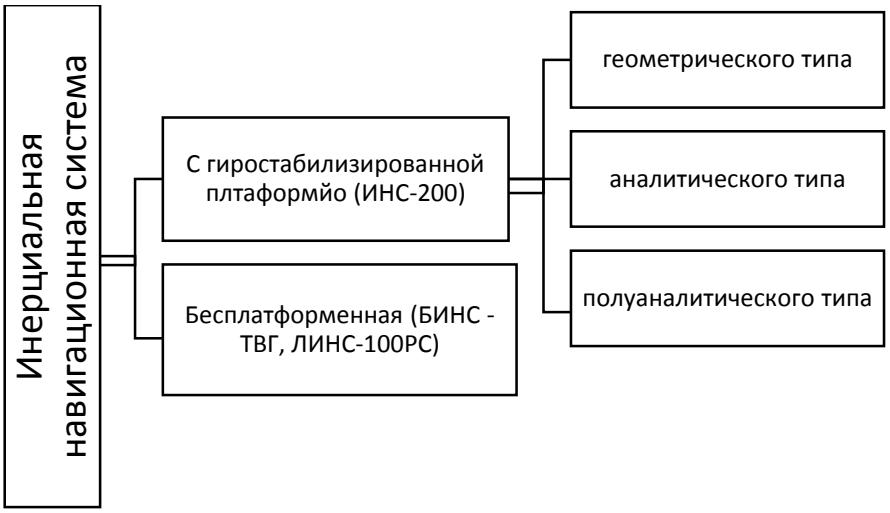


Рисунок 1.

Сущность инерциальной навигации состоит в определении ускорения объекта и его угловых скоростей с помощью установленных на движущемся объекте приборов и устройств, а по этим данным — местоположения (координат) этого объекта, его курса, скорости, пройденного пути и др., а также в определении параметров, необходимых для стабилизации объекта и автоматического управления его движением. Это осуществляется с помощью:

1. датчиков линейного ускорения (акселерометров);
2. гироскопических устройств, воспроизводящих на объекте систему отсчёта (например, с помощью гиростабилизированной платформы) и позволяющих определять углы поворота и наклона объекта, используемые для его стабилизации и управления движением.
3. вычислительных устройств (ЭВМ), которые по ускорениям (путём их интегрирования) находят скорость объекта, его координаты и др. параметры движения [3];

Преимущества методов ИНС:

- автономности,
- помехозащищённости
- широкое применение при решении проблем навигации надводных, подводных и воздушных судов, космических судов и аппаратов и других движущихся объектов [2].

Недостатки: накопление погрешностей координат.

Применение инерциальных систем наведения интегрированных со спутниковой навигацией обеспечивает определение местонахождения объекта с точностью до 8 метров, что достаточно для модернизации неуправляемых АСП.

ВЫВОД

Из приведенного анализа видно, что неуправляемые АСП за счет применения инерциальных систем наведений интегрированных с ССН можно превратить в недорогие корректируемые АСП класса "воздух – земля".

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. URL: http://www.nngasu.ru/geodesy/classification/chastnye-klassifikatsii/11_Inercialnie_sistemi.php
2. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14356
3. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Корректируемые системы М.: Наука 1967. 647 с.
4. Доросинский Л.Г., Богданов Л.А. ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.

ANALYSIS IF THE METHOD OF MODERNIZATION OF UNGUIDED AVIATION AMMUNITION

Kravets Mark Vadimovich[1], KuznetsovEgorAlekseevich[1]

[1]Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Annotation:

The work is devoted to the analysis of the modernization of unguided aviation ammunition.

Keywords: inertial aviation weapons, unmanaged aerial weapons, GLONASS.

УДК 623.46

МОДУЛЬНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Левицкий Марк Андреевич, студент; Семашко Марина Юрьевна к.т.н. доцент; Кувшинова Наталья Львовна, старший преподаватель
ФГАОУ ВО Южно-Уральский государственный университет 454080, Россия, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д, 76. Тел 267-99-00
Левицкий М. А., e.a.lev@mail.ru
Семашко М.Ю., smashkomi@susu.ru
Кувшинова Н.Л., kuvshinovanl@susu.ru
Адрес для корреспонденции: ***Левицкий Марк Андреевич,***
ФГАОУ ВО Южно-Уральский государственный университет 454080, Россия, Уральский федеральный округ, Челябинская область, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д, 76. Тел 922-758-59-34

Ключевые слова: Летательные аппараты, органы управления, газодинамика, конструктивные решения, повышенная дальность, высокоточное вооружение.

Летательные аппараты (Л.А.) для систем (РСЗО), по причине быстрого развития систем ПВО и войсковых зенитно-ракетных комплексов, способных заблаговременно отражать удары и осуществлять перехват ракет требуют постоянного совершенствования. Существенно возрастают требования к точности и боевой эффективности. В настоящее время за рубежом активно работают программы по модернизации GMLRS, ATACMS и других комплексов [1-3].

Рассмотрим управляемую унитарную ракету GMLRS (Guided MLRS) калибра 227 мм для комплекса M270 MLRS от компании Lockheed Martin – одного из ведущих разработчика вооружений для стран НАТО. Комплекс M270 был создан ещё в 80-е и представлял собой универсальную пусковую установку, способную выполнять задачи РСЗО и тактических ракетных комплексов. Данная система не раз модернизировалась и в 2005 году была выпущена M270A1, что позволило использовать новые боеприпасы в том числе управляемые с системой GPS: (GMLRS) Unitary Phase II rocket at White Sands Missile Range. Данная ракета поражает цели на дистанции до 70 км с чрезвычайно высокой точностью. В 2006 году были завершены семнадцать успешных испытательных стрельб с управляемыми РСЗО, в которых было задействовано в общей сложности 30 ракет [1-3].

GMLRS позволила уменьшить количество ракет, необходимых для поражения текущих целей на 80 процентов.

В Израиле компанией Israel Military Industries была разработана ракета Delilah (Далила), а точнее её вариация Delilah-GL. Данная модификация является

адаптацией Delilah-AR для наземных пусковых установок, что позволяет размещать их на универсальной платформе РСЗО Lynx. Эта система явилась универсальным инструментом для решения оперативно-тактических задач, особенно, учитывая возможность установки на нее различных боевых частей [4].

В силу сложившийся в мире ситуации актуальна задача существенного расширения возможностей отечественных комплексов, а в частности их снарядов. Наиболее важными параметрами модернизации являются: дальность, точность, пониженная заметность в сантиметровом диапазоне радиоволн и гибкость в применении. Следовательно, новое изделие должно иметь модульную конструкцию, быть оснащено современными комплексами управления и наведения, обладать мощным двигателем, развитыми органами управления и комплексом мер по обеспечении малой заметности, тем самым имея возможность поражать удалённые разнотипные и защищённые комплексами противоракетной обороны объекты.

Рассмотрим некоторые методы и конструктивные решения, к разработке нового боеприпаса, обладающего модульной конструкцией, большой дальностью, высокой точность, малой заметностью и хорошими маневренными возможностями. Каждая из характеристик, подлежащая модернизации, требует тщательной проработки. Рассмотрим пример конструкции, который, на наш взгляд позволит приблизится к вышеназванным требованиям.

Так, модернизация ракетной части увеличит дальность, что позволит с более безопасных позиций, поражать объекты, расположенные глубже на территории противника.

Принято решение увеличить ракетную часть примерно на 20%, изменить марку топлива, к примеру, на смесевое на основе перхлората аммония и связке поливинилизопренуретана с концевыми эпоксидными группами (ПДИ-ЗА) в соотношении 90/10 с добавлением алюминиевой пудры и выполнить щелевые вырезы в заряде [6].

Боевую часть лучше создавать отделяемой с целью уменьшения скорости снижения и лучшей стабилизации полёта. Применение наиболее подходящего типа боевой части повысит эффективность её действия, тем самым, снижая требуемый расход боеприпасов для поражения конкретной цели.

Использование новейших автоматов стабилизации, механизмов и высокоразвитых органов управления снизит влияние возмущающих воздействий и придать возможность маневрирования ЛА, а, следовательно, позволит поражать малоразмерные и защищённые объекты.

Применение покрытий для низкой заметности может повысить вероятность поражения цели в условиях противодействия.

В данной работе был произведен расчёт двигателя для разрабатываемого ЛА.[7-10]

По результатам расчётов данный двигатель способен придать скорость ЛА до 2000м/с, что позволит достичь хорошей дальности и создать большой запас полной энергии ЛА.

Следующей задачей является подбор материалов для органов управления и основных модулей. Наиболее перспективным видится широкое применение композитных полимерных материалов. На основные аэродинамические поверхности ЛА будет действовать давление набегающего потока воздуха, следовательно, необходимо для таких элементов использовать материалы, хорошо работающие при поперечных нагрузках и больших касательных напряжениях, и при этом обладать достаточной жёсткостью для эффективного противодействия эффекту крутки. В качестве примера рассмотрим прочностное моделирование планера в среде, у которого аэродинамические поворотные крылья выполнены из углепластика, а корпус из конструкционной стали (СП-28). Расчёты проводились при следующих углах атаки: 0, 5, 10 и 35 (как критический). Скорость потока принималась 2000 м/с.

По результатам моделирования видно, что данная конструкция хорошо справляется с нагрузками, а аэродинамическое качество находится на приемлемом уровне учитывая, что планер выполнен с расчётом на снижение заметности в сантиметровом диапазоне длин радиоволн [11].

Задача снижения заметности ЛА для радиолокационных установок наблюдения и наведения не решается использованием только полимерных материалов в планере. Поэтому целесообразно использовать радиопоглощающее покрытие на основе тонких плёнок аморфного гидрогенизированного углерода с наночастицами 3d металлов (никеля, кобальта, железа и др.) нанесённых методом ионно-плазменного магнетронного напыления на гибкие подложки из арамидной ткани. Данное покрытие способно обеспечить модуль коэффициента отражения от -10 до -30 дБ при толщине покрытия от 1 до 3 мм [12].

Полное изменение энергетических и аэродинамических качеств изделия потребует создания новой системы стабилизации, управления и наведения. Чтобы создать такие системы необходимо знать аэродинамические характеристики ЛА. Для их определения проведём статическое моделирование обтекания ЛА, его органов стабилизации и управления. Характеристики среды будут следующими: Скорость набегающего потока 2000м/с, плотность воздуха стандартная, атмосферное давление 760 мм.рт.ст. Профиль обтекания органов стабилизации- NASA 0006 с длинной хорды 175 мм.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что данный профиль является приемлемым. Так как имеет низкий коэффициент лобового сопротивления, а это положительно сказывается на скорости Ла и его способности к маневрированию.

В связи с большой скоростью изделия возникают повышенные требования к быстродействию системы управления и стабилизации, особенно при совершении активного маневрирования в условиях противодействия. Нельзя забывать о комплексах радиоэлектронной борьбы, способных серьёзно затруднить работу данных систем.

На основании проделанной работы можно заключить, что выбранный вектор по созданию модульных летательных аппратов, обладающих возможностью варьирования, входящих в него модулей, в частности: боевой,

ракетной, сопловой частей, а также элементами системы управления и материалами конструкций позволит создать современное средство поражения, не уступающего зарубежным аналогам.

ЛИТЕРАТУРА

1) Статья в журнале ARMY Technology «MLRS (Multiple Launch Rocket System)»- https://www.armywww.win2.cn/g10-technology.com/projects/mlrs/
2) Информационная – новостная система «Ракетная техника» Оперативно-тактический ракетный комплекс ATACMS: http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/atacms/atacms.shtml
3) Официальный сайт Lockheed Martin news - : https://news.lockheedmartin.com/2019-03-28-U-S-Army-Awards-1-13-Billion-Contract-to-Lockheed-Martin-for-Guided-Multiple-Launch-Rocket-System-Production-Support-Equipment?_ga=2.163744697.784327145.1554375723-1223230591.1554260649
4) Статья в интернет журнале Военное обозрение «Высокоточная крылатая ракета Delilah» 16 декабря 2011г.- https://topwar.ru/9341-vysokotochnaya-krylataya-raketa-delilah.html.
5) Информационная – новостная система «Ракетная техника» http://rbase.new-factoria.ru/
6) Пороха, ракетные твердые топлива и их свойства Текст учеб. пособие для вузов /А. В. Косточко, Б. М. Казбан ; Казан. гос. технол. ун-т/ М. ИНФРА-М 2015- 398 с.
7) Проектирование ракетных двигателей твердого топлива : Учеб. для вузов по направлению "Авиац. и ракет.- космич. техника" и спец. "Двигатели и энерг. установки космич. техники","Авиац. и ракет.-космич. теплотехника / А. М. Липанов, А. В. Алиев/ М. : Машиностроение , 1995-399 с.
8) Основы проектирования пороховых ракетных снарядов Текст учеб. пособие для техникумов /В. Д. Куров, Ю. М. Должанский/ М. Оборонгиз 1961 – 294 с.
9) Теория ракетного двигателя на твердом топливе [Текст] / Я. М. Шапиро, Г. Ю. Мазинг, Н. Е. Прудников М. /: Воениздат , 1966 – 256 с.
10) Расчёт параметров и характеристик ракетных двигателей: практическое пособие/ В.П. Белов Санкт-Петербург 2013г – 28с
11) Статья ИТПЭ РАН А.Н. Лагарьков, А.И. Феоренко, В.Н. Кисель, С.Г. Кибец, В.Н. Семенченко «Актуальные задачи стелс-технологий».
12) Научный журнал «Электроника: наука, технология, бизнес» статья Г.Николайчук, В.Иванов, С.Яковлев. «Радиопоглощающие материалы на основе наноструктур» выпуск 1/2010

MODULAR AIRCRAFT

Levitskii Mark Andreevich, student;
Semashko Marina Yurievna, PhD in Techn. Sc., Assos. Prof.;
Kuvshiniva Natalia Lvovna, Senior Lecturer
South-Ural State University
454080, Russia, Ural federal district, Chelyabinsk, V. I. Lenina av., 76.
Tel 267-99-00
Levitskii M. A., e.a.lev@mail.ru
Semashko M.Y., smashkomi@susu.ru
Kuvshiniva N.L., kuvshinovanl@susu.ru

Annotation.
Considered the design of aircraft. Proposed model design of the aircraft

Keywords:
Aircraft, controls, gas dynamics, constructive solutions, increased range, precision weapons.

УДК 623

ИРРИТАНТЫ – КАК СРЕДСТВА СНАРЯЖЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ НЕЛЕТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Мезенцев Никита Владимирович;
Милевский Константин Евгеньевич, к.т.н. доцент
Новосибирский государственный технический Университет 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
Мезенцев Н. В., e-mail mezencev.2017@stud.nstu.ru
Милевский К. Е., e-mail milevskij@corp.nstu.ru

Аннотация

Статья посвящена ирритантам как средствам для наполнения разнообразного орудия нелетального действия. Рассматривается классификация и определение каждому классу ирритантов. Также дается оценка действия ирритантов, а именно что такое токсодоза, какие они бывают и приведены ряд свойств, которые также необходимо рассчитать, чтобы дать оценку веществу. Описаны некоторые физические и химические свойства ирритантов. Важным параметром является способность этих веществ образовывать аэрозоли, дается классификация аэрозолей и способы их получения, также показаны формулы, по которым рассчитываются важные параметры для образования аэрозолей. Также описаны способы доставки ирритантов к непосредственному месту действия.

Ключевые слова

Лакриматоры, стерниты, удельная токсодоза, ингаляционная доза токсичности, аэрозоль, коэффициент использования ирританта.

Введение

Поражающая способность ирритантов зависит от многих факторов таких как массовая концентрация, удельная поглощенная доза ирританта, коэффициент токсичности, ингаляционная доза токсичности, доза заражения, относительная стойкость. Но самый важный фактор это удельная токсодоза ирританта. От токсодозы зависит как будет рассматриваться боеприпас: как оружие нелетального действия или как химическое оружие

В работе ставится задача изучить, какие факторы влияют на возможность применения ирритантов как нелетального оружия.

Теория

Ирританты - химические соединения, которые в небольших концентрациях избирательно возбуждают чувствительные нервные окончания кожных покровов, слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей и как следствие временное лишение человека способности к активным целенаправленным действиям или проявления физической агрессии.

Классификация ирритантов представлена на рисунке 1

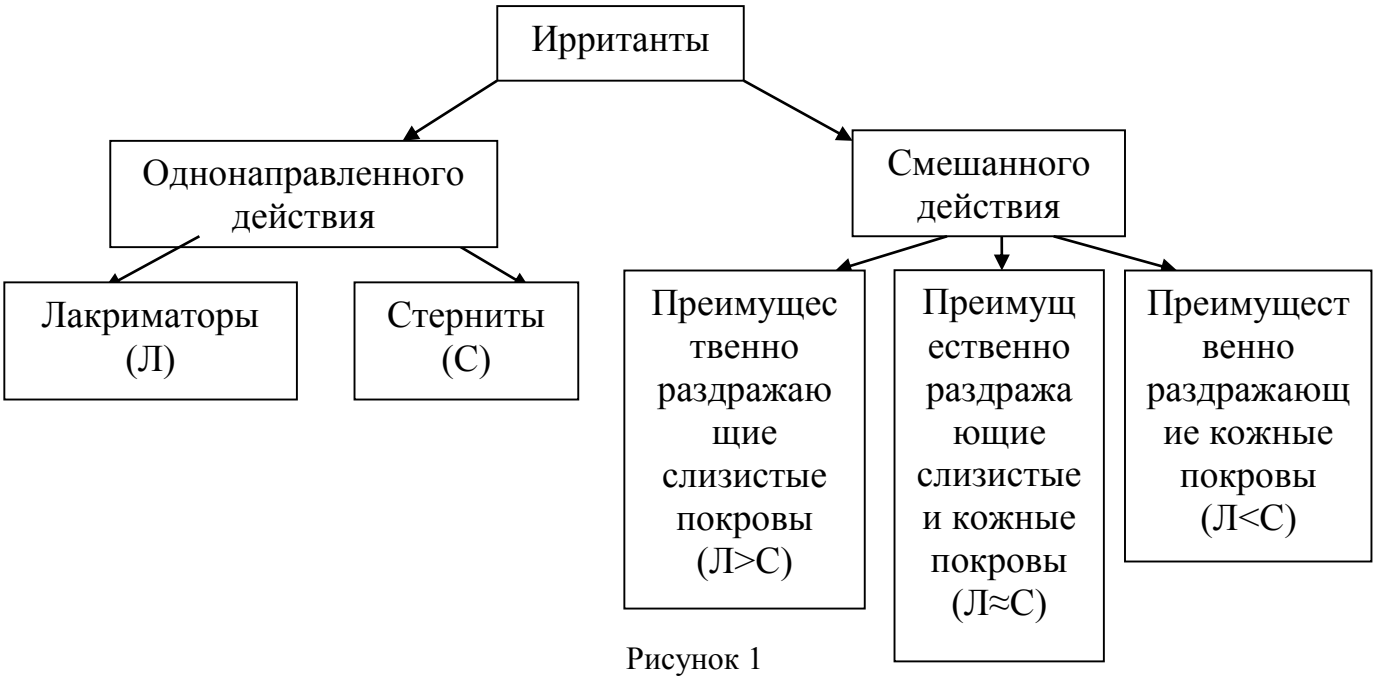


Рисунок 1

Лакриматоры, или слезоточивые вещества – это соединения, воздействующие на чувствительные нервные окончания слизистых оболочек глаз и вызывающие обильное слезотечение. Также могут воздействовать на кожные покровы, но эффект будет не значителен и быстро пройдёт при выходе из зоны действия агента.

Стерниты, или чихательные вещества – это соединения, которые воздействующие в основном на чувствительные нервные окончания слизистых оболочек верхних дыхательных путей и вызывают раздражение носоглотки, вызывают раздражение глаз, действуют на поверхность кожи, затрагивают центральную нервную систему, может поражать придаточные пазухи носа.

Оценка действия ирритантов

Токсические свойства ирритантов определяют экспериментальным путем на различных лабораторных животных, поэтому для оценки используется понятие удельной токсодозы – дозы, отнесенной к единице массы животного и выражаемой в миллиграммах на 1 кг массы.

Различают несколько токсодоз:

1) LD (lethal doze) – смертельная доза – количество вещества, вызывающее при попадании в организм смертельный исход с определенной вероятностью.

2) ID (incapacitation doze) – выводящая из строя доза –количество вещества, выводящее из строя определенный процента пораженных как временно, так и смертельно.

3) PD (primary doze) – пороговая доза – количество вещества, вызывающее начальные признаки поражения организма с определенной вероятностью.

Для оценки также необходимо рассчитать: массовую концентрацию ирританта в воздухе c, удельную поглощенную дозу ирританта D, коэффициент токсичности C (на основании некоторых допущений), плотность заражения Δ, относительную стойкость Q.

$c = m/V$, где m – масса ирританта в мг, V – объем воздуха в л или м^3.

$D = ctI/G$, где t – время вдыхания ирританта в мин, I – интенсивность вдыхания в л/мин, G – масса тела человека в кг.

$$C = \frac{DG}{I} = ct.$$

$\Delta = m/S$, где m – масса вещества в мг, S – площадь зараженной поверхности в см^2.

$$Q = \frac{v_1}{v_2} = \frac{p_1}{p_2}\sqrt{\frac{M_1T_1}{M_2T_2}},$$

где v_1 – скорость испарения воды при T_1=15℃, v_2 – скорость испарения вещества при T_2, p_1 – давление пара воды при T_1=15℃, p_2 – давление пара вещества при T_2; M_1 и M_2 молярные массы воды и вещества

В основном коэффициент токсичности называют по-другому – ингаляционная доза токсичности (ИДТ) измеряемая в мг*мин/м^3, мг*мин/л, г*мин/м^3, г*мин/л. Характерные величины ИДТ вводят аналогично характерным токсодозам:

1) Начальная ИДТ – минимальное количество вещества вызывающее первые признаки раздражения

2) Начальная непереносимая ИДТ – концентрация ирританта не допускающая даже кратковременного пребывания в ней человека без защиты

3) ИДТ обеспечивающее выведения из строя 50 % подвергнутых воздействию ирританта людей

4) Расчетная максимально допустимая ИДТ C_{th}

5) Максимально допустимая ИДТ, разрешенная при использовании ирритантов, $C_{max}=10C_{th}$

6) Летальная ИДТ, приводящая к смертельному исходу у 50 % подвергнутых воздействию ирританта людей

Физические и химические свойства ирритантов.

Выделяют основные свойства ирритантов:

1) Плотность в г/см^3 характеризует распределение ирританта в атмосфере

2) Растворимость ирританта определяет выбор методов и средств их дегазации

3) Давление насыщенного пара определяет выбор средств и способа применения ирритантов $p = -\frac{a}{T} + b$, p – давление насыщенного пара, T – температура в К, a и b индивидуальные константы для каждого вещества

4) Летучесть – максимально содержание паров вещества в единице объема. $f = \frac{16Mp}{RT}$, где R – универсальная газовая постоянная.

Способность ирритантов к образованию аэрозолей

Современные ирританты – это твердые вещества, поэтому основным способом перевода их в боевое состояние это создание аэрозолей. Аэрозоли делятся на:

1) Пыли – полидисперсные малоустойчивые системы, содержат больше крупных частиц диаметром 10^{-5} м и более

2) Дымы – частицы имеют не правильную геометрическую форму молекул и нередко состоят из хлопьевидных образований. Размер частиц от 0,1 до 5 мкм

3) Туманы – состоят из капель жидкости, при этом в них могут содержаться растворенные вещества или распыленные жидкости. Размер частиц до 10 мкм.

Существует несколько способов получения аэрозолей:

1) Дисперсный заключается в механическом измельчении и распылении жидкостей или твердых тел и их растворов из различных аппаратов

2) Конденсационный заключается в быстром испарении веществ с помощью нагревающих устройств или при помощи горения пиротехнических составов

3) Реакционный состоит в горении или нагреве некоторых химических соединений и выделении при этом большого количества горячего газа

Часто аэрозоли образуют сразу несколькими способами. Скорость оседания аэрозоля от размеров частиц, плотности и степени однородности аэрозоля.

Необходим расчет на определение силы сопротивления движения шарообразной молекулы

$F_{сопр} = 3\pi\eta dv,$

η – коэффициент динамической вязкости среды, d – диаметр частицы.

Выражение для скорости:

$v = \frac{gd^2(\rho-\rho_1)}{18\eta},$

где ρ – плотность частиц, ρ_1 – плотность среды, g – ускорение силы тяжести.

Если размер частиц сравним с длиной свободного пробега молекул газа, то выражение для скорости примет вид

$v = (1 + \frac{2A*\lambda}{d})\frac{gd^2(\rho-\rho_1)}{18\eta},$

где λ – средняя длина свободного пробега газовых молекул, A – коэффициент приближённо равный единице. Для частиц крупнее 20 мкм поправка незначительна.

Боеприпасы раздражающего действия, оснащенные ирритантами

В настоящее время для доставки вещества к месту применения используют:

1) Распылители карманного типа (дальность действия 1,5 – 3 м) или газовые баллончики

2) Распылители высокого давления (дальность действия 10 – 15 м)

3) Ранцевые распылители (дальность действия 10 – 40 м)

4) Генераторы носимого типа, возимые и самодвижущиеся

5) Пистолетные и револьверные патроны

6) Ручные гранаты

7) Выстрелы к карабинам 12 клб

8) Выстрелы к гранатометам 30…40 клб

9) Гранаты, предназначенные для метания из специальных насадок на штатное стрелковое оружие

10) Другие штатные боеприпасы

Одной из важных характеристик является коэффициент использования ирританта (КИИ), определяемый по формуле $КИИ = \frac{m_в}{m_c} * 100\%$, где $m_в$ масса выхода ирританта, m_c масса снаряжения боеприпаса.

КИИ влияет на способ перевода ирританта в боевое состояние. При проектировании средств доставки выделяют следующие способы:

1) Энергией взрыва центрального разрывного заряда

2) Энергией выстрела:

a. С выбросом порошка (КИИ <90%)

b. С выбросом жидкости (КИИ <20%)

c. Термическим диспергированием (КИИ <25%)

Вывод

Чтобы использовать ирританты для снаряжения боеприпасов нелетального действия необходимо знать точную токсодозу конкретного ирританта, в противном случае такой боеприпас переходит из разряда нелетальных в разряд химических. Необходимой токсодоз является выводящая из строя доза.

Литература

1. Эксплозивные вещества: учебное пособие / В.В Андреев, А.В Гуськов, К.Е. Милевский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018 – 342 с. – (Серия «Учебники НГТУ»

2. Куценко С.А. Основы токсикологии. М.: Фолиант, 2004.

3. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества. М.: Воениздат, 1990.

4. Оружие нелетального действия В.В. Селиванов, Д.П. Левин

5. NATO handbook on the medical aspects of NBC defensive operations [Электронный документ]. Departments of the Army, the Navy and the Air Force, 1996. www.fas. org/nuke/guide/usa/doctrine/dod/fm8-9/toc.htm (дата обращения 23.11.2017).

6. Ivarsson U., Nilsson H., Santesson J. A FOA Briefing Book on Chemical Weapons: Threat, Effects and Protection. Forsvarets Forskningsanstalt, 1992.

7. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию: пер. с англ. М.: Мир, 1987.

8. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. Л.: Химия, 1972.

9. Химия боевых отравляющих веществ: в 2 т. / З. Франке, П. Франц, В. Варнке. М.: Химия, 1983.

10. Flame, Riot Control Agents and Herbicide Operations. Field Manual [Электронный документ]. Department of the Army, 1996. www.fas.org/irp/doddir/army/ fm3-11-11-excerpt.pdf (дата обращения 23.11.2017).

IRRITANTS - AS A MEANS OF NON-LETHAL AMMUNITION EQUIPMENT

Mezentsev Nikita Vladimirovich, student e-mail mezencev.2017@stud.nstu.ru
Milevsky Konstantin Evegenievich, Ph.D. (Engineering), associate professor e-mail milevskij@corp.nstu.ru
Novosibirsk State Technical University 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20

Abstract

The article is devoted to irritants as a means for filling a variety of non-lethal weapons. They are divided into several classes. The irritant also evaluated in its effect, namely toxodose, what are they and a number of properties that must also be calculated to evaluate the substance. These substances have a number of physical and chemical properties that need to be considered. The ability of these substances to form aerosols is important for modern irritants, the classification of aerosols and methods for their preparation are given, and formulas for calculating important parameters for the formation of aerosols are also shown. Methods of delivery of irritants to the immediate place of action are also considered in the article.

Key word

Lacrimators, sternites, specific toksodose, inhalation dose toxicity, spray can, utilization factor irritant.

УДК 623.5

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО БРОНЕБОЙНОГО БОЕПРИПАСА КАЛИБРА 40 мм

Мусихин Илья Николаевич[1]; Чванов Александр Евгеньевич[2], д.т.н.;
Хмельников Евгений Александрович[1]

[1] Нижнетагильский Технологический институт (филиал) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,622031, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (343) 525-65-00
[2] Нижнетагильский Институт испытания металлов, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Гагарина 29
Мусихин И. Н., e-mail musihin.il@yandex.ru
Чванов А. Е., e-mail nts@ntiim.ru
Хмельников Е.А., e-mail khmelnikov7@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассматривается создание телескопического боеприпаса калибра 40 мм, который должен выступить в роли эволюционного развития боеприпасов и автоматических пушек калибра 30 мм. Расчетные параметры внутренней баллистики проверяются в двух программах, одна из которых разработана на кафедре Специального Машиностроения НТИ (филиал) УрФУ, и европейской программой «Interior Ballistics: Stanag 4367». Производится анализ бронепробивных характеристик путем постановки трехмерной задачи в «ANSYS AUTODYN».

Ключевые слова

Телескопический боеприпас, математическое моделирование, внутренняя баллистика.

В настоящее время основным калибром отечественных автоматических пушек Сухопутных войск, ВВС и ВМФ является калибр 30 мм, а их монопольным разработчиком – Тульское КБП, создавшее десять типов 30-мм пушек, в том числе одноствольных, двуствольных и шестиствольных. Использование одного калибра во всех видах Вооруженных сил и унификация боеприпасов является несомненным преимуществом, но в то же время, значительно ограничивает боевые возможности автоматических пушек. Применительно к пушкам БМП главным и решающим фактором негативной оценки калибра 30 мм является неудовлетворительное бронебойное действие.

Решение этой проблемы может быть, как революционным – установка одной крупнокалиберной пушки 100-мм и одной автоматической 30-мм (БМП-3) – так и эволюционным – с разработкой нового боеприпаса и переходом на более

крупный калибр автоматических пушек, что исключило бы неэффективность 30-мм боеприпасов в настоящее время.

Для проведения расчетов была выбрана конструкция, изображённая на рисунке 1 [1].

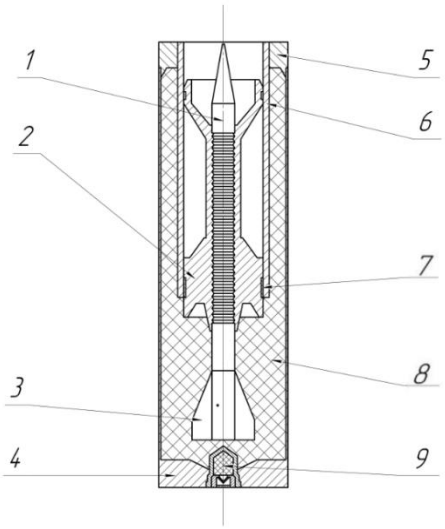


Рис. 1. Конструкция телескопического боеприпаса; 1-сердечник, 2-секторное ведущее устройство, 3-стабилизатор, 4-корпус, 5-фиксирующая втулка, 6-центрирующая втулка, 7-кольцевой обтюратор, 8-основной заряд, 9-капсюль детонатор

Основная задача внутренней баллистики решена методом Н. Ф. Дроздова [2], а дальнейший расчёт порохов производился в двух программах «ОЗВБ» и «Interior Ballistics: Stanag 4367».

Из полученных результатов расчета были выбраны два подходящих вида пороха, показавшие максимальную и минимальную дульные скорости, и в которых максимальное давление не превышало максимально допустимого давления в каморе орудия. Максимальную дульную скорость показал порох 4/1 навеской 400 грамм, скорость составила 1486 м/с. Минимальную дульную скорость показал порох 4/1 фл навеской 350 грамм, скорость составила 1165 м/с.

Разница в расчётах максимального давления P_{max} и дульной скорости $V_{д}$ программы «ОЗВБ», разработанной на кафедре Специального Машиностроения НТИ (ф) УрФУ, в сравнении с европейской программой *«Interior Ballistics: Stanag 4367»* не превысила 11% (рис. 2), (рис. 3), (рис. 4).

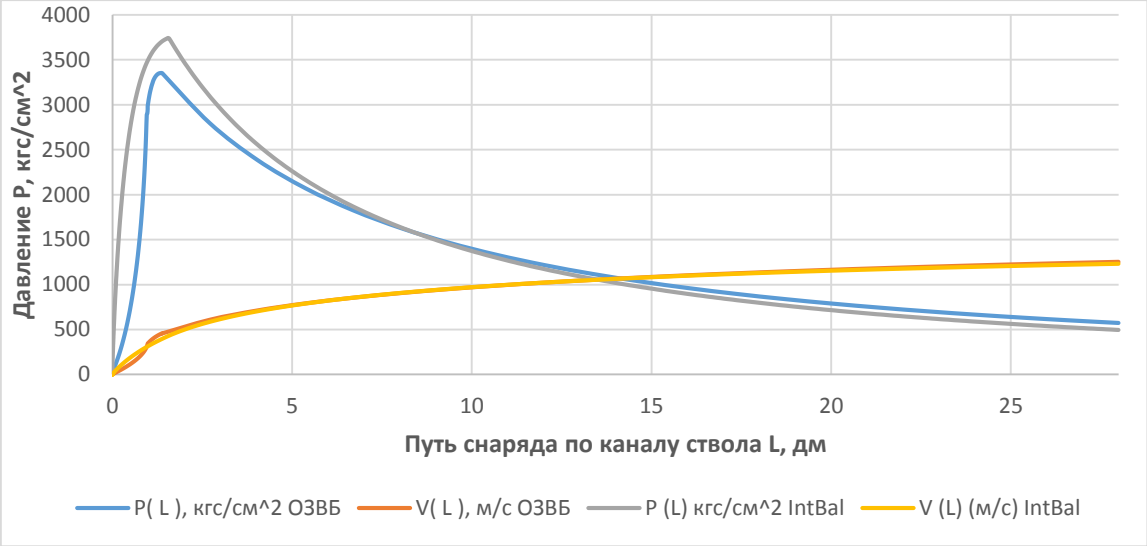


Рис. 2. График зависимости P(L), V(L) для пороха СФО33

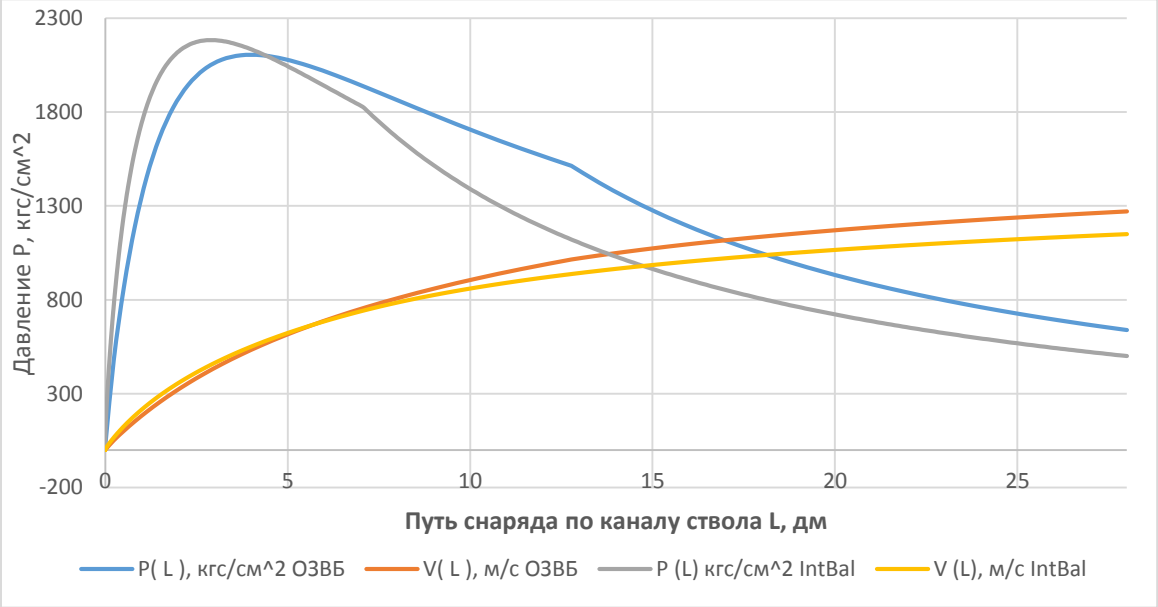


Рис. 3. График зависимости P(L), V(L) для пороха 7/1

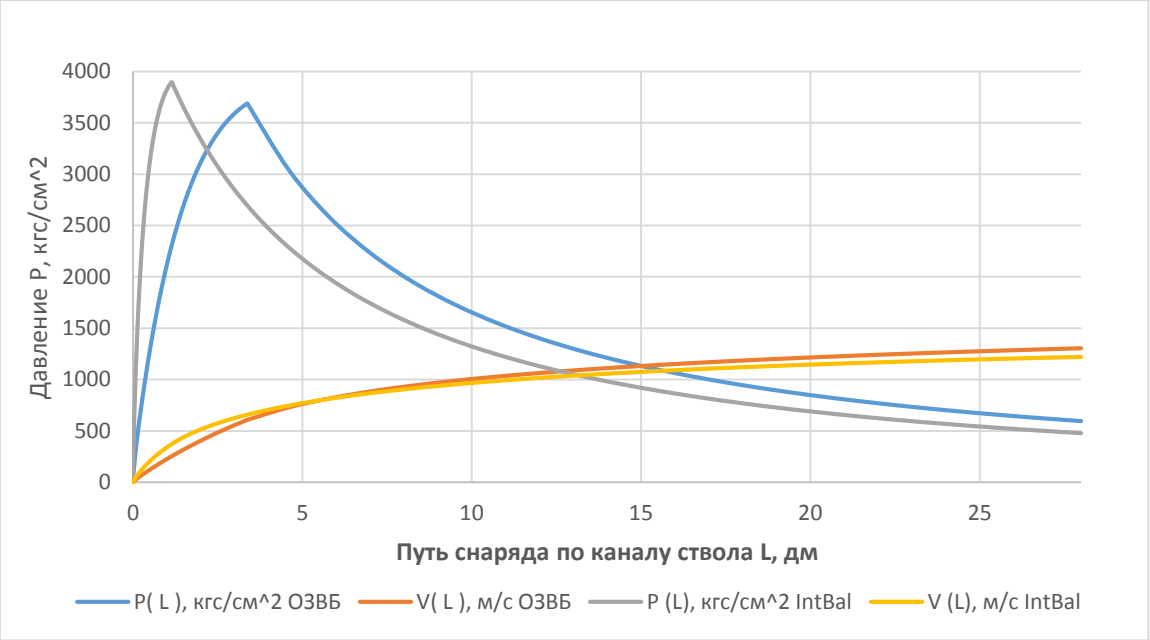


Рис. 4. График зависимости P(L), V(L) для пороха 4/1

Для решения поставленной задачи внешней баллистики использовалась система уравнений пространственного движения центра масс снаряда, включающая в себя характеристики атмосферы и характеристики поля притяжения Земли [3-5].

Расчет проводился в программе «Exterior Ballistics 2.6». По данным расчетам внешней баллистики максимальная скорость подхода к броне на дистанцию 1500м обеспечивается порохом 4/1 400 гр. и составляет 1303 м/с. Минимальная скорость наблюдается у пороха 4/1 фл 350 гр. 981 м/с.

Для моделирования конечной баллистики были выбраны три варианта брони:

1) Верхний броневой лист БМП Франции из алюминиевого сплава, под углом 70^0 от нормали, толщиной 32 мм [6], [9].
2) Нижний броневой лист российской БМП-3. Лист находится под углом 30^0 от нормали и сделан из 10-мм стального щита, 70-мм воздушной прослойки и основной комбинированной брони из стали 12 мм и 60 мм сплава алюминия [7], [9].
3) Гомогенный броневой лист из алюминиевого сплава В95, толщиной 75 мм, под углом 60^0 [8], [9].

Моделирование трёхмерной задачи осуществлялось в программном комплексе «ANSYS AUTODYN».

Численное интегрирование уравнений совместно с определяющими соотношениями для материалов при соответствующих начальных и граничных условиях выполнялось на Эйлеровой сетке для воздуха и на Лагранжевой сетке для сердечника и преграды.

Для описания поведения материала сердечника и преграды используются: уравнение состояния Ми-Грюнайзена, уравнение упруго-пластичного материала Джонсона-Кука и уравнение разрушения материала Джонсона-Кука.

По результатам моделирования было получено, что броневой лист французской БМП пробит при минимальной скорости встречи, а остаточная скорость составляет 450 м/с (рис. 5). Броня российской БМП-3 пробивается при максимальной скорости встречи, а остаточная скорость ударника составляет 800 м/с (рис. 6).

При моделировании проникания в гомогенную броню проводилась проверка расчётных данных предлагаемых западными странами по глубине бронепробития. На дистанции 1500 м телескопический подкалиберный боеприпас должен был пробивать 150 мм брони. Результаты моделирования показали, что пробитие осуществлялось только при скорости встречи 1500 м/с (рис. 7). Расчёты соответствуют предоставленным данным.

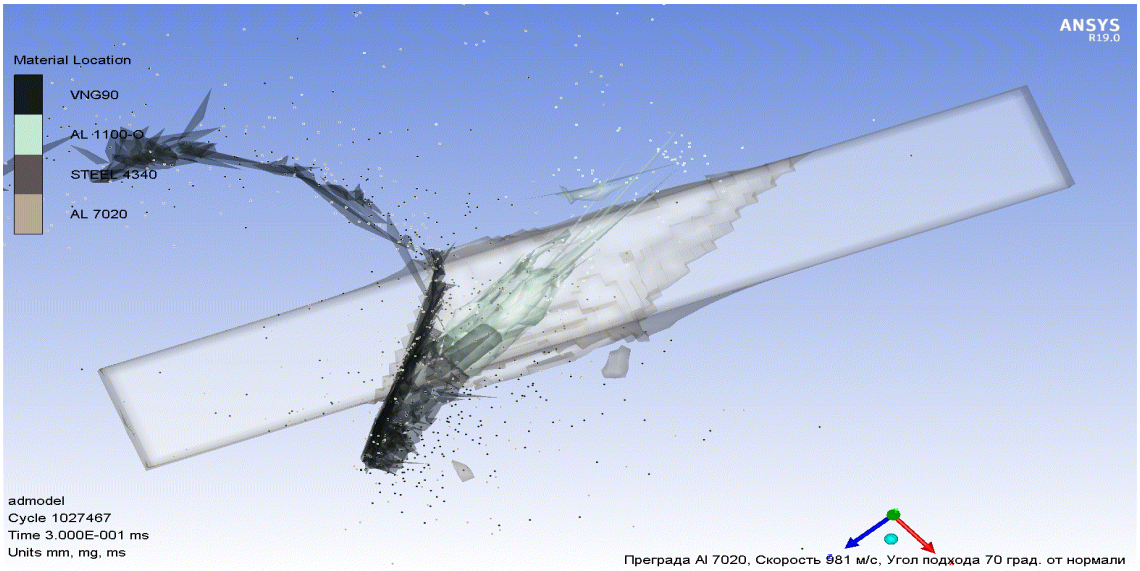


Рис. 5. Верхний броневой лист БМП Франции

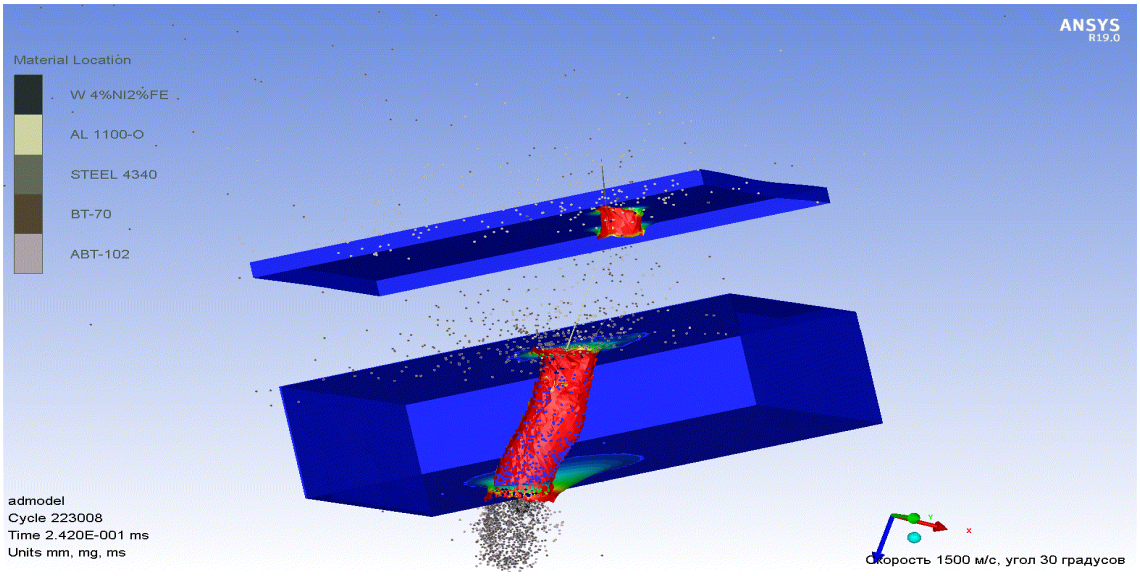


Рис. 6. Нижний броневой лист российской БМП-3

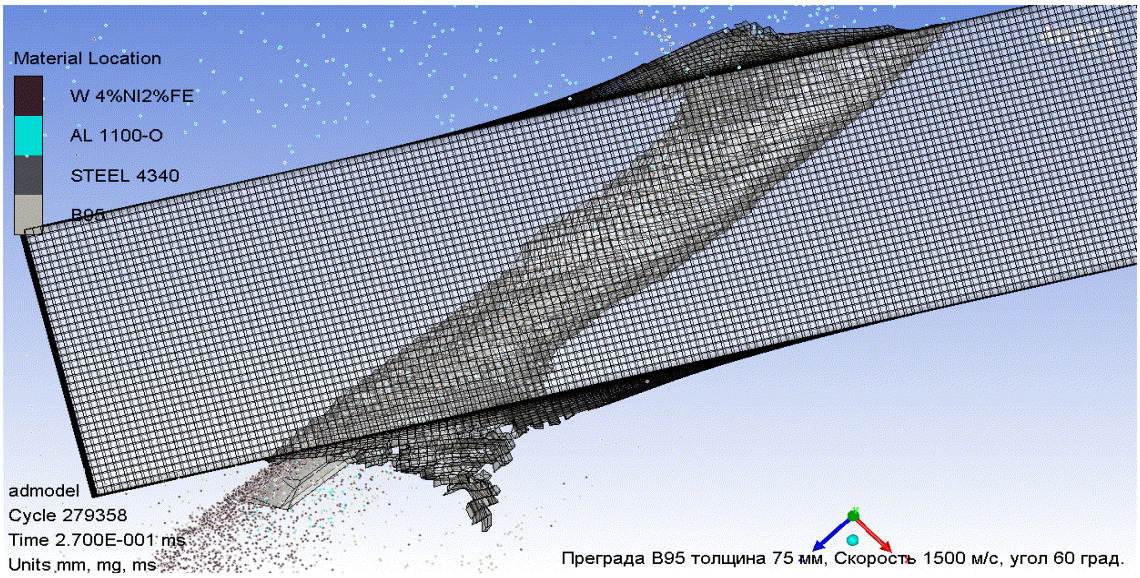


Рис. 7. Гомогенный броневой лист из алюминиевого сплава В95

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. EP0489282B1 German, «Telescopic ammunition cartridge» / John B. Davis E/ Опубл.14.11.90
2. 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.
3. Баллистика ствольных систем / РАРАН; В. В. Бурлов и др.; Б20 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)
4. Правдин В.М., Шанин А.П. Баллистика неуправляемых летательных аппаратов. Снежинск, издательство РФЯЦ-ВНИИТФ, 1999. – 496с.
5. Внешняя баллистика : учебное пособие / Л. Н. Лысенко. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 328 с
6. «Боевая бронированная машина IBCI» / http://www.nevskii-bastion.ru
7. Гомырин О.А. «Вестник бронетанковой техники» / http://www.btvt.narod.ru
8. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые
9. Библиотеки материалов программного комплекса ANSYS AUTODYN
10. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Либроком, 2015. - 272 с.

DEVELOPMENT OF A TELESCOPICK 40-MM ARMOR-PIERCING PROJECTILE

***Khmelnikov Evgeny Alexandrovich*[1]**, doctor of technical Sciences, head of Department of Special engineering, khmelnikov7@gmail.com
***Chvanov Alexandr Evgenievich*[2]**, Scientific Secretary, nts@ntiim.ru,
***Musikhin Ilia Nikolaevich*[1]**, student of Department of Special engineering, musihin.il@yandex.ru
[1] "Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin" Nizhny Tagil technological Institute (branch), Krasnogvardeiskaya street, 59, Nizhny Tagil, 622013, Russia
[2] Nizhny Tagil Metal Testing Institute, Gagarina st., 29, Nizhny Tagil, 622015, Russia

Abstract: In the article the creation of a 40 mm telescopic munition, which should play the role of an evolutionary development of ammunition and 30 mm automatic guns are discussed. The calculated parameters of the internal ballistics are checked in two programs, one of which was developed at the Department of Special Engineering of the NTI (branch) of UrFU, and the European program "Interior Ballistics: Stanag 4367". The analysis of armor-piercing characteristics is made by setting a three-dimensional task in ANSYS AUTODYN.

Keywords: telescopic munitions, mathematical modeling, internal ballistics.

УДК 358.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЛИНЕЙНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ

Нестеренко Александр Николаевич, доцент;
Горошко Виктор Владимирович, кандидат военных наук

Новосибирский военный институт имени генерала армии И.К. Яковлева
войск национальной гвардии Российской Федерации,
630114, Россия, г. Новосибирск, Ключ-Камышенское плато, 6/2
Нестеренко А.Н., *e-mail: alexnesterenko63@mail.ru*
Горошко В.В., *e-mail: viktor.5791@ya.ru*
Адрес для корреспонденции: 630114 Новосибирск ул. Ключ-Камышенское плато 6/2. Контактные телефоны: 8-999-467-51-12; 8-923-117-36-15

Аннотация: В данной статье рассматривается метод нелинейной радиолокации, как один из принципов работы, заложенных в технические приборы и устройства, предназначенные для поиска и обнаружения взрывных устройств, управляемых по радио.

Ключевые слова: нелинейная радиолокация, детектор нелинейных переходов, взрывное устройство, поиск и обнаружение

Проблема эффективного поиска и обнаружения взрывных устройств (мин) возникла с их массовым применением в первой половине прошлого века, что привело к разработке и принятию на вооружение во многих странах мира специализированных средств по их поиску и обнаружению – индукционных миноискателей. Индукционные миноискатели, в том числе и селективные, до настоящего времени являются основным средством поиска и обнаружения мин (взрывных устройств). Применение современной элементной базы и материалов позволили значительно уменьшить их вес и габариты, увеличить чувствительность, наделить способностью распознавать вид и объем металла.

Уменьшение массы металла в минах заставило искать иные методы и принципы их поиска. В 70-х годах прошлого столетия разрабатываются радиоволновые миноискатели, представляющие собой, по сути, радиолокаторы, излучающие сверхвысокочастотные сигналы и анализирующие сигналы, отраженные от объектов. Объекты поиска выделялись и идентифицировались по их диэлектрической проницаемости, что позволяло обнаруживать мины как с металлическими, так и с неметаллическими корпусами.

Появление и массовое применение радиоуправляемых взрывных устройств в различных вооруженных конфликтах выявили необходимость разработки и обеспечения войск приборами, способствующими поиску и обнаружению взрывных устройств с радиоуправляемыми исполнительными устройствами. Именно эта проблема и привела к появлению совершенно нового вида поискового прибора, получившего название искателя неконтактных взрывных устройств или

нелинейного радиолокатора. Нелинейный радиолокатор своим названием обязан заложенному в данном приборе методу и физическому принципу выявления радиоуправляемых взрывных устройств. В основе данного метода лежат свойства элементов с нелинейными характеристиками (к ним относятся, в частности, транзисторы, полупроводниковые диоды и т.п.). При облучении их СВЧ-сигналом в отраженном сигнале появляется не только основная гармоника несущей частоты, но и более высокие гармоники. Настроив приемник на прием второй и третьей гармоник зондирующего сигнала, можно обнаруживать под слоем грунта, в стенах и других укрывающих средах, даже выключенные электронные схемы, включая неконтактные взрыватели мин или приборы дистанционного управления фугасами.

В нашей стране работы по применению метода нелинейной радиолокации для поиска и обнаружения радиоуправляемых взрывных устройств развернулись в 1970-е годы прошлого столетия. Результатом работы стало принятие на вооружение (снабжение) войск нелинейного радиолокатора, получившего название ИНМ (искатель неконтактных мин), который эффективно применялся в Афганистане, Абхазии и Чечне. Позднее был разработан более совершенный прибор ИНМ-М. На сегодняшний день основным средством для поиска радиоэлектронных устройств подрыва управляемых взрывных устройств, содержащих полупроводниковые компоненты, независимо от их функционального состояния (находящихся как во включенном, так и в выключенном состоянии) является детектор нелинейных переходов (нелинейный радиолокатор) NR-900 EK «Коршун» (рис. 1). При разработке прибора учли и требование удобства работы оператора – в его руках только антенный блок, а остальные элементы размещены в ранце.

Рис. 1. Радиолокатор NR-900 EK «Коршун»:
а – рабочий комплект изделия; б – положение изделия при сканировании местности

Данный прибор представляет собой импульсный нелинейный радиолокатор, принцип действия которого основан на облучении обследуемых объектов

короткими радиочастотными импульсами и приеме сигналов-откликов (переизлученных сигналов) на частотах второй и третьей гармоник зондирующего излучения. Сигналы-отклики на частотах второй и третьей гармоник зондирующего излучения появляются в результате спектрального преобразования зондирующего сигнала на элементах с нелинейной вольтамперной характеристикой. Такую характеристику имеют полупроводниковые компоненты, содержащиеся в любом радиоэлектронном устройстве. При облучении радиоэлектронных устройств в спектре переизлученного сигнала, как правило, преобладают четные гармонические составляющие зондирующего излучения (2-я гармоника). Полупроводниковыми свойствами обладают также контакты металлических предметов, особенно подвергнувшихся коррозии. При облучении этих объектов, в спектре переизлученного сигнала, как правило, преобладают нечетные гармонические составляющие зондирующего излучения (3-я гармоника).

Структурно прибор состоит из антенного блока, передатчика зондирующего сигнала, двух приемников, настроенных на удвоенную и утроенную частоту сигнала передатчика, блока управления, блока обработки и пульта управления и индикации (рис. 2).

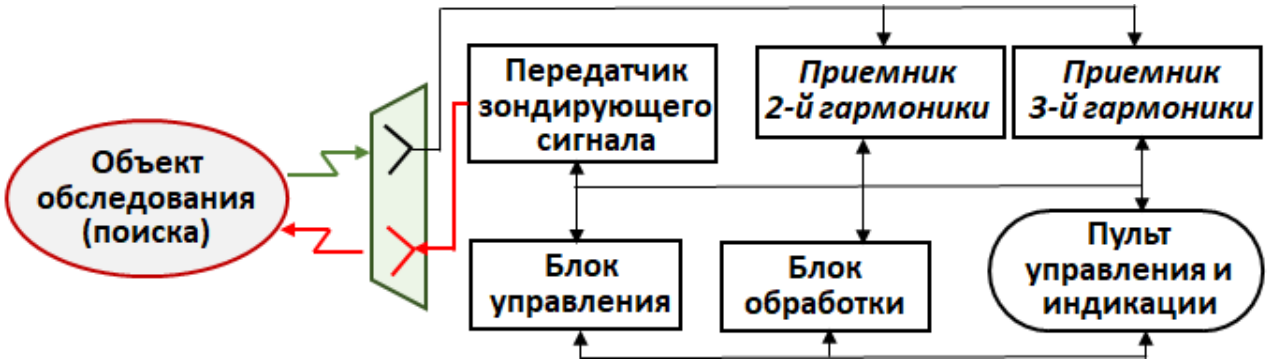


Рис. 2. Структурная схема работы радиолокатора

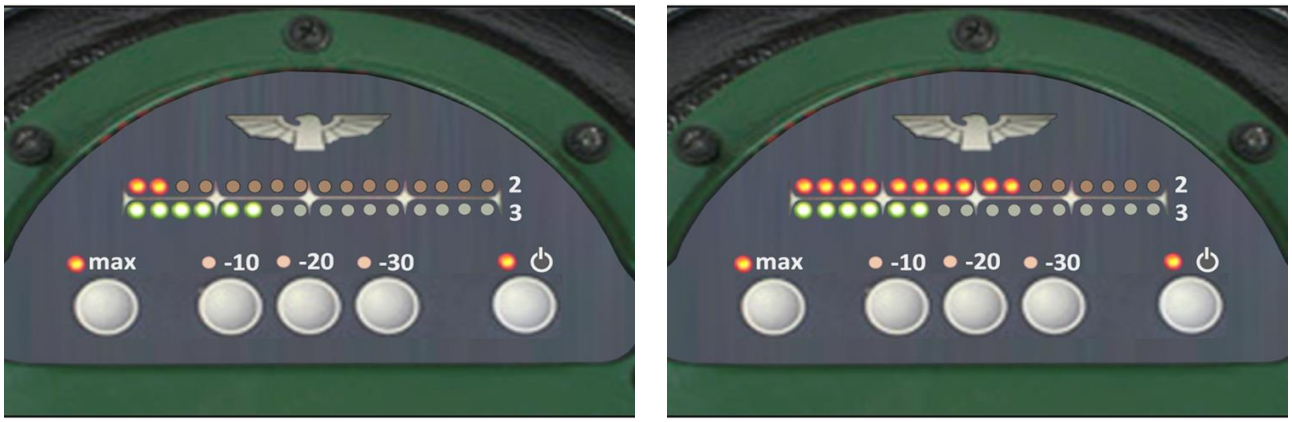
Моногармонический зондирующий сигнал, формируемый передатчиком, подается на направленную передающую антенну и излучается в направлении объекта обследования. На нелинейных (полупроводниковых) элементах объекта обследования зондирующий сигнал преобразуется в полигармонический и переизлучается. Переизлученный сигнал принимается антенной и поступает на входы приемников, которые выделяют сигналы 2-й и 3-й гармоник частоты зондирования. После обработки принятых сигналов в блоке обработке их уровни отображаются светодиодным индикатором.

По соотношению уровней сигналов-откликов на частотах второй и третьей гармоник частоты зондирования, можно отличить объекты, содержащие электронные схемы от объектов, содержащих полупроводниковые элементы, образованные металлическими контактами (рис. 3).

Прибор имеет два уровня излучаемой мощности: максимальный и минимальный, а также три значения ослабления входных сигналов приемников.

Управление уровнем излучаемой мощности и ослаблением входных сигналов приемников осуществляется с пульта управления и индикации.

Опыт применения данного изделия, в том числе и в Сирии, показал его достаточно высокую эффективность при обнаружении радиоуправляемых взрывных устройств, но вместе с тем и выявил некоторые недостатки.



а *б*

Рис. 3. Соотношение уровней сигналов от различных источников сигналов-откликов: а – от мест контактов металлических предметов; б – от полупроводниковых элементов

В заключении хочется отметить, что ни одно средство поиска и обнаружения не дает саперу полной и точной информации об объекте поиска. Оно лишь способствует обнаружению места вероятного расположения взрывного устройства по одному из его признаков. Для повышения эффективности обнаружения взрывных устройств, в том числе и радиоуправляемых, целесообразно комплексирование различных поисковых методов в одном техническом средстве.

Библиографический список

1. Детектор нелинейных переходов NR-900ЕК «Коршун». Руководство по эксплуатации ЮТДН. 468165.003 РЭ. – ЗАО «Группа защиты – ЮТТА». – 28 с.

2. Курбацкий В.С., Нестеренко А.Н. Применение постановщиков помех «Пелена-6Р», «Пелена-6БС-Ф» и детектора нелинейных переходов «Коршун». – Новосибирск: НВИ ВВ имени генерала армии И.К. Яковлева МВД России, 2015. – 40 с.

THE APPLICATION OF THE NONLINEAR RADAR METHOD TO SEARCH AND DETECT EXPLOSIVE DEVICES

Nesterenko Alexander Nikolaevich, associate professor;
Goroshko Viktor Vladimirovich, Candidate of Military Sciences
Novosibirsk Military Institute named after General of the Army I.K. Yakovlev troops of the National Guard of the Russian Federation,
630114, Russia, Novosibirsk, Klyuch-Kamyshenskoe Plateau, 6/2
Nesterenko A.N., e-mail: alexnesterenko63@mail.ru
Goroshko V.V., e-mail: viktor.5791@ya.ru
Address for correspondence: 630114 Novosibirsk, ul. Klyuch-Kamyshenskoe Plateau 6/2. Contact phones: 8-999-467-51-12; 8-923-117-36-15
Abstract: This article discusses the method of non-linear radar as one of the principles of operation embedded in technical devices and devices designed to search and detect radio-controlled explosive devices.
Keywords: nonlinear radar, nonlinear transition detector, explosive device, search and detection

УДК 358.111.2

РАСЧЕТ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАССЕТНОГО СНАРЯДА ПОВЫШЕННОЙ ДАЛЬНОСТИ С УСТРОЙСТВОМ ДОРАЗГОНА НА ТРАЕКТОРИИ

Кэрт Борис Эвальдович, д.т.н., проф., зав. каф. Е3;
Панченко Антон Вадимович, асс. каф. Е3

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова, 1-я Красноармейская ул., 1, Санкт-Петербург, 190005
Кэрт Б.Э kert@mail.ru,
Панченко А.В. AnPan96@mail.ru

Аннотация

Одной из доминирующих тенденций в развитии полевой артиллерии основных сил и ее боеприпасов является увеличение дальности стрельбы. Это обусловлено взглядами на современную военную операцию, как на процесс, протекающий на большом пространстве. Согласно концепции Airland Battle-2000, отраженной в военных доктринах США и НАТО, глубина зоны боевого воздействия дивизии – 70 км [1], [2], что превышает такую для отечественной, равную 25-30 км [3].

Особенно актуально увеличение дальности кассетных боеприпасов, традиционно имеющих более чем вдвое меньшую дальность, чем осколочно-фугасные, в силу недостаточной прочности конструкции. Поэтому рациональным способом увеличения дальнобойности отечественного кассетного снаряда может послужить снабжение его прямоточным воздушно-реактивным двигателем.

Ключевые слова и словосочетания

Кассетные боеприпасы, прямоточный воздушно-реактивный двигатель, конструктивная схема, пастообразное топливо, баллистическое функционирование, дальность полета.

Введение

Конструктивная схема перспективного кассетного снаряда, снабженного прямоточным воздушно-реактивным двигателем приведена на рисунках 1, 2.

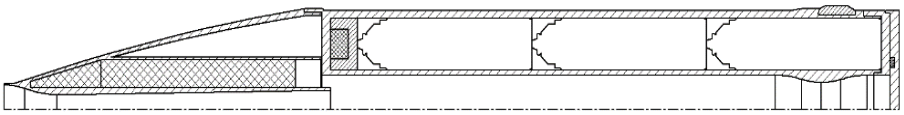


Рисунок 1 – Конструктивная схема перспективного снаряда

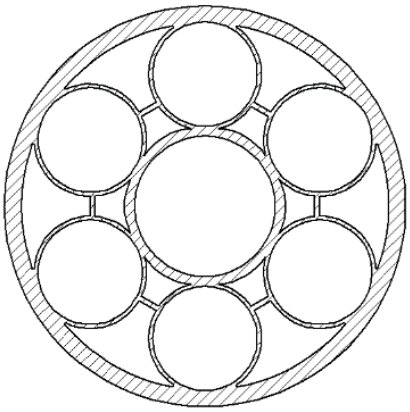


Рисунок 2 – Разрез корпуса перспективного снаряда

Создание конструктивной схемы снаряда производилось путем модификации кассетного снаряда 3-О-14 «Склад» для орудия 2С7 «Пион», калибром 203 мм.

В носовой части снаряда расположен диффузор внутреннего сжатия, соединенный воздуховодом с камерой смешения и догорания, заканчивающейся сопловым блоком. Камера смешения и догорания связано с соплом газогенератора, выполненного в виде кольцевой камеры, охватывающей воздуховод и заполненной пастообразным топливом. В цилиндрической части в трубах расположены 18 типовых боевых элементов О-16. В свободной части полости обтекателя располагается система управления и действия, включающая блоки инициации наддува пусковых труб, отделения днища и отстрела боевых элементов.

Методика

Для расчета баллистического функционирования снаряда переменной массы со встроенной энергосиловой установкой, необходимо сделать следующие допущения, соответствующие основным допущениям ОЗВБ для случая движения активного снаряда [4], [5]:

1. Снаряд движется правильно, то есть угол между осью продольной симметрии снаряда и вектором скорости центра масс (угол нутации) мал, так что угловое положение снаряда не влияет на движение центра масс и нормальной составляющей главного вектора сил аэродинамического сопротивления и силой Магнуса можно пренебречь по сравнению с силой лобового сопротивления.
2. Атмосфера неподвижна.
3. Поле силы тяжести однородно, сила тяжести вертикальна и направлена вниз в точке бросания.
4. Реактивная сила, действующая на снаряд переменой массы, не зависит от угла нутации.

В этих условиях уравнение движения центра масс реактивного снаряда с РПД может быть получено из теоремы об изменении количества движения системы переменного состава с твердой оболочкой [6], с соответствующим РПД заданием реактивной силы [7], [8]. Также естественно пренебрегать влиянием вращательного движения снаряда переменной массы на движение его центра масс, не учитывая влияния вариационных сил, Кориолисовых сил инерции и сил,

обусловленных изменением положения центра масс снаряда относительно корпуса в связи с переменностью массы снаряда. Пренебрегаем также отличием скорости центра масс снаряда переменой массы от скорости центра масс его твердой оболочки.

Модель двигателя в целом соответствует модели [9].

Модель реализована в ППП «Матмех» [10].

Результаты

Нахождение зависимости дальности полета снаряда от угла бросания производился при дульной скорости 770 м/с. Данная зависимость представлена в таблице.

Таблица

Зависимость дальности полета перспективного снаряда от угла бросания

Угол бросания, град.	40	45	50	54	55	56	60
Дальность полета, м	53730	58260	63590	65870	66190	66140	64980

Для более наглядного представления результатов построен график зависимости дальности полета снаряда от угла бросания (рисунок 3).

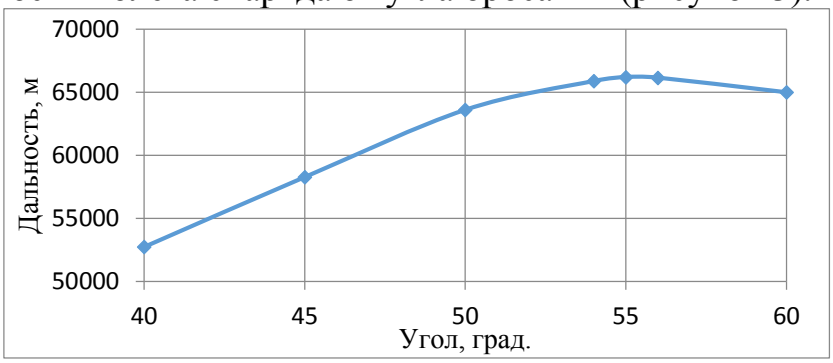


Рисунок 3 – Зависимость дальности полета перспективного снаряда от угла бросания

Также проведено сравнение скоростей перспективного снаряда с 3-О-16 «Склад» на траектории. График представлен на рисунке 4.

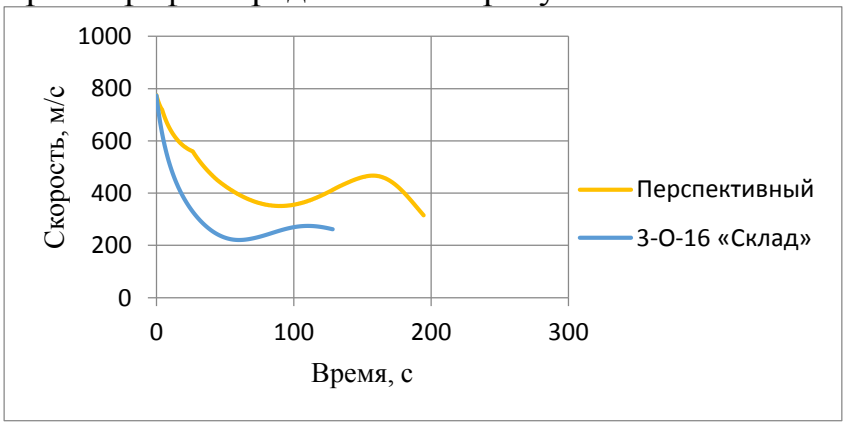


Рисунок 4 – Зависимость скоростей перспективного снаряда и 3-О-16 «Склад» от времени

По графику видно, что перспективный снаряд имеет значительно меньшее замедление во время движения по траектории.

Таким образом перспективный снаряд, при начальной скорости в 770 м/с, имеет максимальную дальность полета большую 65 км, что превышает дальность полета 3-О-16 «Склад» более, чем в 2 раза.

Библиографический список

1. Douglas W.S., Airland Battle Doctrine / W.S. Douglas.–Center For Naval Analyses, 1988.– 45 p.
2. Army Field Manual, FM 100-5, Operations, 1993.
3. Руссков В.Ф., Основы проектирования кассетных артиллерийских боеприпасов: учебное пособие / В.Ф. Руссков, Е.Н. Никулин; Балт. гос. техн. ут-т. – СПБ., 2013. – 218 с.
4. Дмитриевский, А.А. Внешняя баллистика: Учебник для студентов вузов / А.А. Дмитриевский, Л.И. Лысенко. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Изд-во Машиностроение. – 2005. –608 с.
5. Чурбанов, Е.В. Краткий курс баллистики: Учебное пособие. / Е.В. Чурбанов. – Изд. 2-е, испр. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т. – 2006. – 291 с.
6. Космодемьянский А.А., Курс теоретической механики / А.А. Космодемьянский. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Просвещение. – 1965. – Ч. II. – 400 с.
7. Теория реактивных двигателей. Рабочий процесс и характеристики / Б.С. Стечкин [и др.]; под ред. Б.С. Стечкина. – М.: Гос. изд. оборон. пром. – 1958.- 533 с.
8. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч.: Учеб. руководство: Для вузов / Г.Н. Абрамович. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М. : Наука. – 1991. – Ч.1. – 600 с.
9. Основы проектирования ракетно-прямоточных двигателей для беспилотных летательных аппаратов / Б.В. Орлов [и др.]. – М.: Машиностроение. – 1967. – 424 с.
10. Кэрт Б. Э., Математическое моделирование и экспериментальная отработка систем разделения реактивных снарядов в 2 ч.: Учебное пособие для вузов / Б.Э. Кэрт, В.И. Козлов., Н.А. Макаровец; под ред. Н.А. Макаровца – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – Ч.1. – 240 с., Ч.2. – 260 с.

BALLISTIC FUNKTIONING CALCULATION OF THE LONG RANGE CLUSTER PROJECTILE WITH AN ACCELERATION DEVICE

Kert B.E., Panchenko A.V.
Kert Boris Evaldovich, D.Sc. (Engineering), Professor, Head of department E3, ***kert@mail.ru***
Panchenko Anton Vadimovich, Assistant E3, ***AnPan96@mail.ru***
Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D.F. Ustinov, 1-st Krasnoarmeyskaya st., 1, St. Petersburg, 190005

Abstract

Increasing firing range is one of the dominant trend in the development of field artillery forces and its projectiles. This is because of views on present military operation as a process that takes place on a large space. According to the concept of Airland Battle-2000 which placed in the military doctrines of the United States and NATO, zone of combat action range for divisions is 70 km [1], [2], which bigger than domestic equal 25-30 km [3].

The most important is increasing firing range for cluster projectiles that traditionally have less than half of high-explosive projectiles range, due to insufficient structural strength. Therefore, a rational way to increase firing range of a domestic cluster projectiles can be provided by supplying it with a direct-flow jet engine.

Keyword

Cluster projectile, acceleration devise, design scheme, pasty fuel, ballistic operation, firing range.

УДК 623.454. 52

АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ ОТ ПРОТИВОТАНКОВЫХ СРЕДСТВ

Шелгинский Александр Юрьевич, курсант,
Бумарсков Дмитрий Александрович к.т.н.
Самойлов Леонид Александрович, доцент
Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия,
г. Новосибирск, ул. Иванова,49
Шелгинский А.Ю., e-mail shura.shelginskiy@yandex.ru
Бумарсков Д.А., e-mail bumarskov1@gmail.com
Самойлов Л.А., e-mail lenya.samoylov.1958@mail.ru
Адрес для корреспонденции: ***Самойлов Леонид Александрович,***
Новосибирское высшее военное командное училище, Россия,
630117, г. Новосибирск, ул. Иванова,49, тел 8(383)332-50-45. Контактные телефоны:8-913-913-50-19, 8-913-955-06-80

Аннотация:
В статье раскрыты основные направления защиты объектов бронетанкового вооружения от противотанковых средств. Рассмотрены основные требования к составным частям комплексной защиты и показаны пути их выполнения.

Ключевые слова: ПТС, ОБТВ, комплексная защита, КАЗ, динамическая защита.

Проблема защиты объектов бронетанкового вооружения (ОБТВ) многогранна и может рассматривается в разных аспектах. Закономерно, что с появлением ОБТВ возник новый вид вооружения – противотанковые средства (ПТС) с увеличением могущества которых, увеличивается и защищенность объектов: увеличивается толщина брони, добавляется динамическая защита, усовершенствуется компоновка машины (максимизация эффективной толщины брони от ракурса) или используется усовершенствованная броня. Все эти меры хороши, однако растет вес, габариты и стоимость машины. Поэтому специалисты различных стран ведут работы по разработке других способов защиты, ОБТВ от ПТС.

В основе общих требований к комплексной защите ОБТВ лежат предельные (зачастую прогнозируемые) возможности средств поражения.

Разнородность поражающих факторов, существенные различия в физической природе их воздействия не позволяют обеспечить ОБТВ полную защиту; возможно лишь достижение разумного компромисса. Когда говорят о сбалансированной системе защиты, то имеют в виду максимальный уровень защищенности от наиболее важных средств поражения при предельных возможностях защиты.

Учитывая, что при вышеперечисленных ограничениях создать комплексную систему защиты с одинаковым уровнем защищенности от всех средств поражения

не представляется возможным, необходимо заранее определить основные системы защиты ОБТВ в наиболее тяжелых условиях их боевого применения и именно на них затратить большую часть массы, выделяемой на защиту; при этом придется согласиться с ограничением возможностей других систем защиты. Более того, при обеспечении защиты от основных средств поражения необходимо разумно выделить зоны максимальной защищенности.

Необходимо, чтобы комплексная защита включала в себя средства, обеспечивающие защищенность ОБТВ от нескольких поражающих факторов одновременно.

Необходимость рационального расхода массы обуславливает следующий подход к комплексированию систем защиты:

- снижение вероятности попадания ПТС в ОБТВ путем снижения его заметности в различных спектральных диапазонах электромагнитного излучения (пассивная неконтактная защита);

- снижение потока подлетающих к ОБТВ ПТС системами противодействия и ложными целями;

- снижение могущества подлетающих ОБТВ боеприпасов за счет использования активной и динамической защиты за счет применения комбинированной брони и композиционных материалов.

Основные требования к составным частям комплексной защиты можно сформулировать следующим образом:

1. Средства снижения вероятности обнаружения ОБТВ посредством уменьшения их контраста, маскировки и противодействия должны обеспечивать соответственно уменьшение дальности обнаружения ОБТВ техническими средствами разведки до дальности эффективного огня собственного оружия и максимально снизить вероятность попадания управляемым противотанковым боеприпасом, воздействуя на траекторию его полета.

2. Броневая защита должна предотвращать проникание во внутренние отделения поражающих элементов бронебойных подкалиберных и кумулятивных снарядов в заданных диапазонах дальностей и курсовых углов обстрела. Горизонтальные участки брони корпуса и башни, борта корпуса должны выдерживать без деформаций фугасное действие осколочно-фугасных и кумулятивных снарядов. В верхней и нижней лобовых деталях броневой защиты должна быть максимально сокращена площадь ослабленной (например, отверстиями) брони. Следует стремиться к тому, чтобы по возможности большая часть поверхности лобовых деталей имела углы наклона, превышающие углы рикошетирования БПС и срабатывания взрывателей ПТС

3. Головки прицелов и приборов наблюдения необходимо размещать на крышах башни и корпуса таким образом, чтобы они не попадали в зону разлета осколков при подрыве лобовых частях башни и корпуса осколочно-фугасных и кумулятивных боеприпасов. Конфигурация лобовых частей башни и корпуса должна предотвращать распространение осколков на другие части объекта. Противоосколочная защита экипажа, боеприпасов и наиболее важных систем при

пробитии брони должна предотвратить полную потерю их боеспособности или выход в категорию безвозвратных потерь.

4.Конструкция противоосколочных защитных средств не должна мешать боевой деятельности экипажа; детали соответствующих устройств должны быть выполнены из негорючих или неподдерживающих горение материалов.

5. Компоновка ОБТВ должна обеспечивать размещение топлива и боеприпасов в изолированных от обитаемых отделений броневых отсеках, снабженных устройствами для тушения пожара в случае его возникновения.

6. Противоминная защита должна обеспечивать сохранение боеспособности экипажа и функционирование внутреннего оборудования при подрыве на мине с заданной массой взрывчатого вещества. Кроме того, должно быть возможным восстановление ходовой части после воздействия противотанковых мин войсковыми ремонтными средствами в полевых условиях в кратчайшие сроки.

Способы и средства снижения вероятности попадания ПТС

1.Увеличение ошибок наведения ПТС

В настоящее время основными способами увеличения ошибок наведения ПТС являются:

-применение аэрозольных завес;

-применение ложных целей;

-использование подвижности.

На современных отечественных и зарубежных ОБТВ маскирующие аэрозольные завесы могут устанавливаться с помощью системы пуска дымовых гранат, системы постановки завесы комплекса оптико-электронного подавления и системы дымопуска типа термической дымовой аппаратуры (ТДА).

Для создания помех ПТУР, имеющим полуактивную лазерную ГСН, работающую по отраженному от цели лазерному лучу, а также артиллерийским системам и некоторым типам ПТУР с которыми используются лазерные дальномеры, а также для маскировки объектов постановкой дымовой завесы используют систему постановки аэрозольных завес. (СПАЗ), входящую в состав комплекса оптико-электронного подавления которая обеспечивает:

- световую и звуковую индикацию об облучении объекта лазерными средствами;

- отстрел в направлении облучения дымовой гранаты, образующей дымовое облако, которое закрывает объект от противника, ослабляет и частично отражает лазерное излучение, нарушая тем самым работу головок самонаведения и затрудняет работу наводчиков артиллерийских систем;

-одновременный отстрел из гранат всех заряженных пусковых установок (в аварийных ситуациях);

-самоконтроль системы.

К индивидуальным средствам аэрозольной защиты ОБТВ кроме системы пуска дымовых гранат, относится также термодымовая аппаратура (ТДА)**,** которая может быть использована и для решения задач по групповой защите боевых порядков подразделений от прицельного огня противника при выдвижении,

развертывании, прикрытии выхода из-под огня противника, ведении маневра по охвату и обходу противника, а также для обеспечения быстрого отрыва от противника, эвакуации поврежденной техники под огнем противника.

2.Воздействие на каналы управления полетом ПТС

В настоящее время в отечественном и зарубежном танкостроении станция оптико-электронного подавления, входящая в состав комплекса оптико-электронного противодействия, является основным средством подавления каналов управления полетом ПТС.

Для нарушения процесса наведения на ОБТВ управляемого боеприпаса в большинстве случаев требуется жесткая синхронизация момента его подлета и действия помехи [2]. Чтобы ее обеспечить, нужно успеть за время атаки собрать достаточную информацию о противнике, идентифицировать атакующее противотанковые средства (ПТС), 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.

3.Поражение снаряда на траектории его полета

Бурное развитие ПТС и непрерывный рост их бронепробиваемости вынудили специалистов в области бронетанкового вооружения искать новые средства защиты ОБТВ, не приводящих к существенному увеличению их габаритно-массовых характеристик. В результате этих поисков была обоснована необходимость оснащения защитными устройствами активного типа, обеспечивающими поражение ПТС на траектории его (ее) полета. Эти устройства в отечественном танкостроении получили название комплексов активной защиты. (КАЗ).

Принципиальной особенностью КАЗ является формирование защитного (поражающего) воздействия на ПТС на траектории его полета до момента попадания его в боевую машину. Тем самым существенно снижается и даже исключается возможность нормального срабатывания этого ПТС на броне, т.е. КАЗ способен уничтожать или, по крайней мере, снижать эффективность ПТС до его встречи с броневой защитой.

Для осуществления этого необходимо, чтобы были выполнены два последовательных действия**.**

Во-первых, подлетающий снаряд должен быть обнаружен на некотором расстоянии от защищаемой машины.

Во-вторых, будучи обнаруженным, снаряд должен быть уничтожен или бронебойное действие его боевой части должно быть существенно снижено, прежде чем он достигнет защищаемой машины.

Поскольку возник вопрос об обнаружении, то наиболее очевидным способом обнаружения снарядов в настоящее время является радиолокация. Однако, использование радиолокатора в информационно-управляющем устройстве КАЗ сопряжено с рядом недостатков. Одним из основных недостатков является сложность обнаружения ПТС на фоне помех, возникающих при применении радиолокатора непосредственно у земной поверхности.

Радиолокационные системы активны и, следовательно, противник сможет легче обнаружить оснащенные ими боевые машины. Кроме того, радиолокационные системы в принципе можно заглушить шумовыми помехами. И тем не менее радиолокатор все же используется в качестве средства обнаружения ПТС в современных КАЗ.

Подлетающий к боевой машине снаряд после его обнаружения должен быть либо уничтожен, либо должна быть существенно повреждена его боевая часть. Этого можно достичь за счет пуска в направлении снаряда боеприпаса с головкой самонаведения или отстрела специального неуправляемого снаряда с фугасной, осколочной или осколочно-фугасной боевой частью. Для поражения тонкокорпусных ПТС типа ПТУР может быть применен пулеметный обстрел. Каждое из названных средств противодействия, входящих в исполнительное устройство КАЗ имеет свои достоинства и недостатки. Так, эффективность фугасной боевой части падает гораздо быстрее с расстоянием, чем эффективность осколочной боевой части. Однако фугасная боевая часть требует меньшей точности решения задачи встречи ПТС с зоной воздействия исполнительного устройства КАЗ, и ее эффективность в меньшей степени зависит от особенностей конструкции подлетающего ПТС.

4.Динамическая защита

Динамическая защита (ДЗ) ОБТВ основана на воздействии продуктов взрыва заряда ВВ на ПТС, повышает уровень его защиты как от кумулятивных, так и от бронебойных подкалиберных снарядов (БПС), т.е. ДЗ является универсальной. Это приводит к расфокусировке кумулятивной струи и ослаблению ее действия на броню. Разработаны образцы многослойных контейнеров, которые могут противодействовать тандемным кумулятивным боеприпасам [3].

Таким образом исходя из вышеизложенного следует, что в современных условиях для защиты объектов бронетанкового вооружения от ПТС может использоваться обширный арсенал, обязательным элементом оснащения является комплексирование и взаимовыгодное применение средств как пассивной, так и неконтактной защиты.

Библиографический список

1.Гуменюк Г.А., Евдокимов В.И., Андрющенко М.С. Неконтактная защита боевой техники // С-П. 2009 С.101

2. Васьковский М.И. Анализ уязвимости противотанковых средств в условиях развития систем активной защиты танков. // Артиллерийское и стрелковое вооружение. 2002. № 3. С. 42-47.

3. Тарасенко А., Чепков И. Основные направления развития защитных устройств динамического типа. // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра.2007. №5. С14-19, №7.17-22

ASPECTS OF PROTECTION OF ARMORED OBJECTS FROM ANTI-TANK MEANS

Shelginskiy Alexander Yurievich, cadet,
Bumarskov Dmitry Aleksandrovich, к.т.н.
Samoilov Leonid Alexandrovich, dotcent
Novosibirsk higher military command school, 630117, Russia, Novosibirsk, Ivanova, 49
Shelginskiy A. Y. e-mail shura.shelginskiy@yandex.ru
Bumarskov D. A., e-mail bumarskov1@gmail.com
Samoilov L, A. e-mail lenya.samoylov.1958@mail.ru

Address for correspondance: *Samoilov Leonid Alexandrovich*
Novosibirsk higher military command school, 630117, Russia, Novosibirsk, Ivanova, 49, tel. 8(383)332-50-45. Contact numbers: 8-913-913-50-19, 8-913-955-06-80

Abstract:
The article describes the main tendencies of protection of armored objects from anti-tank means. It's also overviewed the main claims to component parts of complex protection and also the ways of their completement .

Keywords: PTS, OBTV, complex protection, KAZ, dynamic protection.

УДК 662.215

МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ГРАНИПОРА-ФМ НА УДАРНОЕ ОБЪЕМНОЕ СЖАТИЕ В ЖИДКОСТИ

Сидорчев Андрей Владимирович, студент; Альдебенев Николай Сергеевич, инженер; Письменный Павел Владимирович, старший преподаватель; Веревкин Денис Васильевич, инженер.
Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
Сидорчев А.В, email andrth@mail.ru
Альдебенев Н.С., email nikaldy@yandex.ru
Письменный П.В., email pvp__@rambler.ru
Веревкин Д.В., email mukumreg@yandex.ru
Адрес для корреспонденции: кафедра «Технология твердых химических веществ», Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 (Главный корпус)

Аннотация. Предложена методика, реализующая ударное объемное сжатие структурно неоднородных взрывчатых материалов. Получены результаты испытаний на чувствительность образцов гранипора-ФМ в жидкости.

Ключевые слова:
Гранипор-ФМ, адиабатическое сжатие, ударное воздействие

Пороха боеприпасов ствольной артиллерии при выстреле и в процессе горения на временном интервале до 20 мс испытывают значительные перегрузки, которые не должны приводить к разрушению пороховых элементов (ПЭ) для обеспечения стабильности горения. Для определения характера фрагментации ПЭ при транспортировке был выполнен ряд экспериментов по ударному воздействию на массив ПЭ.

По результатам испытаний установлено, что термическое разложение происходит именно в каналах частиц. Из этого можно сделать вывод, что при ударе реализуется механизм адиабатического сжатия воздуха. При вертикальном ударе нагрев газа в каналах наступает быстрее, чем происходит разрушение ПЭ и выход сжатого газа из каналов в атмосферу. При горизонтальном ударе каналы открыты и к моменту деформации уже соединены с атмосферой. Таким образом, проведенными модельными испытаниями показано, что канальные пороха представляют опасность при эксплуатации в условиях вероятного ударного воздействия на ПЭ.

Основным фактором, влияющим на реализацию адиабатического сжатия, является прочность материала ПЭ. Воздействие флегматизирующих добавок приводит к изменению пластичности.

Прочность материала ПЭ оказывает влияние на чувствительность к механическим воздействиям при ударном нагружении целых ПЭ. Если при ударе

материал ПЭ деформирован и разрушен, то воздух будет уходить из каналов и механизм адиабатического нагревания газов в каналах не будет реализован.

В настоящее время отсутствуют методики, реализующие ударное объемное сжатие структурно неоднородных взрывчатых материалов [1]. Для реализации адиабатического сжатия ПЭ, находящихся в исходном состоянии, предлагается проводить испытания сбросом груза на ПЭ в насыпном виде, размещенные в жидкости – маловязком масле. Для инициирования ударом нескольких ПЭ использован большой копер К-44-IV с грузом 210 кг и высотой сброса до 1,5 м.

При реализации методики предлагается брать ПЭ в определенном количестве, упаковка их при размещении в испытательной сборке обеспечивает отсутствие касания и сдавливания роликами при ударе груза копра. Общая масса навески должна лежать в пределах (10 … 13) г.

При реализации методики в муфте диаметром 30 мм размещали 12 ПЭ и проводили по 3 опыта. Результат испытаний оценивали по звуку, а также осмотру и выявлению дефектов, связанных с термохимическим разложением хотя бы в одном элементе. Результаты экспериментов показывают, что очаги разложения находятся преимущественно в каналах и обнаруживаются по потемнению каналов в неразрушенных ПЭ (рисунок 1). Судить о срабатывании можно по наличию дыма при разборке бомбы с испытательной сборкой. Изменение цвета на деформированных поверхностях пороховых элементов за взрыв не принимается.

Рис. 1. Примеры положительных результатов испытаний

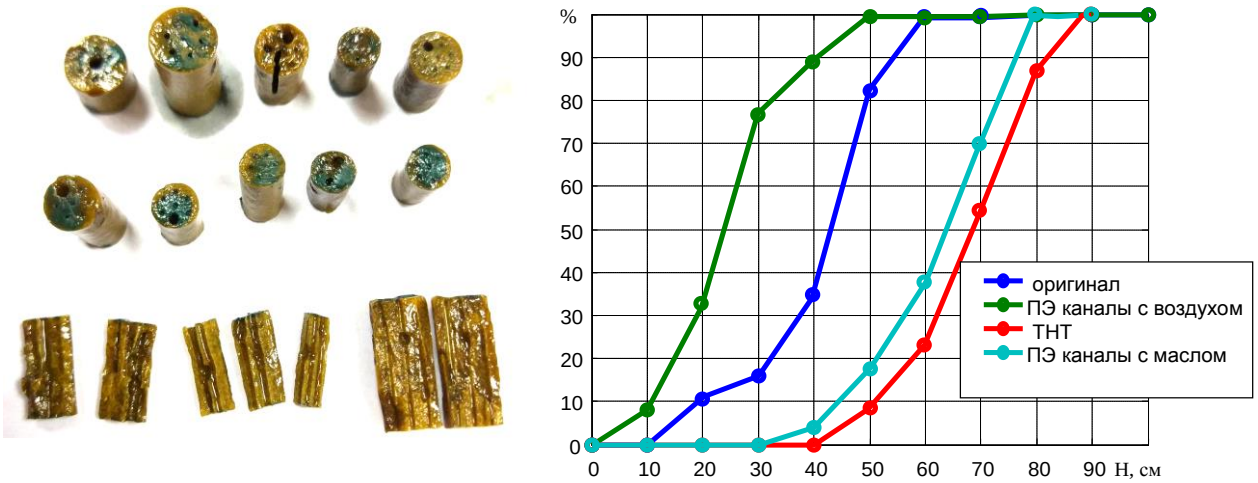
Основное выделение тепла при ударном объемном сжатии пороховых элементов происходит в каналах, заполненных воздухом.

Следует, что для понижения чувствительности необходимо вытеснение воздуха из каналов инертной жидкостью .Заполнение каналов жидкостью можно реализовать одним из двух способов: под давлением или в вакууме в герметичной емкости.

При проведении экспериментов по чувствительности к ударному объемному сжатию и далее при оценке эффективности использовалось

вакуумирование пороховых элементов. При модельных испытаниях сравнивали результаты ударного объемного сжатия тестовых образцов с «эталонным», допущенным к применению (тротил чешуированный). Испытания проводились с целью определения влияния воздушных включений в каналах ПЭ на чувствительность к ударному объемному сжатию. Испытывали образцы гранипора-ФМ в следующих состояниях: ПЭ без какой-либо предварительной обработки; проба ПЭ с каналами, принудительно освобожденными от масла – каналы продували потоком воздуха и торцы ПЭ запечатывали пластилином; проба ПЭ с каналами, принудительно заполненными маслом – перемешивание в масле под вакуумом. На рисунке 2 (а) показан характерный внешний вид пороховых элементов после испытаний с «запечатанными» каналами.

Установлено, что термическое разложение начинается с разогрева воздушных пузырьков и дальнейшему выгоранию пороха вдоль каналов с различной интенсивностью. Анализ разрушенных образцов показал, что горение происходит именно по каналам. В каналах с остановившимся горением присутствовали очаги реакции в виде расширения каналов и «пузырьков», в которых начиналось горение. В ходе испытаний не было зафиксировано полного сгорания или взрывчатого превращения образцов, сопровождавшихся звуковым эффектом. Наличие жидкого рабочего тела способствует отводу тепла из зоны горения. Признаки термического разложения тротила проявлялись в потемнении чешуек и дымлении при вскрытии бомбы после испытаний. Для указанных четырех вариантов ВМ были построены кривые частости (рисунок 2, б).



а) *б)*

Рис. 2. Результаты испытаний на чувствительность к ударному объемному сжатию на копре К-44-IV:
а) ПЭ с запечатанными каналами с воздухом; б) кривые частости для выбранных веществ

Максимальную высоту сброса брали равной 1 м, минимальную – 10 см. Наибольшей чувствительностью обладают ПЭ, каналы которых были заполнены воздухом и запечатаны пластилином. Как и было предсказано математическим

моделированием, срабатывание испытуемых образцов наблюдалось при малых высотах (на минимальной установленной высоте сброса 10 см было получено значение частости 7,8 %), а нижний предел установить не удалось (по всей видимости, это значение составляет менее 5 см). Верхний предел находится на уровне 60 см. Меньшей чувствительностью обладал оригинальный гранипор-ФМ. Нижний предел можно принять за 10 см, верхний составлял 70 см. Далее по шкале чувствительности находится оригинальный артиллерийский порох 12/7, флегматизированный маслом в вакууме. Нижний предел принят за 30 см. Верхний предел – 80 см. Наименьшей чувствительностью обладает тротиловая чешуйка. Нижний предел принят за 40 см, верхний предел – 90 см [2].

Полученные данные позволяют провести сравнительный анализ чувствительности и доказать справедливость предположения о доминирующем механизме инициирования, который действительно состоит в объемном сжатии воздуха в каналах.

Библиографический список:

1. Рахманин О.С. Применение утилизированных артиллерийских порохов в качестве промышленных ВВ с учетом требований ТР ТС 028/2012 [Текст] / А.П. Палий, О.Ю. Глазунова, С.Ю. Ганигин // 44-я научно-техническая конференция «Проектирование систем». - М: МГТУ им. Баумана, 2017.

2. Ганигин С.Ю. Особенности применения утилизируемых порохов [Текст] / А.П. Палий, Н.А. Плохов // Труды XVIII всероссийской научно-технической конференции «Наука, промышленность, оборона». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. - С.53-56.

TEST METHODS OF GRANIPOR-FO FOR SHOCK-BACKGROUND COMPRESSION IN LIQUID

Sidorchev A.V., email andrth@mail.ru
Aldebenev N.S., email nikaldy@yandex.ru
Pismennyy., email pvp__@rambler.ru
Verevkin D.V., email mukumreg@yandex.ru
Samara State Technical Univerrity, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia, 443100

Abstract: The technique is proposed that implements the shock volume compression of structurally inhomogeneous explosive materials. The results of tests on the sensitivity of samples of granipor-FO in the liquid.

Keywords: granipor-FO, adiabatic compression, bang impact.

УДК 536.2: 623.5

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАПСЮЛЯ-ВОСПЛАМЕНИТЕЛЯ ДЛЯ СТРЕЛКОВОГО ПАТРОНА

Ставицкий Андрей Юрьевич; Кэрт Борис Эвальдович, д.т.н., профессор
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
198005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул.,1
Адрес для корреспонденции: ***Кэрт Борис Эвальдович,*** БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 198005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул.,1
тел. 8 (812) 495-77-90**.**, email kert@mail.ru

Аннотация:
В данной работе сформирован вариант расчетной методики оценки функционирования стрелкового патрона на стадии воспламенения метательного заряда, позволяющий учитывать влияние свойств элементов изделия на процесс воспламенения. Произведено математическое моделирование внутрибаллистических процессов, проходящих в системе капсюль-воспламенитель – метательный заряд патрона. Проведён численный эксперимент по выбору параметров согласования, обеспечивающий совпадение расчётного времени воспламенения с экспериментальным. Проведено исследование влияния начальной температуры на длительность процесса воспламенения.

Ключевые слова:
Капсюль-воспламенитель, средство инициирования, внутренняя баллистика, ударно-воспламенительный состав, пороховой метательный заряд, математическая модель.

1. Введение

Актуальным вопросом проектирования выстрелов остаётся создание средства инициирования, способного воспламенить новый пороховой метательный заряд повышенного могущества. При снабжении гильзы порохом, значительно отличающимся по своим характеристикам от штатного заряда, возникает необходимость улучшить капсюль-воспламенитель, увеличив его воспламеняющую способность[1].

Целью данной работы является расчётное обоснование рациональных параметров капсюля-воспламенителя, обеспечивающих бесперебойное функционирование патрона на стадии воспламенения метательного заряда.

Объектом исследования является стрелковый патрон. Предмет исследования – процесс тепло- и массо-обмена в системе капсюль-воспламенитель – метательный заряд патрона.

2. Теория

Физическая постановка задачи. При расчёте данной модели приняты следующие допущения: главную роль в процессе играет конвективный теплообмен между газовой фазой, стенками конструкции и зёрнами пороха; процессы заполнения и опорожнения рабочих объёмов конструкции считаются

квазистатическими и рассчитываются в термодинамическом приближении; лучистым теплообменом в системе можно пренебречь; теплопроводность стенок конструкции и зёрен пороха считается одномерной в направлении нормали к поверхности теплообмена; тепловыделение в объёме зёрен обусловлено развитием экзотермических реакций; термическое разложение пороха не учитывается; в качестве критерия воспламенения пороха используется достижение поверхностью зёрен заданной температуры вспышки.

Процесс воспламенения порохового метательного заряда от капсюля-воспламенителя проходит по следующей модели (рис. 1).

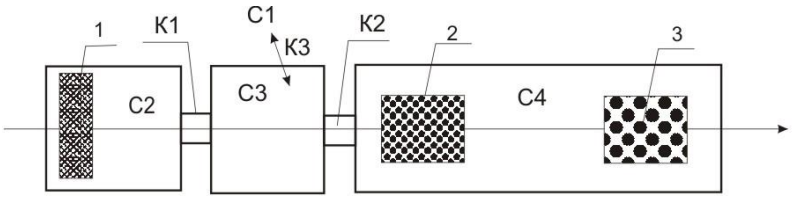


Рисунок 1 – Схема выстрела (С1 – атмосфера, С2 – объем капсюля перед наковаленкой, С3 – объем капсюля за наковаленкой, С4 – объем гильзы, К1 – связь через отверстия в наковаленке, К2 – воспламенительное отверстие гильзы, К3 – связь полости капсюля с атмосферой через боковой зазор, 1 – инициирующий заряд ВВ, 2, 3 – части комбинированного метательного заряда пороха)

Математическая модель изменения параметров типового сосуда включает в себя следующие уравнения [2]:

Уравнение изменения массы Y_1 газовой фазы в сосуде:

$$\dot{Y}_1 = \sum_{i=1}^{ns} \delta_{ai}^0 \Pi_{ai}\,, \qquad (1)$$

где Π_{ai} – газоприход из смежного сосуда i, $\delta_{ai}^0 = 1$, если сосуд имеет газодинамическую связь со смежным сосудом i;

Уравнение изменения массовой доли ξ_{11} первого компонента газовой фазы:

$$\dot{\xi}_{11} = \{ \sum_{i-1}^{ns} \delta_{ai}^0 (\xi_{1ai} - \xi_{11}) \Pi_{ai} \} / Y_1\,, \qquad (2)$$

где ξ_{1i} – массовая доля первого компонента в смежном сосуде i.

Удельная внутренняя энергия бинарной газовой смеси выражается следующим образом [3]:

$$E_\Gamma = \xi_1 E_1(\mathrm{T}) + \xi_2 E_2(\mathrm{T}) \qquad (3)$$

При заданном значении E_Γ уравнение (3) представляет собой нелинейное алгебраическое уравнение для определения температуры газовой фазы, которая рассчитывается решением этого уравнения итерационным методом Ньютона на каждом шаге по времени [3].

Уравнение изменения внутренней энергии $E_Г$ газовой фазы в сосуде [2]:

$$\dot{E}_Г = \{ \sum_{i=1}^{ns} \delta_{ai}^0 (I_{ai} - E_г)\, \Pi_{ai} - Q \} / Y_1\,, \qquad (4)$$

где I_{ai} – полная удельная энтальпия газа в сосуде; $Q = Q_s + Q_T$ - сумма теплового потока направленного в стенки сосуда и зёрна пороха Q_s и теплового потока Q_T расходуемого на прогрев твердого остатка.

Уравнение теплопроводности для прогреваемых стенок конструкции [3]:

$$\rho C\frac{\partial T}{\partial t}-\frac{1}{x_2^{\sigma}}\frac{\partial}{\partial x_2}x_2^{\sigma}\lambda_2\frac{\partial T}{\partial x_2}-\rho\varepsilon=0\,, \qquad (5)$$

где ρ – плотность, C – удельная теплопроводность, λ_2 – поперечная удельная теплопроводность, ε – мощность тепловыделения в единице объема материала стенки. В частном случае получаем одномерное уравнение теплопроводности в поперечном направлении в плоской $(\sigma=0)$, цилиндрической $(\sigma=1)$, или сферической $(\sigma=2)$ стенке.

Конвективный тепловой поток от газовой фазы к участку i поверхности теплообмена рассчитывается на основании закона конвективного теплообмена Ньютона [2]. При этом, если стенка считается равномерно прогретой, в том числе изотермической, или в ней учитывается только поперечная теплопроводность, то

$$\mathrm{Q}_k^i=F_T^i q_k^i\,, \qquad (6)$$

где q_k^i- удельный конвективный тепловой поток от газа к стенке на участке теплообмена i, T – температура газовой фазы в сосуде, T_i – температура поверхности участка i поверхности теплообмена стенок. На поверхности теплообмена газа со стенками ставится граничное условие третьего рода в форме

$$\lambda_i\frac{\partial T_i}{\partial x_j}=\frac{\lambda}{d_{xi}}Nu_i(T_i-T)\,, \qquad (7)$$

где j – номер нормальной к поверхности теплообмена стенки координаты; $k=1+\delta_j^1$ – номер координаты, отсчитанной вдоль поверхности теплообмена; λ - теплопроводность газа, контактирующего со стенкой на участке i; число Нуссельта $Nu_i=Nu_i(Gr_i*Pr_i)$ рассчитывалось по формуле Лорренца-Михеева с поправочным множителем ε, который рассматривался как параметр согласования расчета с экспериментом.

3. Результаты

Тестовый расчет экспериментально исследованного процесса воспламенения позволил выбрать значение ε (рис. 2). При ε=6.227 момент достижения температурой поверхности пороха значения температуры вспышки совпал с экспериментально зафиксированным.

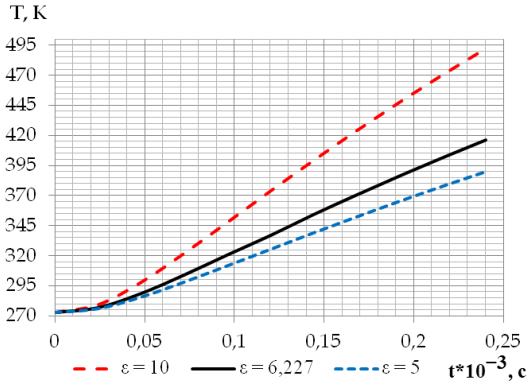


Рисунок 2 – график зависимости температуры поверхности пороха от времени при разных значениях коэффициента ε

Расчёт времени воспламенения порохового метательного заряда при использовании разных материалов стенок сосудов представлены на рисунке 3.

Расчёт времени воспламенения порохового метательного заряда при различных значениях начальной температуры приведен на рисунке 4.

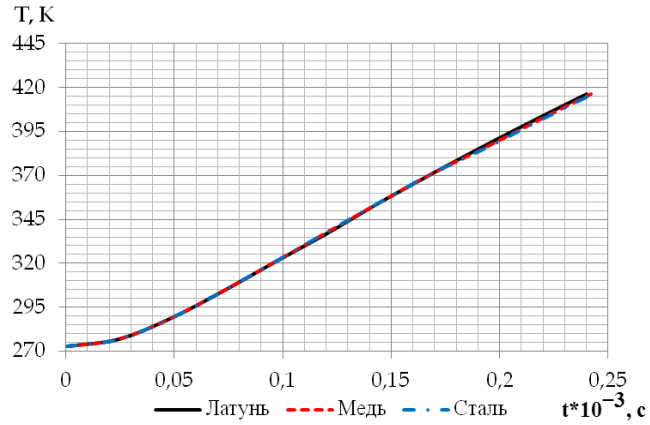


Рисунок 3 – зависимость температуры поверхности пороха от времени при различных материалах стенок конструкции

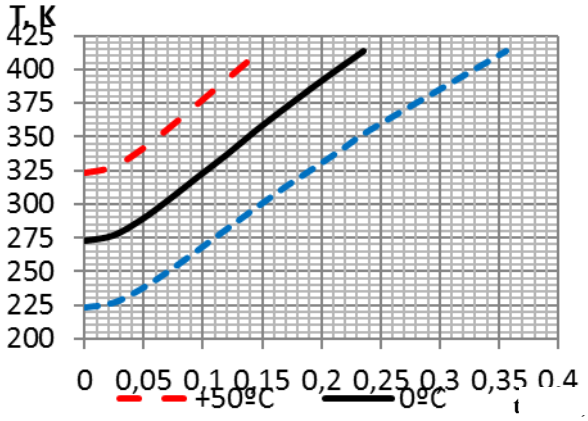


Рисунок 4 – зависимость температуры поверхности пороха от времени при различных начальных значениях температуры

4. Выводы

Расчёты показали, что изменение материалов данного изделия не оказывает большого влияния на задержку воспламенения метательного заряда. При больших перепадах начальной температуры значительно меняется время воспламенения пороха. Наиболее существенное изменение параметров давления, температуры и плотности газа в капсюле имеет место в полости под наковаленкой (сосуд С2). В других сосудах изменение этих параметров менее существенно из-за небольшой продолжительности эксперимента. Прогрев стенок гильзы от ударно-воспламенительного состава капсюля за время воспламенения заряда оказался незначительным, но прогрев зёрен пороха от заряда ТНРС был на уровне, достаточном для воспламенения метательного заряда.

Библиографический список:

1. М.Е.Власенко. Средства воспламенения боеприпасной техники. – Санкт-Петербург: АО «НПП «Краснознамёнец», 2016.

2. Б.Э.Кэрт. Математическое моделирование динамики газожидкостных тепломеханических систем ракетно-артиллерийской техники. Часть I. Внутренняя баллистика многополостных пиромеханизмов.- СПб.: БГТУ, 2010. – 201с.

3. Б.Э.Кэрт, В.И. Козлов, Н.А. Макаровец. Математическое моделирование и экспериментальная отработка систем разделения реактивных снарядов / Под редакцией Н.А.Макаровца. – Тула, Санкт-Петербург: ФГУП «ГНПП «Сплав». 2006.-652 с.

ESTIMATED JUSTIFICATION OF THE OPERATION OF THE FLAMMER CAPSULE FOR SHOOTER CARTRIDGE

Stavitskii Andrei Yurievich; Kert Boris Evaldovich, D. Sc. in Techn. Sc., Assoc. Prof
BSTU «Voenmeh»
198005, St. Peterburg, 1-st Krasnoarmeiskaya st, 1.tel. 8 (812) 495-77-90.,
Kert B. E. email kert@mail.ru

Annotation:

In this work, a version of the computational methodology for evaluating the functioning of a small cartridge at the stage of ignition of the propellant charge is formed, which allows to take into account the influence of the properties of the elements of the product on the ignition process. Mathematical modeling of the intraballistic processes taking place in the primer-igniter system - the projectile charge of the cartridge was made. A numerical experiment was conducted to select the matching parameters, which ensured that the calculated ignition time coincided with the experimental one. A study was made of the effect of the initial temperature on the duration of the ignition process.

Keywords:

Primer-igniter, initiation device, internal ballistics, impact-igniter composition, propellant powder charge, mathematical mod.

УДК 51-7

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Тонеев Иван Романович, аспирант; Глущенков Вячеслав Сергеевич к.ф-м.н.; Епифанов Владимир Борисович, д.т.н., профессор

Самарский Государственный Технический Университет, 443100, Россия, Самарская область, город Самара, улица Молодогвардейская, дом 244

Тонеев И. Р., toneeff@yandex.ru

Епифанов В.Б. htpkm@samgtu.ru

Адрес для корреспонденции: ***Епифанов Владимир Борисович***, Самарский Государственный Технический Университет, 443100, Россия, Самарская область, город Самара, улица Молодогвардейская, дом 244

Аннотация:

В работе представлена математическая модель, позволяющая прогнозировать эффект ползучести заряда композиционного материала (КМ) в длительном временном периоде. Данная характеристика влияет напрямую на продолжительность эксплуатации пороховых и твердотопливных блоков. Исследование ползучести необходимо при проектировании и дальнейшем выпуске изделий с применениемполимерных композиционных и высокоэнергетических материалов. Так как любое нарушение сплошности заряда приводит к появлению дополнительных поверхностей горения, нерасчётному подъёму давления и, следовательно, к ненормальной работе заряда и даже к разрушению системы.

Ключевые слова: заряд, сплошность, смесевые композиционные материалы, деформирование, коеффициент Пуассона.

Посвящается товарищу, другу, ученому Глущенкову В.С.

К ненормальному функционированию заряда приводит изменение его геометрической формы: деформирование заряда, изменение профиля канала под действием статичной нагрузки, например действие собственной массы заряда при нахождении его в стартовом положении, особенно в случае крупногабаритных зарядов топлив. Поэтому исследование эффекта ползучести зарядов из КМ является актуальным.

Полимерный материал при повышенном напряжении проявляет нелинейные физические свойства. Физические уравнения нелинейной вязкоупругости записываются в виде:

$$S_{ij} = 2\mu\left[\left(\sqrt{e_{ij}e_{ij}}, \varepsilon_{kk}\right)e_{ij} - \int_0^t R(t-\tau) f\left(\sqrt{e_{ijeij}}, \varepsilon_{kk}\right) de_{ij}(\tau)\right] \quad (1)$$

Здесь $S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{\sigma_{kk}}{3}\delta ij, \sqrt{e_{ij}e_{ij}}$ - интенсивность, $\sigma_{кк}$ – гидрастатическое давление, R*(t)* – ядро релаксации. Решая уравнение (1) относительно e_{ij} получим:

$$2\mu(\sqrt{e_{ij}e_{ij}}, \varepsilon_{kk}) = S_{ij} + \int_0^t \Gamma(t-\tau) d(S_{ij}\tau) \quad (2)$$

где Γ*(t)* – ядро ползучести.

В (1) и (2) уравнениях нелинейность означает зависимость материала констант от 1 и 2 инварианта деформации.

Мы будем рассматривать композиционный материал, механические свойства компонентов которого описываются реологическими моделями Фойгта. [1] Упругие элементы этих моделей подчиняются закону линейной упругости:

$$s_{ij}(\mathbf{r},t) = 2\mu_{m,s} e_{ij}(\mathbf{r},t),\ s = \overline{1,n},\ (3)$$

а вязкие — законам течения:

$$s_{ij}(\mathbf{r},t) = 2\eta_{m,s}\,\dot{e}_{ij}(\mathbf{r},t), \quad s = \overline{1,n}.\ (4)$$

Здесь s_{ij}, e_{ij} — девиаторные части тензоров напряжений и деформаций, $\mu_{m,s}$ — сдвиговые модули упругости; $\eta_{m,s}$ — коэффициенты сдвиговой вязкости материалов матрицы и включений соответственно, $\mathrm{r} = (x_1, x_2, x_3)$, t — время, точкой обозначено дифференцирование по времени, $c_{m,s}$ – объемная концентрация материала матрицы и включений соответственно.

$$c_m + \sum_{s=1}^{n} c_s = 1$$

Локальные уравнения состояния компонентов композиционного материала для модели Фойгта записываются в виде:

$$s_{ij}(\mathbf{r},t) = 2\mu_{m.,s} e_{ij}(\mathbf{r},t) + 2\eta_{m,s}\,\dot{e}_{ij}(\mathbf{r},t).(5)$$

Эффективные реологические соотношения ползучести композиционного материала, записанные в дифференциально-операторной форме, имеют вид:

$$\sum_{m=0}^{M} b_m D_m(\langle s_{ij}(t)\rangle) = \sum_{l=0}^{L} a_l D_l(\langle e_{ij}(t)\rangle),\ (6)$$

где $D_p\{\ldots\} = \left\{\frac{d}{dt}\right\}^p \{\ldots\}$

Соотношения (6) эквивалентны интегральным соотношениям:

$$\langle S_{ij}(t)\rangle = 2\int_0^t \mu^*(t-\tau) d\langle e_{ij}(\tau)\rangle,$$

$$\langle e_{ij}(t)\rangle = 2\int_0^t N^*(t-\tau) d\langle S_{ij}(\tau)\rangle,$$

где μ*(t) N*(t) – эффективные модули релаксации и ползучести соответственно, ⟨⟩ - среднее по объему величины.

Значения коэффициентов b_m, a_l определяются формулами:

$$2\overline{\mu}^*(p) = \frac{\sum_{m=0}^{M} a_m p^m}{\sum_{l=0}^{L} b_l p^l} \quad (7)$$

$$\vec{\mu}^* = \vec{\mu}_m + \frac{\sum_{s=1}^{n} [\overline{\mu}_s] c_s \alpha_s}{c_m + \sum_{s=1}^{n} c_s \alpha_s} \quad (8)$$

$$\alpha_s = \left(1 + \frac{2}{15}\frac{4-5\nu_m}{1-\nu_m}\frac{[\overline{\mu}_s]}{\overline{\mu}_m}\right)^{-1} \quad (9)$$

если в них положить $\overline{\mu}_{m,s} = \mu_{m,s} + p\eta_{m,s}$. Здесь $[f_s] = f_s - f_m$ — разность механических характеристик материалов при переходе через границу раздела фаз, ν_m — коэффициент Пуассона матрицы, p — параметр.

Пусть $n = 1$ и включения жесткие $(\eta_s \to \infty), (\mu_s \to \infty)$. Тогда коэффициенты в выражении (6) вычисляются по формулам:

$$a_0 = 2\mu_m\left(2c_m(4-5\nu_m) + 15c_s(1-\nu_m)\right),$$
$$a_1 = 2\eta_m\left(2c_m(4-5\nu_m) + 15c_s(1-\nu_m)\right),$$
$$b_0 = 2c_m(4-5\nu_m).$$

Макроскопические определяющие соотношения композиционного материала приводятся к виду:

$$s_{ij}(t) = 2\mu_m\left(1 + \frac{15c_s(1-\nu_m)}{2c_m(4-5\nu_m)}\right)e_{ij}(t) + 2\eta_m\left(1 + \frac{15c_s(1-\nu_m)}{2c_m(4-5\nu_m)}\right)\dot{e}_{ij}(t),$$

Интегрируя это дифференциальное уравнение при постоянном напряжении ($s_{ij}(t) = s_{ij} = const$) с учётом, что в начальный момент времени деформация равна нулю ($e_{ij}(0) = 0$), получим:

$$e_{ij}(t) = \frac{s_{ij}}{2\mu_m\left(1 + \frac{15c_s(1-\nu_m)}{2c_m(4-5\nu_m)}\right)}\left(1 - \exp\left(-\frac{\mu_m}{\eta_m}t\right)\right). \quad (10)$$

Здесь s_{ij}, e_{ij} — девиаторные части тензоров напряжений и деформаций, $\mu_{m,s}$ — сдвиговые модули упругости; $\eta_{m,s}$ — коэффициенты сдвиговой вязкости материалов матрицы и включений соответственно, t — время, точкой обозначено дифференцирование по времени, $c_{m,s}$ – объемная концентрация материала матрицы и включений соответственно, ν_m — коэффициент Пуассона матрицы.[2]

С целью упрощения проведения экспериментов первоначально была использована схема, в которой образец из КМ в высокоэластическом состоянии

высотой 40 мм и диаметром 10 мм помещали в муфту диаметром 10 мм. Нагрузки на образец осуществляли через стержень, соприкасающийся с образцом, путем помещения на площадку грузов весом: 1;1,5; 4 кг.

Было установлено, что в условиях одноосного сжатия, когда отсутствует возможность "бомбировки" опытные образцы состава не деформируется в течении 30 суток. [3]

Были взяты системы БК(30%) – KCl(60%): Al(9%):Уротропин(1%) и ЭД-20(30%) – KCl(60%): Al(9%):Уротропин(1%). Смеси отличающиеся ПСВ и собственно вязкостью матрицы, в которых суммарное количество сыпучих одинаково. В результате эксперимента получены зависимости e=f(t):

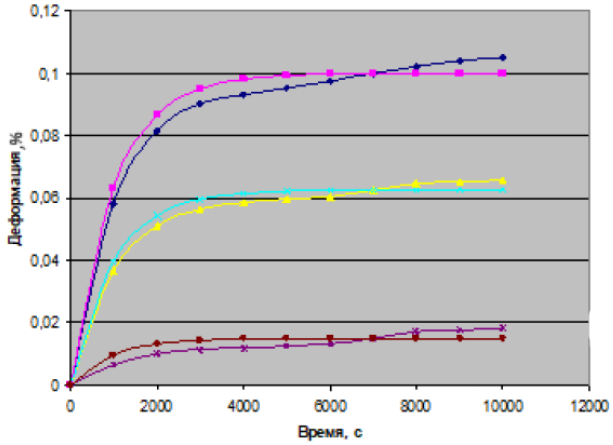


Рис. 1 Экспериментальные кривые ползучести для модельных составов

Получены следующие экспериментальные кривые (рис 1): 1,3,5 – экспериментальные кривые для БК (чистый), ЭД-20 (30%) – твердые включения (70%), БК (30%) – твердые включения (70%); 2,4,6 – теоретические кривые для БК (чистый), ЭД- 20 (30%) – твердые включения (70%), БК (30%) – твердые включения (70%).[4]

Сходимость экспериментальных и теоретических кривых была проверена и оказалась достаточной.

Данная работа является базой для дальнейших исследований. Необходимо отметить направление следующих этапов работы:

1) более детальное экспериментальное обоснование схемы деформирования образца;

2) расширение области исследуемых композиций

3) проверка достоверности численных значений.

Библиографический список:

1. Глущенков В.С., Архипова Н.А. Эффективные характеристики течения вязкопластических и неньютоновских многокомпонентных композиционных материалов. Самара: "Практические решения в технологии переработки полимерных и композициионных материалов"., ООО «ВЕКТОР», 2017 год.

2. Самборук А.Р., Амосов А.П., Ногачева Э.Р., Новые композиционные материалы состава полимер-металл для производства сверхпрочных изделий. Самара: "Практические решения в технологии переработки полимерных и композициионных материалов"., ООО «ВЕКТОР», 2017 год.

3. W. Jiang, G.D. Schutter, Y. Yuan, Degree of hydration based prediction of

early age basic creep and creep recovery of blended concrete, Cem. Concr. Compos. 48 (2) (2014) 83–90.

4. P. Rossi, J.L. Tailhan, F.L. Maou, Creep strain versus residual strain of a concrete loaded under various levels of compressive stress, Cem. Concr. Res. 51 (9) (2013) 32–37.

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING FOR PREDICTING THE CREEP OF PRODUCTS FROM POLYMER AND COMPOSITE MATERIALS

Toneev Ivan Romanovich, Post-graduate Student, toneeff@yandex.ru;
Glushenkov Vyacheslav Sergeevich, Ph.D. (Physics and Mathematics);
Epifanov ladimir Borisovich Ph. D., Professor, htpkm@samgtu.ru

Samara State Technical University, 443100, Russia, Samara region, Samara city, Molodogvardeyskaya st., 244

Abstract: The paper presents a mathematical model that allows predicting the creep effect of the composite material charge (CM) in a long time period. This characteristic directly affects the duration of the operation of powder and solid fuel blocks. The study of creep is necessary in the design and subsequent release of products using polymer composite and high-energy materials. Since any disruption of charge continuity leads to the appearance of additional combustion surfaces, an uncalculated rise in pressure and, consequently, to an abnormal charge operation and even to the destruction of the system. The composite material, the mechanical properties of the components, which are described by the Voigt rheological models, are considered.

Keywords: solid fuel charge, continuity, mixed composite materials, deformation, Poisson's ratio.

УДК 623.5

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ

Хмельников Евгений Александрович[1], д-р техн. наук, зав. кафедрой спец. машиностроения; Заводова Татьяна Евгеньевна[1], зав. лаборатории кафедры спец. машиностроения; Смагин Константин Владимирович[1], ассистент; Семашко Мария Юрьевна[2], директор научно-образовательного центра аэрокосмических технологий; Тюрин Ярослав Васильевич[1], студент 5-го курса

[1] Нижнетагильский технологический институт, филиал «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 622013, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (343) 525-65-00

[2] Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), 454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, тел. (351) 267-99-00

Хмельников Е. А., email khmelnikov7@gmail.com

Заводова Т. Е., email tanushka-zavodova@yandex.ru

Смагин К. В., email smaginkv@gmail.com

Семашко М. Ю., email info@susu.ru

Тюрин Я. В., email mr.trojan@mail.ru

Адрес для корреспонденции: ***Хмельников Евгений Александрович,*** Нижнетагильский технологический институт, филиал «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 622013, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (343) 525-65-00

Аннотация: 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.

Ключевые слова: радиопрозрачные боеприпасы, композитные материалы.

В настоящее время большая часть бронированной техники обеспечена активной защитой [1]. 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, взяв за основу 57 мм унитарный боеприпас УОР-281У.

Для обеспечения радиопрозрачности боеприпасов необходимо использование композиционных материалов, наиболее подходящими из которых являются: базальтовое волокно, стекловолокно, углеродное волокно. Такие материалы обладают низкими показателями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, что обеспечивает эффективное рассеивание радиосигнала. В то время, как у металлоконструкций величина отраженного сигнала велика, у названных полимеров она принимает значения от 0,001 до 5 процентов. Исходя из анализа, 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.

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.

«Южно-Уральским государственным университетом» был предложен вариант конструкции такого БП (рис. 1). Конструкция состоит из полимерного корпуса, в который 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.

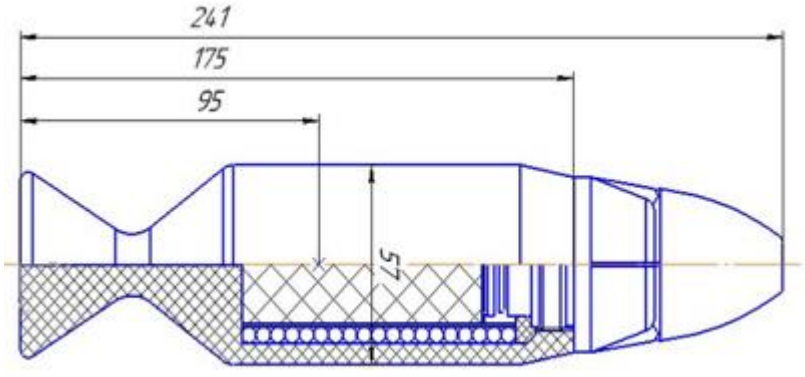


Рис. 1. Конструкция радиопрозрачного боеприпаса, предложенного ФГАОУ ВО «ЮУрГУ».

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, [2]). 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).

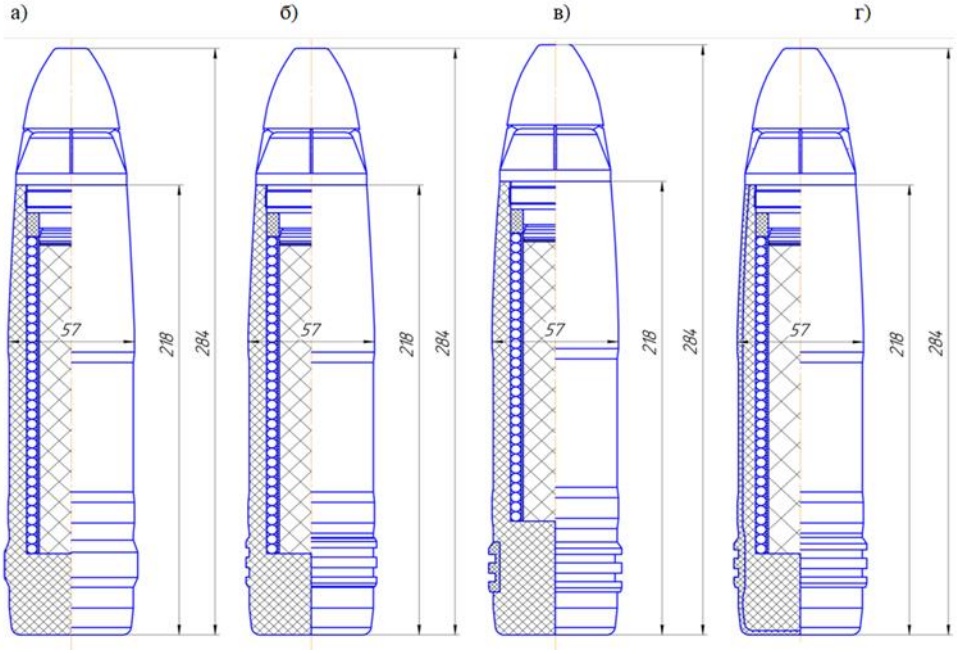


Рис. 2. Предлагаемые варианты конструкций радиопрозрачного боеприпаса

Поскольку в процессе проектирования был существенно изменен вес и конструкция БП, необходимо было провести подбор навески пороха для получения необходимой дульной скорости. Предварительный расчет внутренней баллистики на основе термодинамического подхода проводился в программе OZVB, разработанной на кафедре Специального машиностроения (СМ) [3]. 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 [4]. Результаты расчета показали, что наиболее подходящим вариантом будет навеска пороха 6/7 массой 400 грамм.

В программе «Прочность», разработанной на кафедре СМ, были рассчитаны прочностные характеристики четырех предлагаемых конструкций боеприпаса [5] 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 первый и третий варианты конструкции удовлетворяют требованиям прочности.

Расчет прочности для предлагаемой конструкции был также осуществлен по методу Илюшина при помощи программы Mathcad. Результаты расчетов говорят

о том, что прогиб корпуса не превышает допустимых значений. Дно снаряда было рассчитано на прочность отдельно по методике Безухова, результаты показывают, что сплошность дна при выстреле сохраняется.

Следующей задачей стала оценка устойчивости разработанных снарядов на траектории [6]. Расчеты внешнебаллистических характеристик для первого варианта конструкции показали, что на дальности 4 000 метров БП будет иметь боковое отклонение 1,5 метра, а при предполагаемой прицельной дальности 6000 метров снаряд имеет боковое отклонение не более 4 метров (рис. 3).

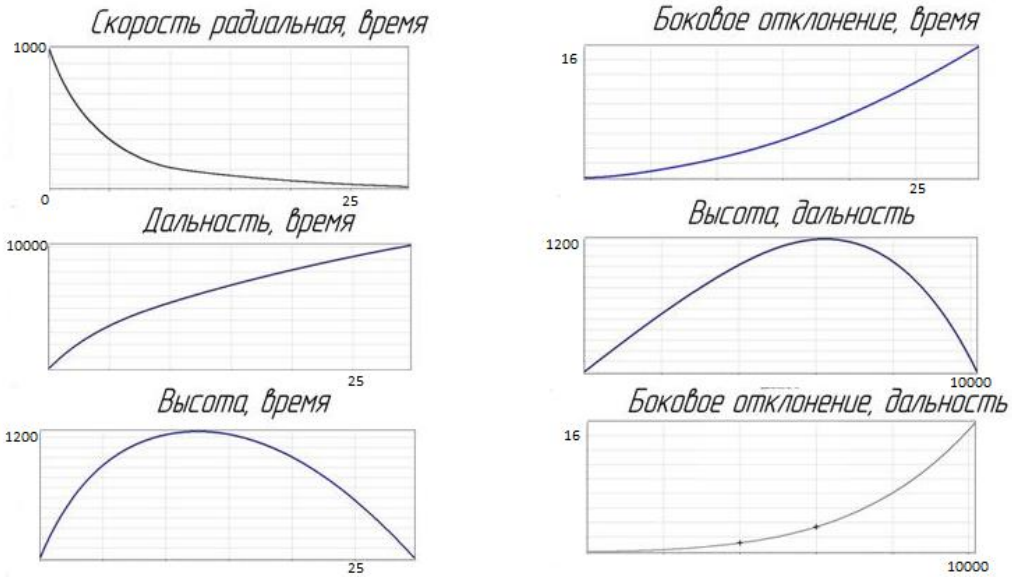


Рис. 3. Расчет внешнебаллистических характеристик первого варианта конструкции предлагаемого радиопрозрачного БП

Выводы:

1. Рассмотрен вариант конструкции радиопрозрачного БП «Южно-Уральского государственного университета». Прочностные и внешне баллистические расчеты 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.

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. Е.А. Хмельников, А.В. Стыров. Решение основной задачи внутренней баллистики: Учеб. пособие по курсу «основы баллистики и аэродинамики». Нижний Тагил: ФКП «НТИИМ», 2017. 122с.

4. 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).

5. 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.

6. Правдин В.М., Шанин А.П. Баллистика неуправляемых летательных аппаратов. Снежинск, издательство РФЯЦ-ВНИИТФ, 1999. – 496с.

DEVELOPMENT OF ADVANCED DESIGNS OF RADIO TRANSPARENT AMMUNITION

***Khmelnikov Evgeny Alexandrovich*[1]**, doctor of technical Sciences, head of Department of Special engineering, khmelnikov7@gmail.com
***Smagin Konstantin Vladinirovich*[1]**, assistant of Department of Special engineering, smaginkv@gmail.com
***Zavodova Tatiana Evgenievna*[1]**, postgraduate student, head of laboratory of Department of Special engineering, zavodovat.e@gmail.com
***Semashko Maria Yurievna*[2]**, director of the scientific and educational center of aerospace technologies, info@susu.ru,
***Tyurin Yaroslav Vasilievich*[1]**, student of Department of Special engineering, mr.trojan@mail.ru
[1] "Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin" Nizhny Tagil technological Institute (branch), Krasnogvardeiskaya street, 59, Nizhny Tagil, 622013, Russia
[2] South Ural State University, Lenina avenue , 76, Chelyabinsk, 454080, Russia

Abstract*:* 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.

Keywords*:* radio-transparent ammunition, polymeric materials.

УДК 539.3

ИМПУЛЬСНОЕ ПЕРЕКРЫТИЕ СТАЛЬНЫХ ТРУБ, ЗАПОЛНЕННЫХ ЖИДКОСТЬЮ

Утев Дмитрий Андреевич[1], студент; Лисина Мирослава Аркадьевна[1], студент; Балаганский Игорь Андреевич[1], д.т.н., профессор.

[1]Новосибирский государственный технический университет, пр. К.Маркса, 20, Новосибирск, 630073, Россия
Утев Д.А., e-mail yoh60438@gmail.com
Лисина М.А., e-mail mirka96@mail.ru
Балаганский И.А., e-mail balaganskij@corp.nstu.ru
Адрес для корреспонденции: ***Утев Дмитрий Андреевич***, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (999) 451-65-28

Аннотация

В настоящее время из-за высокого износа магистральных трубопроводов, а также в углеводородной промышленности существует проблема быстрого перекрытия трубопроводов, заполненных горючими веществами. Для решения указанной проблемы существует ряд устройств различного принципа действия. Целью данной работы является разработка устройства аварийного перекрытия труб, работающего по принципу импульсного схлопывания. В ходе работы было проведено моделирование в программной системе ANSYS AUTODYN. Моделирование производилось многократно, с использованием различных материалов и различной конструктивной схемы модели. В результате проведенного моделирования не удалось достичь оптимальной геометрической конструкции устройства для обеспечения полного схлопывания трубопровода без перерезания его стенок.

Ключевые слова

Трубопровод; детонация; взрывчатое вещество; обжатие трубы; моделирование; ударная волна.

1. Введение

Основная часть газо- и нефтетранспортной системы РФ была построена в 70-80 годы двадцатого века. В настоящее время износ большей части труб составляет около 60%. Под воздействием коррозии уменьшается толщина стенки труб, что может привести к возникновению аварийных ситуаций. Безопасность объектов трубопроводного транспорта должна быть максимально высокой для обеспечения бесперебойных поставок углеводородного сырья, а угроза возникновения аварий – минимизирована.

С целью повышения безопасности трубопроводов и предотвращения последствий аварий могут быть использованы устройства для аварийного перекрытия трубопроводов. На сегодняшний день разработаны подобные

устройства, основанные на различных принципах действия: механические [3, 4]; гидравлические [5]; устройства, для инициирования срабатывания которых используется энергия ударной волны [6, 7]. Задача таких устройств сводится к перекрытию участка трубопровода в случае возникновения утечки углеводородов.

Целью работы является разработка устройства аварийного перекрытия трубопроводов, работающего по принципу импульсного схлопывания.

Основой для данной работы является статья [1], в которой В.А. Огородников, А.Г. Иванов и др. провели ряд экспериментов и численных моделирований по импульсному схлопыванию стальных трубопроводов, заполненных водой или воздухом, при ударе по нему с двух противоположных сторон массивными пластинами-ударниками, одновременно разгоняемыми навстречу друг другу зарядом взрывчатого вещества (ВВ). Конфигурация проведения опытов представлена на рисунке 1. Где детонация основного заряда ВВ 1 возбуждается генератором линейной детонационной волны 2 с электродетонатором 3. Пластины-ударники 4 располагаются под углом φ к стенке трубопровода 7 с конденсатором 6. На их поверхности располагается заряд ВВ, который прикрывается экраном 5.

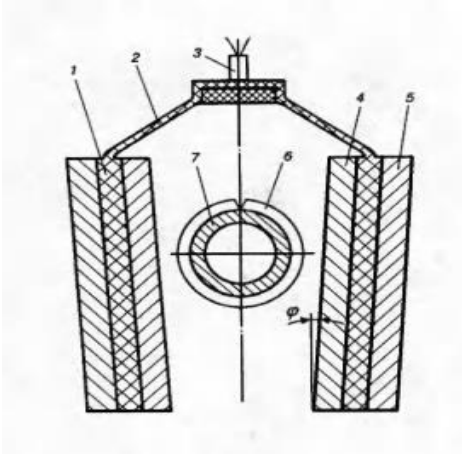


Рис.1

2. Методика моделирования.

В настоящей работе моделирование проводилось в программной системе ANSYS AUTODYN, для расчета газодинамических и упругопластических течений применялась эйлерова методика и методика SPH (гидродинамика сглаженных частиц). В целях упрощения расчетов была использована осевая симметрия в двумерном пространстве. Граничные условия – flowout (свободное вытекание материала за границы области расчета). Моделирование производилось многократно, с использованием различных материалов и различной конструктивной схемы модели.

Одна из схем проведения моделирования показана на рисунке 2, где 1 – стальная труба, 2 – вода, 3 – ВВ, 4 – амортизирующие вещество 4. Детонация инициируется мгновенно по поверхности ВВ 5. Конструкция закрыта обоймой 6. Внешняя среда 7 – вакуум. Подобная конструкция описывалась в работе [2], оригинальным решением настоящей работы является применение амортизирующего вещества 4.

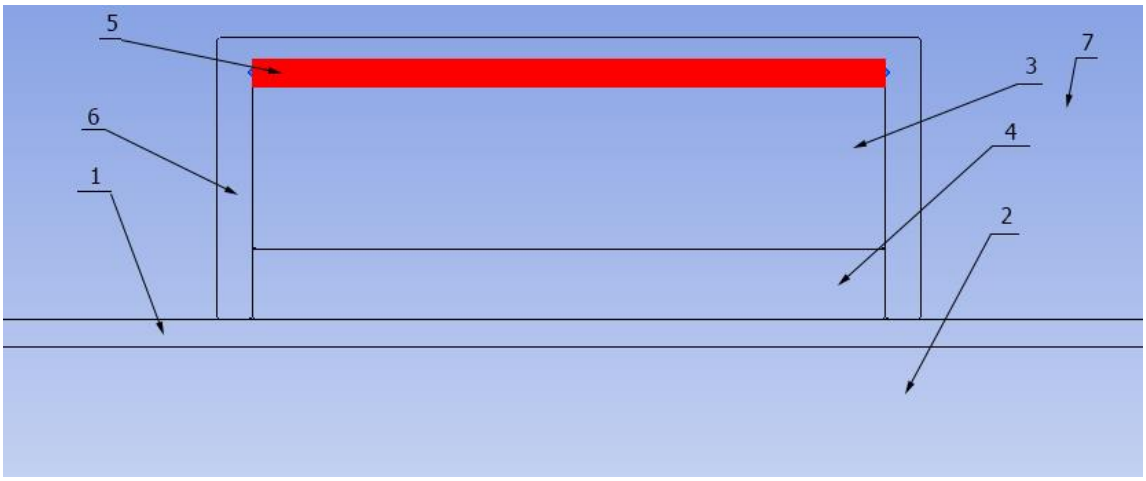


Рис.2

При детонации ВВ образуется ударная волна. Фронт ударной волны, прошедшей через амортизирующее вещество: карбид кремния (SiC) или песок (Sand), смягчается. Ударная волна преобразуется в волну сжатия под действием которой происходит мягкое обжатие трубы без образования трещин и разрушения стенок трубопровода.

Материалы, используемые при моделировании приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Материалы, используемые при моделировании.

Название	Материал	Уравнение состояния	Прочностная модель	Модель разрушения
Труба	STEEL 1006	Shock	Johnson Cook	None
Вода	WATER	Shock	None	Hydro (Pmin)
ВВ	C4	JWL	None	None
Амортизирующее вещество	SiC	Polynomial	Von Mises	Hydro (Pmin)
	SAND	Compaction	MO Granular	Hydro (Pmin)
Обойма	AL 2024	Shock	None	None
	STEEL V250	Sock	Steinberg Guinan	None

В расчете (Рис. 2) использовалась эйлерова методика, амортизирующее вещество – SiC, материал оболочки – AL 2024.

3. Результаты и обсуждение

При выполнении моделирования с использованием различных методик расчета газодинамических и упругопластических течений (эйлерова, SPH) и различных геометрических схем построения устройства была выявлена отличительная особенность (Рис.3): в процессе схлопывания в местах крепления обоймы к трубе, а также по центру обоймы наблюдался обратный выгиб стенки трубы, который может образовываться в результате отражения от оси симметрии трубы встречно направленных волн сжатия. Данный эффект возникает вне зависимости от геометрических параметров устройства и используемой методики. Впоследствии при дальнейшем нагружении в указанных местах происходит повреждение стенок трубы (Рис.4). В ходе проведения моделирования, помимо описанных, были поставлены задачи, результатом решения которых было недожатие трубы.

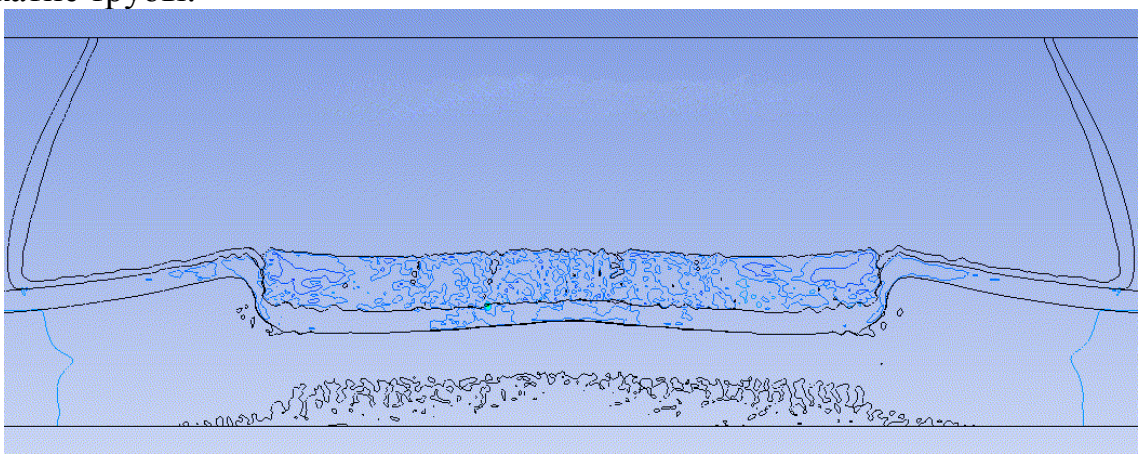


Рис.3

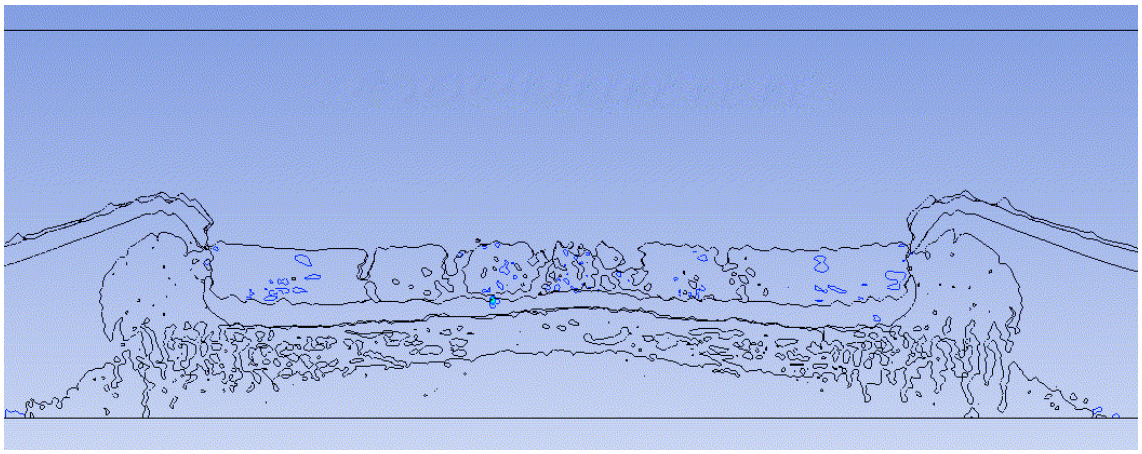


Рис.4

4. Выводы

В результате проведенного моделирования не удалось достичь оптимальной геометрической конструкции устройства для обеспечения полного схлопывания трубопровода без перерезания его стенок. Для расширения возможности геометрического построения устройства допустим переход из двумерной системы координат в трехмерную. Исследование данной проблемы будет продолжено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Импульсное схлопывание стальных цилиндрических оболочек, заполненных жидкостью или газом [Текст]/ В. А. Огородников, А. Г. Иванов, В. В. Мишуков, В. А. Григорьев, А. А. Садовой, Ю. В. Янилкин, А. Л. Стадник, В. Н. Минеев // Физика горения и взрыва. – 1997. – №1. – С.122-130.

2. Особенности импульсного схлопывания стальных цилиндрических оболочек, заполненных водой [Текст]/ В. А. Огородников // Физика горения и взрыва. – 1995. – №2. – С.153-155.

3. Пат. 2141068 Российская Федерация, МПК F 16 K 17/40, F 16 K 15/14. Устройство для аварийного перекрытия трубопровода [Текст] / Бебенин Г.В., Иоилев А.Г., Клопов Б.А., Мешков Е.Е., Михайлов А.Л., Невмержицкий Н.В., Попов Н.А., Стасько В.Т.; заявитель и патентообладатель Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно- исследовательский институт экспериментальной физики; заявл. 07.09.98; опубл. 10.11.99. – 10 с.

4. Пат. 216012E8C3 Российская Федерация. Устройство аварийного перекрытия трубопровода [Текст] / Рябинин В.П.; заявитель и патентообладатель Рябинин В.П. - №0002525380; опубл. 10.08.14. – 5 с.

5. Пат. 887868 СССР, МПК F 16 K 17/192. Гидрозатвор для аварийного перекрытия газопровода [Текст]/ Родионов К.Д., Глазков Л.И., Кимаев М.А., Белов А.И.; заявитель и патентообладатель Предприятие ПЯ А-1158. - № 2905118/2508; заявл. 07.04.80; опубл. 07.12.81, Бюл. № 45. – 3 с.

6. Пат. 200426 Российская Федерация, МПК E 21 B 29/00, E 21 B 35/00. Устройство для аварийного перекрытия трубопровода [Текст]/Таланов Б.П.; заявитель и патентообладатель Таланов Б.П. - № 5026933/03; заявл. 12.02.91; опубл. 07.09.93, Бюл. № 33-36. – 3 с.

7. Пат. 2130144 Российская Федерация, МПК F 16 K 17/22. Аварийный отсекатель трубопроводов [Текст]/ Сергиенко В.Г., Перминов В.П., Синицын В.А., Кваскov Г.А..; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики. - заявл. 25.03.97; опубл. 10.05.9. – 7 с.

IMPULSE OVERLAP OF A STEEL PIPES FILLED WITH LIQUID

Utev Dmitriy Andreevich[1], student; Lisina Miroslava Arkadievna[1], student; Balaganskiy Igor Andreevich[1], D.Sc., Professor.

[1]Novosibirsk State Technical University, Pr. K. Marksa, 20, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract

Currently, due to the high deterioration of the main pipelines, as well as in the hydrocarbon industry, there is a problem of rapid overlap of pipelines filled with combustible substances. To solve this problem, there are a number of devices of different operating principles. The purpose of this work is to develop a device for emergency pipe overlap, working on the principle of impact collapse. In the course of the work, modeling was carried out in the ANSYS AUTODYN software system. Modeling was performed many times, using different materials and different schematic construction of the model. As a result of the simulation it was not possible to achieve the optimal geometric design of the device to ensure complete collapse of the pipeline without cutting its walls.

Keywords pipeline; detonation; explosive; tube reducing; simulation; shock wave.

УДК 623.451.4.081.25

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БРОНЕБОЙНО ОПЕРЕННОГО ПОДКАЛИБЕРНОГО СНАРЯДА (БОПС) С ЭЛЛИПСОИДНОЙ ПОЛОСТЬЮ ОБЛИЦОВАННОЙ МЕДЬЮ С ГОМОГЕНОЙ БРОНЕЙ.

Милевский Константин Евгеньевич, к.т.н. доцент;
Халеменчук Вячеслав Павлович, студент

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,

г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Милевский К.Е., e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Халеменчук В.П., e-mail: slava.khalemenchuk@mail.ru

Аннотация.

В статье рассматривается процесс пробития брони современной техники, с учетом использования дополнительного бронирования элементами динамической защиты (ДЗ), боеприпасами, основанными на использовании для пробития брони кинетической и кумулятивной энергии. Для которых были выделены основные достоинства и недостатки, а также была дана оценка эффективности их применения, при пробитии брони оснащенной элементами ДЗ. Проанализированы направления увеличения глубины пробития кинетических боеприпасов, основанных на использовании кинетической энергии: повышение массы метательного заряда, увеличение энергетических характеристик метательных взрывчатых веществ (ВВ) и увеличения тактико-технических характеристик снаряда; совершенствования аэродинамики снаряда, увеличение предельных нагрузок активной части снаряда. И приведены примеры использования методов повышения могущества как для отечественных боеприпасов, так и зарубежных. В ходе чего были выделены наиболее эффективные и перспективные методы. И предложен вариант оперенного подкалиберного бронебойно-кумулятивного снаряда.

Ключевые слова: Бронебойно оперенный подкалиберный снаряд, снаряд, кинетическая энергия, кумулятивный эффект, кумулятивная струя, броня, глубина пробития брони, эллипсоидная полость.

Введение.

В современных армиях весь танковый парк техники имеет динамическую защиту и комбинированную броню, которая оказывает достаточное влияние на глубину пробития брони. В связи с этим кумулятивные боеприпасы снизили свою эффективность по сравнению с бронебойно подкалиберными снарядами (БОПС),

на которые оказывается незначительное влияние. И основную часть боекомплекта танка составляют БОПС и являются наиболее перспективным видом боеприпасов, требующих постоянное совершенствование.

Основными тактика техническими характеристиками бронебойно оперенного подкалиберного снаряда (БОПС) являются параметр: глубина пробития и за броневое воздействие снаряда. Цель данной работы определить наиболее перспективные способы увеличения основных характеристик БОПС и оценить эффективность их применения.

БОПС относиться к кинетическому оружию. В таких типах боеприпасов пробитие происходит за счет кинетической энергии.

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

Повышение начальной скоростей метания снаряда может достигаться двумя способами: увеличение массы метательного заряда, за счет увеличения объёма каморы, и увеличением его энергетических характеристик, создание новых метательных зарядов. Но все эти способы приводят к уменьшению износостойкости ствола, что крайне нежелательно.

Увеличение скорости взаимодействия снаряда с преградой достигается: совершенствованием аэродинамических качеств его полетной части. Что приводит к понижению прочностных характеристик снаряда и приводит к уменьшению глубины пробития брони [1].

Увеличение поперечной нагрузки активной части снаряда, на сегодня, является одним из наиболее эффективным способом. Такой способ может быть осуществлен с помощью увеличения длины бронебойного сердечника (L) по отношению к диаметру (2R),L⁄2R оно составляет 20-25, а в перспективе до 40, или использование высокоплотных материалов для изготовления бронебойных сердечников и корпусов БОПС, используют сплавы вольфрама и обедненного урана с плотностью 19000-19300 г/см^3. Основная проблема реализации указанного решения является возможность метания снаряда большого удлинения без потери устойчивости траектории и прочностных характеристик [1].

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

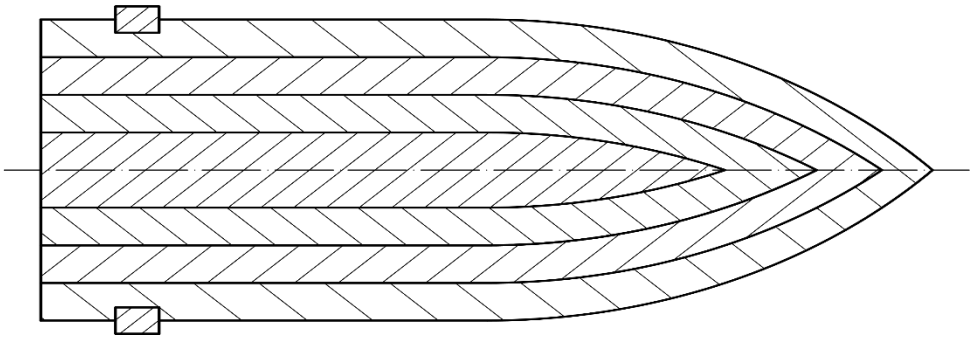


Рис.1- патент США4044679 корпус снаряда.

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

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

Это можно решить введением в головную часть снаряда бронебойного сердечника эллипсоидную полость облицованную медью, как видно на рисунке 2, влияющую на увеличение глубины пробития брони.

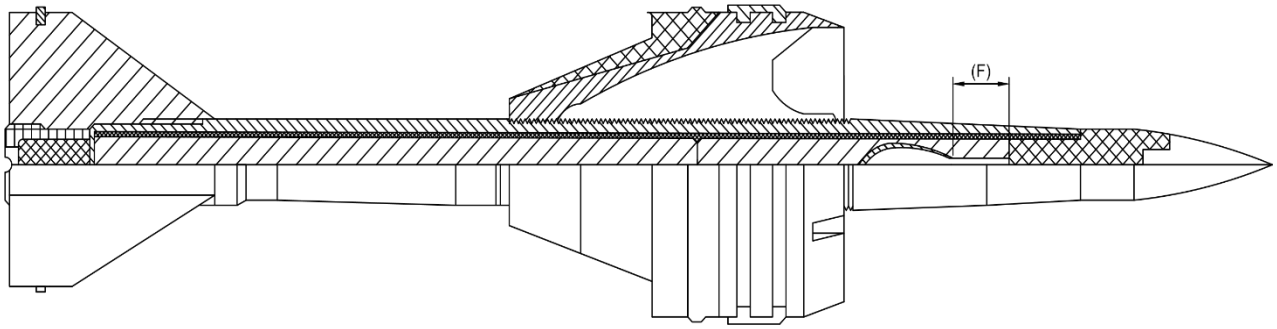


Рис.2- БОПС с эллипсоидной полостью облицованной медью.

При прохождении такого бронебойного сердечника БОПС происходит его обжатие материалом брони, в зоне всестороннего сжатия, как видно на рисунке 3. Вследствие этого по бронебойному сердечнику пробегает упруго-пластичная волна сжатия, которая схлопывает эллипсоидную полость, облицованную медью, благодаря чему формируется, на некотором фокусном расстоянии (F) кумулятивная струя, из медной облицовки и имеющую скорость выше 5000м/с. Которая обеспечивает дополнительное пробитие брони и повышает вероятность поражения цели.

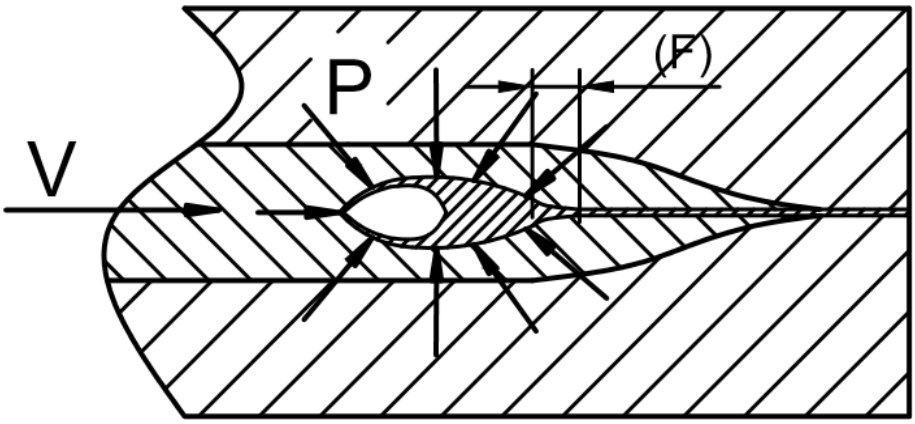


Рис.3- БОПС с эллипсоидной полостью облицованной медью в зоне всестороннего сжатия.

В статье были выделены физические процессы влияющие на повышение эффективности БОПС. И предложен новый подход для проектирования БОПС, в котором для пробития преграды используется кинетическая и кумулятивная энергия.

Литература:

1.Боеприпасы: учебник: в 2 т. / под общей ред. В.В. Селиванова. -Б75 Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана,2016

2. Заявка №2018125161 «Бронебойный оперенный подкалиберный снаряд», / Гуськов А. В, Милевский К. Е, Халеменчук В. П.

3. Патент 168767, МКИ F42B 14/06(2006/01) Российская Федерация. Бронебойный оперенный подкалиберый снаряд Осколочно-фугасный снаряд / Гуськов А.В. Милевский К.Е., Долматов А.С., Кузнецов Е.А.) - № 2016129950; заявл. 2016-07-20; опубл. 2017-02-17, Бюл. №5 .

4. Патент 157003, МКП F42B 12/10(2006/01) Российская Федерация. Кумулятивный боеприпас. / Гуськов А.В. Милевский К.Е., Долматов А.С., Корнаков Е.А.) - № 2015125879/03; заявл. 2015-06-29; опубл. 2016-11-20, Бюл. №32.

5. Эксплозивные вещества: учебник: В.В.Андреев, А.В.Гусбков, К.Е.Милевский Новосибирск: Издательство НГТУ 2001г.

6. Милевский К. Е. Увеличение глубины пробития гомогенной брони бронебойно оперенного подкалиберного снаряда (бопс) / К. Е. Милевский, В. П. Халеменчук // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч., Новосибирск, 3–7 дек. 2018 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 9. – С. 139–142. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-3733-9, 978-5-7782-3742-1 (Ч. 9).

INTERACTION FEATHERED ARMOR-PIERCING PROJECTILE (APFS) WITH ELLIPSOIDAL CAVITY LINED EDU WITH HOMOGENOUS ARMOR

Milevskii Konstantin Evgenievich, Ph. D. associate Professor;

Khalemenchuk Vyacheslav Pavlovich, student.

Novosibirsk state technical University, 630073, Russia,г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Milevskii K.E., e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Khalemenchuk V.P., e-mail: slava.khalemenchuk@mail.ru

Annotation.

The article deals with the process of breaking through the armor of modern technology, taking into account the use of additional armor elements of dynamic protection (DP), ammunition based on the use of kinetic and cumulative energy to break through the armor. For which the main advantages and disadvantages were highlighted, as well as an assessment of the effectiveness of their use, with the penetration of armor equipped with elements of the RS. The directions of increasing the penetration depth of kinetic munitions based on the use of kinetic energy are analyzed: increasing the mass of the propellant charge, increasing the energy characteristics of propellant explosives and increasing the tactical and technical characteristics of the projectile; improving the aerodynamics of the projectile, increasing the limit loads of the active part of the projectile. And examples of the use of methods to increase the power of both domestic and foreign ammunition. In the course of which the most effective and promising methods were identified. And a variant of the feathered sub-caliber armor-piercing-cumulative projectile is proposed.

Keyword: Feathered armor-piercing projectile, projectile, kinetic, energy, cumulative effects, cumulative jet, armor, depth of penetration of armor, the ellipsoidal cavity.

УДК 623.438.5

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТРАНСМИССИЙ В БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКЕ

Шадрин Иван Дмитриевич, студент; Юдинцев Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук; Хмельников Евгений Александрович, доктор техн. наук

Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 622031, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейска 59
Шадрин И. Д., e-mail ivan.shadrin12@gmail.com
Хмельников Е. А., e-mail khmelnikov7@gmail.com
Юдинцев Д. В., e-mail: yudin_dv@mail.ru
Адрес для корреспонденции: **Хмельников Евгений Александрович,**
Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 622036, Россия, г. Нижний Тагил, пр. Мира 54, тел. (343)542-07-81

Аннотация

В данной работе анализируется историческое развитие, применение и перспективы развития трансмиссий в бронетанковой технике.

Подвижность является одним из главных и основополагающих свойств основных боевых танков. Она способствует решению боевых задач, своевременному реагированию на возникающие угрозы и оказывает существенное влияние на живучесть боевых машин на поле боя.

Одной из важнейших составляющих повышения подвижности боевых машин является совершенствование их трансмиссий. С этой целью на машины, проходящие очередной этап модернизации, устанавливаются усовершенствованные гидромеханические трансмиссии, а для перспективных образцов разрабатываются принципиально новые виды силовых передач, в том числе электромеханические.

Ключевые слова

Бронетанковая техника; трансмиссия; силовая передача; электромеханическая трансмиссия; подвижность; простая кинематическая схема.

1. Введение

В большинстве армий мира танк рассматривается, прежде всего, как наступательное средство, поэтому принципы его применения жёстко связаны с проблемами обеспечения движения и увеличения подвижности. При этом подвижность связывают с возможностью уклониться от поражения техники, за счёт улучшения разгонных и тормозных характеристик.

Помимо этого, в танкостроении общепринята концепция малогабаритности боевой машины в целом, в том числе моторно-трансмиссионного отделения. Это достигается за счёт высокой удельной мощностью на вновь создаваемых (и модернизируемых) машинах. Как следствие идёт поиск новых конструкторских

решений совершенствования характеристик двигателя, систем и агрегатов, связанных с ним.

В общем случае, подвижность определяется комплексом технических параметров шасси:

- Мощностью двигателя, его КПД и тяговыми характеристиками;
- КПД систем и агрегатов силовой установки, трансмиссии, ходовой части;
- Эргономическими факторами.

В отрасли накоплен большой опыт по теории расчёта и проектирования, как систем двигателя, так и силовых установок. Однако до настоящего времени было собрано сравнительно мало обобщающих материалов, оценивающих опыт обширных испытаний, многолетней эксплуатации моторно-силовой установки, что затрудняет её совершенствование и развитие связанных с ней агрегатов.

2. Теория

Трансмиссия (силовая передача) – это совокупность агрегатов, соединяющих двигатель танка с его движителем (ведущими колёсами), а также системы, обеспечивающие работу агрегатов трансмиссии. Основное назначение трансмиссии заключается в изменении тяговых усилий, скоростей и направления движения танка.

В общем случае трансмиссия может включать в себя: главный фрикцион; карданный вал; входной редуктор (гитара); коробка передач; механизмы поворота; механизм передач и поворота (одно- и двухпоточный); остановочные тормоза; бортовые редукторы.

Трансмиссии, по способу передачи энергии от двигателя к ведущим колёсам, делятся на три типа: механические, гидромеханические и электромеханические.

Механические трансмиссии. Изменение момента и частоты вращения на ведущих колёсах осуществляется с помощью коробки передач. В общем случае такие трансмиссии состоят из шестерёнчатых и фрикционных устройств. В зависимости от конструкции коробки передач механические трансмиссии подразделяются на простые и планетарные.

К преимуществам механических трансмиссий можно отнести: 1. Высокий КПД; 2. Удовлетворительные массогабаритные характеристики; 3. Высокая надёжность; 4. Относительная простота в производстве и эксплуатации.

Недостатками механической трансмиссии являются: 1. Ступенчатость изменения передаточных чисел; 2. Средняя скорость и манёвренность машины; 3. Большое время уделяется на переключение передач; 4. Жёсткая кинематическая связь двигателя с ведущими колесами.

Простые механические трансмиссии. На рисунке 1а представлена функциональная схема простой механической трансмиссии. Простые механические силовые передачи, как правило состоят из следующих агрегатов: двигателя (Д), главного фрикциона (ГФ), коробки передач (КП), механизма поворота (МП) и бортовых редукторов (БР).

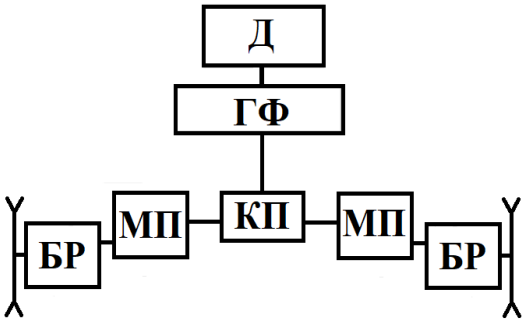


Рис. 2а. Схема простой механической трансмиссии

Планетарные механические трансмиссии. Особенность данных КП в том, что все шестерни в них находятся в постоянном зацеплении, а изменение передаточного числа происходит за счёт блокирования отдельных вращающихся элементов планетарного механизма ленточными тормозами и пакетами фрикционов, что меняет характер его работы. В планетарной трансмиссии главный фрикцион не устанавливается, так как его функции выполняют фрикционные элементы планетарной коробки передач. Схема данной силовой передачи представлена на рисунке 1б.

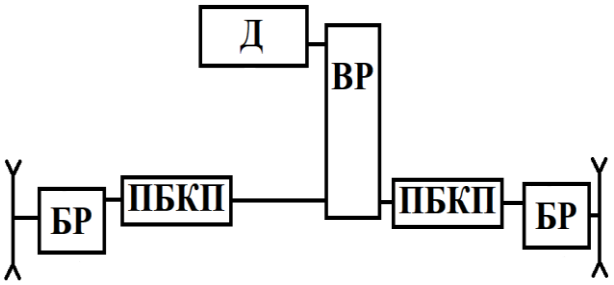


Рис. 3б. Схема планетарной механической трансмиссии

Планетарная механическая трансмиссия состоит из: двигателя (Д), планетарной бортовой коробки передач (ПБКП), входного редуктора (ВР) и бортовых редукторов (БР). Данный вид механических силовых передач с гидросервоуправлением установлены в танках Т-64, Т-72, Т-80 и Т-90.

Гидромеханические трансмиссии. Ключевой особенностью является присутствие гидротрансформатора и гидродинамического замедлителя. Последний обладает свойством автоматического и непрерывного изменения момента на ведомом валу, при постоянном моменте на ведущем. Таким образом, в гидромеханических трансмиссиях гидротрансформатор одновременно выполняет функции, как главного фрикциона, так и частично, коробки передач. Важным элементом гидромеханической трансмиссии является гидродинамический замедлитель, усиливающий эффективность торможения и динамические характеристики машины в целом.

Гидромеханические трансмиссии обладают рядом преимуществ, над механическими трансмиссиями, а именно: 1. Снижение количества переключения передач; 2. Сглаживание ударных нагрузок на двигатель; 3. Увеличенные, по сравнению с механическими трансмиссиями срока службы двигателя и агрегатов, связанных с ним; 5. Непрерывное и автоматическое изменение тяговых усилий и скоростей.

Но наряду со всеми достоинствами, у гидродинамических трансмиссий присутствует и ряд серьёзных недостатков: 1. Низкий КПД трансмиссии; 2. Уменьшенный запас хода техники; 3. Работа трансформатора требует специальных охлаждающих жидкостей.

По конструкции гидромеханические трансмиссии можно подразделить на: гидродинамические (гидрокинетические) и гидростатические (гидрообъёмные) передачи.

Гидромеханическая трансмиссия с гидродинамической машиной. По устройству компоновки, имеет ряд тех же агрегатов, что и механическая трансмиссия. Главное отличие – главный фрикцион заменяется на гидротрансформатор (ГТ). Функциональная схема гидрокинетической силовой передачи представлена на рисунке 2а.

Данные силовые передачи с комплексным гидротрансформатор блокируемым фрикционом активно используются на зарубежных танках: американском M1 “Abrams”, немецком “Leopard-2”, французском “Leclerc” и английском “Challenger-2”.

Гидромеханическая трансмиссия с гидрообъёмной машиной. Передача вращательного момента происходит за счёт гидростатического напора жидкости. Применяются главным образом в дополнительном приводе механизма передачи поворота для бесступенчатого регулирования его радиуса. Используются в дополнительном приводе двухпоточных трансмиссий некоторых боевых машин, а также в приводах поворота башни.

В комплекс данной трансмиссии входят: гидрообъёмный насос (ГН), соединяется с двигателем (Д) и бортовыми гидродвигателями (ГД), которые через бортовые редукторы (БР) соединены с ведущими колёсами. Простая функциональная схема устройства, данной силовой передачи представлена на рисунке 2б.

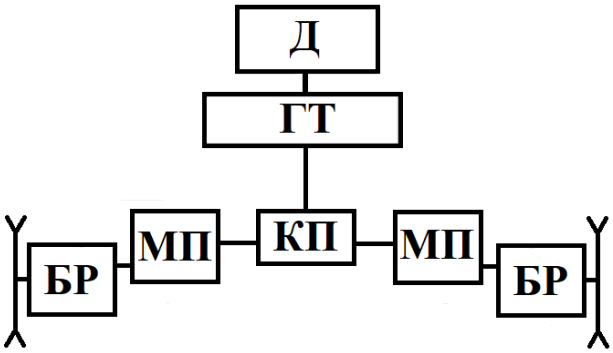


Рис. 2а. Схема гидрокинетической трансмиссии

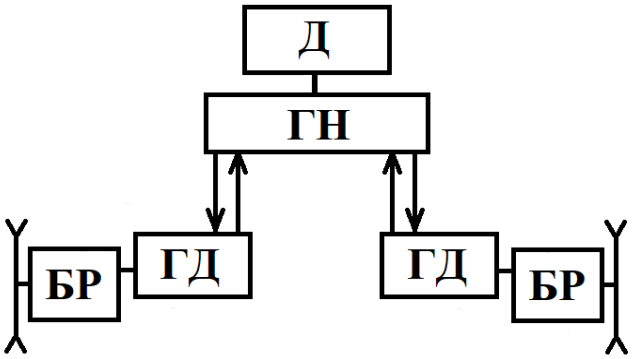


Рис. 2б. Схема гидрообъёмной трансмиссии

Электромеханические трансмиссии. Данная трансмиссия обеспечивает передачу тягового усилия от первичного двигателя к движителю, используя электрически соединённые электрогенератор и электродвигатель. Использование накопителей большой емкости обеспечивает аккумулирование генерируемой при торможении и движении под уклон энергии для последующего питания потребителей в экстренных случаях, а также для движения с помощью силовых электромоторов при неработающем основном двигателе. Благодаря кабельному подключению органов управления каждый член экипажа при необходимости сможет управлять движением машины; возможно также и дистанционное управление с помощью выносного пульта.

Схема электрической трансмиссии представлена на рисунке 3. Электромеханическая силовая передача состоит из: двигателя (Д), генератора (Г), соединённого с двигателем машины, и двух сириесных электродвигателей, которые через бортовые редукторы (БР), соединяются с ведущими колёсами.

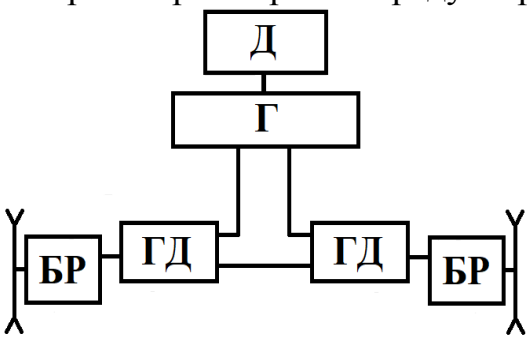


Рис. 3. Схема электромеханической трансмиссии

Электрическая передача обеспечивает удобное изменение частоты и направления вращения на выходе, плавное трогание с места, а также распределение мощности на несколько ведущих колёс/осей; генераторная установка может быть расположена в любом месте транспортного средства независимо от расположения тяговых электродвигателей и не ограничивает (в пределах гибкости кабелей, питающих электродвигатели) перемещение электродвигателей относительно генератора, что значительно повышает простоту и надёжность механической части.

К достоинствам электрической силовой передачи можно отнести: 1. Отсутствие жёстких механических связей между источниками и потребителями энергии увеличивает надёжность трансмиссии; 2. Бесступенчатое изменение крутящего момента улучшает подвижность машины на поле боя.

Но специалисты, также отмечают ряд недостатков, выявленных в ходе испытаний электромеханических трансмиссий. Основные из них: 1. Неудовлетворительные массогабаритные показатели; 2. Сложность конструирования систем охлаждения; 3. Низкая надёжность работы в условиях жаркого климата; 4. Высокая стоимость.

Данный тип трансмиссии устанавливался массово на немецких самоходных артиллерийских установках “Ferdinand” и сверхтяжёлых танках “Maus” и на единичном советском танке ЭКВ.

3. Результаты и обсуждения

Применению электромеханических трансмиссий препятствовали сравнительно большие массогабаритные характеристики электрических машин и, объём и масса накопителя электрической энергии (требуемая энергоёмкость от 20 Мдж/м^3). Однако успехи электротехнической промышленности открывают возможности создания малогабаритных электрических машин. Это делает перспективным применение на танках и особенно на военных гусеничных машинах, несущих энергоёмкое оборудование, электромеханических трансмиссий.

Отсутствие жёсткой кинематической связи между агрегатами электрической трансмиссии расширяет возможности создания различных компоновочных схем. Крутящий момент сериесных электродвигателей изменяется обратно пропорционально частоте вращения, сохраняя почти постоянную мощность. Это свойство электротрансмиссий упрощает управление танком и повышает среднюю скорость за счёт более полного использования мощности двигателя.

4. Выводы

По результатам анализа, приведённого в данной статье, можно сделать вывод, что стоит начать научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу, направленную на разработку и внедрение электромеханических трансмиссий в бронетанковую технику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Танк Т-72А. Техническое описание и инструкции по эксплуатации» – М.: Воениздат, 1988. – 509 с.
2. «Устройство бронетанковой техники» / Лепешинский И. Ю. и др. – О.: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 301 с.
3. «Защита танков» / Григорян В. А., Юдин Е. Г. и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 327 с.
4. «Т-72/Т-90. Опыт создания отечественных ОБТ» / Устьянцев С. В., Колмаков Д. Г., – Н.Т.: Изд-во УВЗ-Медиа Сервис, 2013. – 303 с.

ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF TRANSMISSIONS IN ARMORED VEHICLES

Shadrin Ivan Dmitrievich, undergraduate student, e-mail: ivan.shadrin12@gmail.com
Yudintsev Dmitry Vladimirovich, Ph.D. (Engineering), e-mail: yudin_dv@mail.ru
Khmelnikov Yevgeny Aleksandrovich, doctor of technical Sciences, head of Department of Special engineering, khmelnikov7@gmail.com
"Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin" Nizhny Tagil technological Institute (branch), Krasnogvardeiskaya street, 59, Nizhny Tagil, 622013, Russia.

Abstract

This paper analyzes the historical development, application and prospects for the development of transmissions in armored vehicles.

Mobility is crucial the main and fundamental properties of the main battle tanks. One of the most important components of increasing the mobility of combat vehicles is the improvement of their transmissions. According to the method of energy transfer from the engine to the drive wheels, the scientists divide them into three types: mechanical, hydromechanical and electromechanical.

The use of electromechanical transmissions was hindered by the relatively large size and weight of electric machines. However, the success of the electrical industry opens up the possibility of creating small electric machines. This makes promising applications in tanks and especially in military tracked vehicles carrying energy-intensive equipment, electromechanical transmissions.

According to the results of the analysis provided in this article, it is necessary to conclude that the development and introduction of new powertrains could have a positive impact on the tanks construction development in Russia. It is correct to begin research and development work aimed at the examining and implementation of electromechanical transmissions in armored vehicles. This will have a positive impact on the development of new layout schemes in tanks.

Keywords

Armored vehicles; transmission; power broadcast; electromechanical transmission; mobility; simple kinematic scheme.

УДК 623.5

РАЗРАБОТКА БРОНЕБОЙНО-ЗАЖИГАТЕЛЬНОГО СНАРЯДА ПОВЫШЕННОГО МОГУЩЕСТВА К АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КАЛИБРА 57 мм

***Ильин Семен Сергеевич*[1], *Ширяева Вероника Юрьевна*[1];**
***д.т.н. Хмельников Евгений Александрович*[1];**
***Смагин Константин Владимирович*[1]; *Литус Игорь Борисович*[2]**

[1] Нижнетагильский Технологический институт (филиал) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,622031, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (343) 525-65-00

[2] Нижнетагильский Институт испытания металлов, Россия, г. Нижний Тагил, ул. Гагарина 29

Ильин С.С., e-mail semen.ilin.97@mail.ru
Ширяева В.Ю., e-mail ver.schi2011@yandex.ru
Хмельников Е.А., e-mail khmelnikov7@gmail.com
Смагин К.В., e-mail smaginkv@gmail.ru

Аннотация

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.

В настоящее время для артиллерийских систем калибра 57 мм на вооружении находится бронебойно-трассирующий снаряд БР-281 (рис. 1).

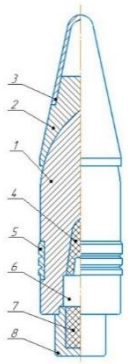


Рис. 1. Бронебойно-трассирующий снаряд 57 мм БР-281; 1-корпус, 2-бронебойный наконечник, 3-баллистический наконечник, 4-заряд ВВ, 5-ведущий поясок, 6-взрыватель, 7-пиротехнический состав трассера, 8-корпус трассера

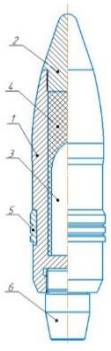


Рис. 2. Бронебойно-зажигательный снаряд 57 мм; 1-корпус, 2-демпфер, 3-твердосплавный сердечник, 4-фторопласт, 5-ведущий поясок, 6-трассер

Ранее в работе [1] авторами была предложена конструкция бронебойно-зажигательного снаряд к артиллерийской системе калибра 57 мм (рис. 2) Одним из преимуществ такого снаряда является его зажигательное действие, которое у штатного снаряда отсутствует. Зажигательное действие достигается путём применения нано 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.

В работе [1] был вычислен коэффициент формы каждого боеприпаса по закону сопротивления Ф. Сиаччи [2] и проведен расчет внешнетраекторных параметров (табл. 1).

Таблица 1

Начальные параметры расчета внешнетраекторных параметров

	Штатный	Предлагаемый, ГЧ* №1	Предлагаемый, ГЧ* №2
Масса, кг	2,8	3,789	3,666
Длина, м	0,24	0,258	0,258
Длина головной части, м	0,105	0,101	0,131
Положение центра масс, м	0,0733	0,0935	0,091
Коэффициент формы	1,23	1,25	1,031
* – Головная часть			

Анализ результатов расчетов внешней баллистики показал, что предлагаемый снаряд на дальности 1 км при начальной скорости 960 м/с, имеет большую скорость, чем штатный бронебойный. Это связано с тем, что при одинаковой начальной скорости подкалиберный снаряд имеет большую начальную кинетическую энергию (рис. 3.)

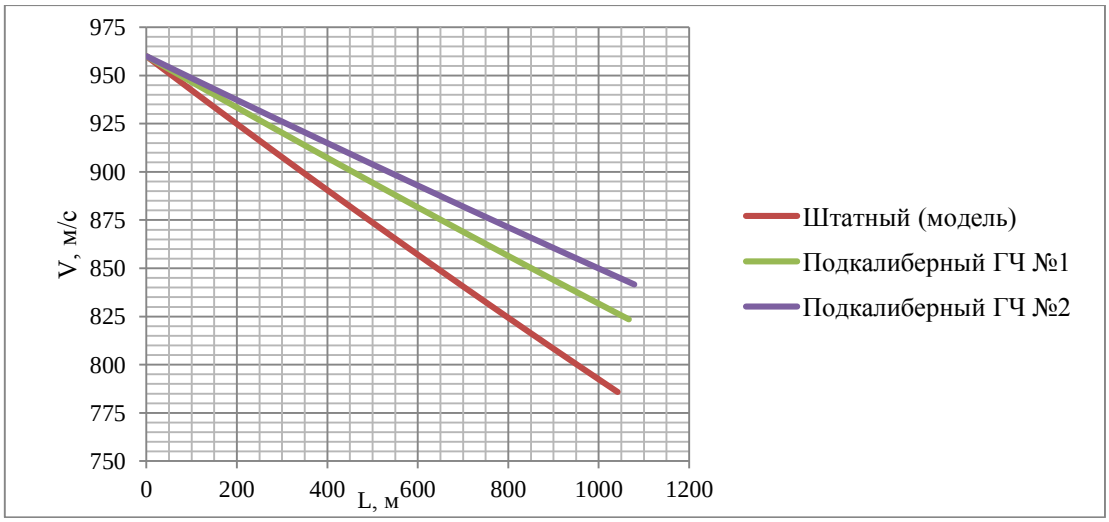


Рис. 3 График зависимости скорости снарядов от дальности полета

Также в работе [1] было проведено моделирование процесса проникания снаряда в броню в программном комплексе ANSYS AUTODYN. Анализ картины пробития проектируемым подкалиберным боеприпасом показал:

- Подкалиберный боеприпас за счет достаточного запаса энергии позволяет пробить большую толщину брони по сравнению со штатным.
- Конструкция предлагаемого снаряда позволяет занести зажигательный состав за броневую преграду.

Проводя обзорный анализ проведенной работы, нами был рассмотрен вариант улучшения формы головной части предлагаемого снаряда (ГЧ №2). А именно, был улучшен коэффициент формы головной части (табл. 1), в связи с чем уменьшилась масса снаряда, а скорость подхода к преграде (начальная скорость 960 м/с) на дальности 1000 м составила 850 м/с (рис. 3).

При моделировании процесса проникания снаряда в броню модель брони задавалась преградой из стали марки АК-25 толщиной 100, 120 и 130 мм. Скорость подхода снаряда к преграде на дальности 1 км – 850 м/с. Конечный шаг расчетов представлен ниже (рис. 4, рис. 5, рис. 6).

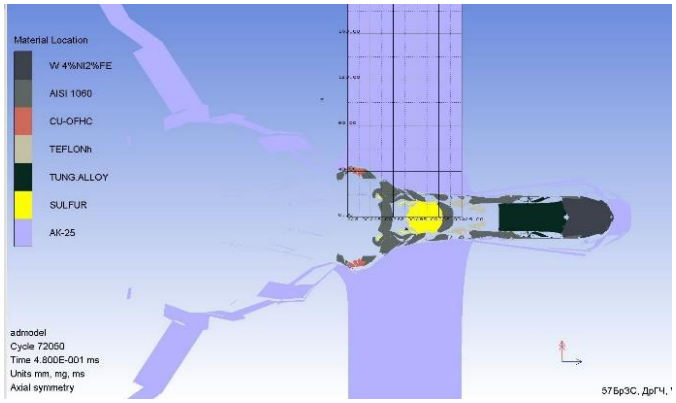


Рис. 4. Пробитие 100 мм брони бронебойно-зажигательным снарядом

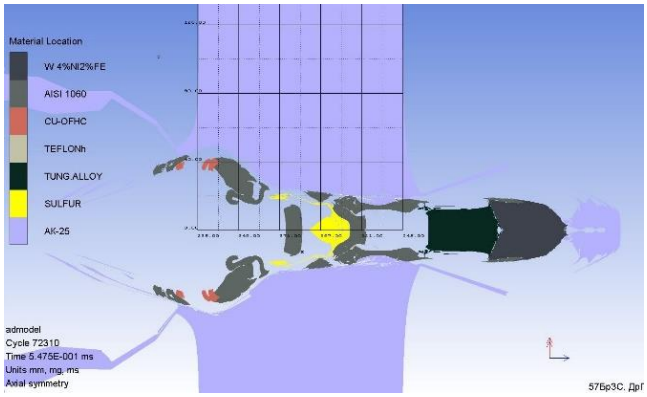


Рис. 5. Пробитие 120 мм брони бронебойно-зажигательным снарядом

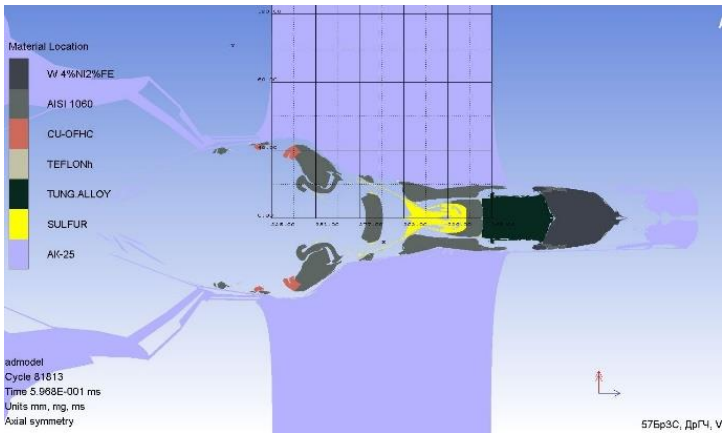


Рис. 6. Пробитие 130 мм брони бронебойно-зажигательным снарядом

Анализ результатов пробития показал, что предлагаемый снаряд с ГЧ №2 пробивает броню толщиной 100, 120 и 130 мм, в то время как штатный не пробивает преграду толщиной более 100 мм.

Заключительным этапом сравнения характеристик предлагаемого и штатного боеприпасов является расчет внутренней баллистики.

Расчет внутрибаллистических параметров основывался на применении метода Н.Ф. Дроздова (решение основной задачи внутренней баллистики при геометрическом законе горения) [3] и газодинамического подхода [4, 5, 6].

При расчете внутренней баллистики за прототип взята 57-мм автоматическая зенитная пушка (АЗП) С-60. При этом при расчете внутренней баллистики для штатного боеприпаса в результате расчета величина дульной скорости должна составлять 960 – 1000 м/с, а максимальное давление в канале ствола не должно превышать 3100 кг/см^2.

По таблице стрельб [7] заряд штатного боеприпаса состоит из семиканального пороха марки 11/7, масса которого не превышает 1,2 кг.

При расчете внутрибаллистических характеристик методом Н.Ф. Дроздова (табл. 2) необходимая скорость достигается при массе заряда 1,35–1,4 кг (на 12,5 – 16,5% больше штатного), при этом максимальное давление не превышает максимального давления системы С-60.

Таблица 2

Результаты расчета внутрибаллистических параметров штатного снаряда (порох марки 11/7)

Заряд, кг	Δ, кг/дм^3	Штатный	
1,2	0,508	V = 894 м/с	P_{max} = 2050 кг/см^2
1,3	0,551	V = 946 м/с	P_{max} = 2413 кг/см^2
1,35	0,572	V = 970 м/с	P_{max} = 2602 кг/см^2
1,4	0,593	V = 995 м/с	P_{max} = 2796 кг/см^2

Таблица 3

Результаты расчета внутрибаллистических параметров предлагаемого снаряда (порох марки 11/7)

ω, кг	Δ, кг/дм^3	Головная часть №1		Головная часть №2	
1,55	0,657	V = 952 м/с	P_{max} = 3883 кг/см^2	V = 965 м/с	P_{max} = 3832 кг/см^2
1,6	0,678	V = 971 м/с	P_{max} = 4091 кг/см^2	V = 985 м/с	P_{max} = 4041 кг/см^2
1,65	0,699	V = 990 м/с	P_{max} = 4301 кг/см^2	V = 1004 м/с	P_{max} = 4252 кг/см^2

Анализ результатов расчета (табл. 3) показал, что для предлагаемого снаряда с ГЧ №2 с использованием штатного заряда максимальное давление превышение P_{max} = 3100 кг/см^2 на 24 – 37%.

Пути уменьшения давления – использование другой марки пороха (табл. 4) или применение комбинированного заряда (табл. 5). В первом случае: анализ результатов показал, что вариантом заряда может послужить заряд из пороха

марки 22/1 тр, при котором достигается необходимая скорость и максимальное давление не превышает штатного, или марки 11/1 БП и 14/7, при которых максимальное давление превышает штатное не более, чем на 10% (табл. 4).

Таблица 4

Результаты расчета внутрибаллистических параметров предлагаемого снаряда с ГЧ №2

	9/7	11/1БП	12/7	12/1тр	14/7	14/1трВ/А	15/1трВ/А	22/1тр
1,3	–	–	–	955 3574	–	973 3991	959 3380	–
1,35	–	–	–	980 3975	–	998 4391	984 3749	–
1,4	–	–	–	1005 4412	–	–	1009 4162	–
1,5	959 4023	951 2886	–	–	–	–	–	–
1,55	976 4228	977 3173	–	–	–	–	–	953 2472
1,6	995 4434	1002 3497	959 3435	–	–	–	–	982 2695
1,65	–	—	981 4650	–	–	–	–	1012 2938
1,7	–	–	1001 3869	–	953 2991	–	–	–
1,75	–	–	–	–	978 3211	–	–	–
1,8	–	–	–	–	1002 3435	–	–	–
Примечание: верхнее значение в ячейке – скорость *V*, м/с; нижнее – максимальное давление P_{max}, кг/см^2								

Во втором случае: комбинированный заряд может состоять из двух дегрессивно горящих порохов, например, марок 16/1 тр и АПЦ-235П 16/1 (табл. 5). Полученные результаты показывают, что комбинация из 0,25 кг или 0,3 кг пороха 16/1 тр и 1,4 кг пороха АПЦ-235П 16/1, дает необходимую максимальную скорость, а максимальное давление на 17 – 21% меньше, чем при применении пороха марки 11/7.

Таблица 5

Результаты расчета внутрибаллистических параметров предлагаемого снаряда (ГЧ №2) с комбинированным зарядом

16/1 тр, кг	АПЦ-235П 16/1, кг	Δ, кг/дм^3	P_{max}, кг/см^2	V, м/с
0,25	1,4	0,699	3257	996
0,3	1,4	0,72	3519	1016
0,3	1,3	0,678	2988	974
1,4	0,3	0,72	3218	991

Выводы:

1. Предложен подкалиберный бронебойно-зажигательный снаряд к артиллерийской системе калибра 57 мм.

2. Анализ проведенных расчетов показывает возможность применения данного снаряда в качестве боеприпаса для современных проектируемых систем калибра 57 мм.

3. Результаты расчетов внешней, конечной и внутренней баллистики показывает возможность применения предлагаемого боеприпаса в качестве штатного боеприпаса для АЗП С-60. При этом достигаются необходимые тактико-технических характеристики на заданной дистанции выстрела.

4. Предлагаемый снаряд позволяет существенно увеличить толщину пробиваемой брони, при этом дополнительное снаряжение в виде реакционного материала (фторопласт-алюминиевая механоактивированная наносмесь) создает мощное зажигательное действие. Расчеты показывают высокую вероятность заноса реакционного материала за броневую преграду.

5. 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. Ширяева В.Ю., Хмельников Е.А., Смагин К.В. Разработка конструкции бронебойно-зажигательного снаряда к артиллерийской системе калибра 57 мм. В сб. «Наука. Промышленность. Оборона.» Труды XIX Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018.

2. Частные вопросы конечной баллистики / В.А. Григорян, А.Н. Белобородько, Н.С. Дорохов и др.; Под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 592 с.: ил.

3. М.Е. Серебряков, Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет, Оборонгиз, 1962 – 705 с.

4. Дубинина С.Ф., Хмельников Е.А., Смагин К.В. Газодинамический подход при вычислении внутрибаллистических параметров при выстреле. В сб. «Наука.

Промышленность. Оборона.» Труды XIX Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018.

5. Русяк И.Г., Ушаков В.М. «Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах», Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 259 с.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. Бронебойный подкалиберный снаряд // Патент России №2014146315.2014/Хмельников Е.А., Стыров А.В. Смагин К.В. [и др.]

11. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М.: Либроком, 2015. - 272 с.

DEVELOPMENT OF THE ARMOUR-PIERCING INCENDIARY AMMUNITION CONSTRUCTION TO THE CALIBER ARTILLERIC SYSTEM 57 mm

***Semen Sergeyevich Ilin*[1],** student, e-mail semen.ilin.97@mail.ru
***Shiryaeva Veronika Yurevna*[1],** student, e-mail ver.schi2011@yandex.ru
***Khmelnikov Evgeny Aleksandrovich*[1],** doctor of technical Sciences, head of Department of Special engineering, e-mail khmelnikov7@gmail.com
***Smagin Konstantin Vladimirovich*[1]**, Assistant, e-mail smaginkv@gmail.com
[1]Nizhny Tagil Technology Institute (branch) Ural Federal University, Krasnogvardeyskaya st., 59, Nizhny Tagil, 622000, Russian Federation.

Abstract.

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.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОБИТИЯ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН УДАРНИКОМ С ОЖИВАЛЬНОЙ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ ПРИ НИЗКИХ СКОРОСТЯХ (315 М/С)

Фазылов Талгат Вадимович, Пристай Анастасия Михайловна
[1]НИ Томский государственный университет, 634057, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, корп.10

Фазылов Т.В. e-mail: talgat505@gmail.com
Пристай А.М. e-mail: anastasiya.pristaj@mail.ru

Адрес для корреспонденции: ***Орлов Максим Юрьевич,*** Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634057, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36 корп.10

Аннотация

Проведено теоретико-экспериментальное исследование процесса пробития стальных однородных и двухслойных пластин металлическим ударником. В лабораторном эксперименте было установлено, что после пробития однослойной преграды ударник не был пластически деформирован, а после пробития двухслойной – имело место пластическая деформация его носовой части. Диаметр входных и выходных отверстий был примерно одинаковым. Расчетным путем получено, что запреградная скорость ударника составляла 266 и 161 м/с соответственно.

Ключевые слова

Ударник, эксперимент, расчет, пробитие, стальная пластина

1. Введение

В настоящее время изучение процесса высокоскоростного взаимодействия ударника с различными преградами является актуальной научной проблемой. Актуальность исследований можно объяснить необходимостью улучшения кинетических средств поражения для гражданских и военных целей. Поисковые научные исследования призваны выявить основные механизмы и закономерности процесса разрушения ударников и преград в труднодоступной для лабораторного эксперимента области начальных условий.

В НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета постоянно ведутся поисковые научные изыскания объектами

исследования которых были комбинированные ударники и слоистые конструкции. Последние имитировали современные защитные конструкции наземного и морского базирования. Был разработан многофункциональный пользовательский программный комплекс для расчета современных динамических многоконтактных задач механики деформируемого твердого тела. Под такими задачами понимаются задачи динамического (ударного и взрывного) нагружения неоднородных материалов и конструкций (слоисто-скрепленные конструкции, сэндвич панели, преграды с неоднородными включениями и т.п.) [1]. Один из пяти решателей был создан специально для решения задач сквозного пробития и глубокого внедрения.

Целью настоящей работы было теоретико-экспериментальные исследование процесса пробития стальных пластин металлическим ударником в дозвуковом диапазоне начальных скоростей (≤315 м/с).

2. Экспериментальные исследования процесса пробития металлических пластин

Экспериментальные исследования проведены на базе стрелкового Тира Томского Отделения Ассоциации Пулевой стрельбы [2]. Экспериментальная установка состояла из высокоскоростной камеры, заводского пуле приемника, подставки для установки преград и нескольких световых прожекторов. Экспериментальная установка является мобильной. Время сборки и настройки не более 1 часа. Расстояние до преграды не более 3 м. Процесс соударения осуществлен одиночным выстрелом из пистолета Макарова ПМ. Ударник − 9 мм оболочечная пуля патрона 57-Н-181С пистолета Макарова (ПМ). В процессе выстрела видеоаппаратура закрывалась специальным защитным экраном для предотвращения возможных повреждений извне.

Рассмотрены однослойные и двуслойные пластины толщиной 1 мм. Во втором случае отсутствовал воздушный зазор между слоями. Начальная скорость – 315 м/с. Материал пластины – широкоизвестная сталь Ст. 3.

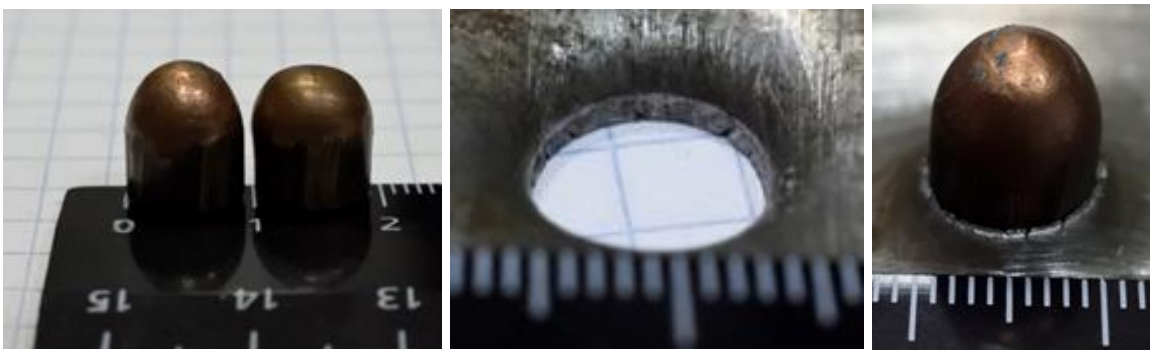


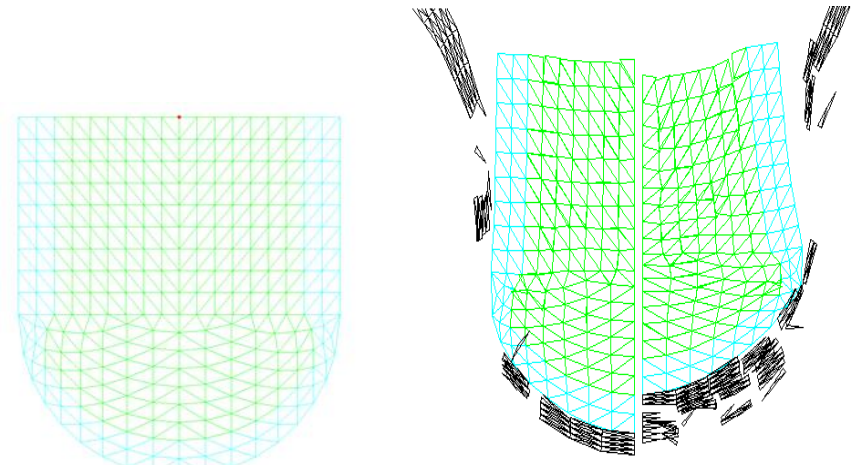
Рисунок 1 – Результаты эксперимента: пуля после пробития одно/двухслойной пластины, входное отверстие в однослойной преграде, пуля после пробития однослойной преграды (реконструкция). Цена деления – 1 мм. Фото – Солоненко В.А.

На рисунке 1 показаны результаты лабораторного эксперимента. Видно, что ударник во втором случае был деформирован в носовой части. Края пробоины были ровные, а ее диаметр практически совпадал с исходным диаметром ударника. Похожая картина наблюдалось в тыльном слое, но только в случае двухслойной преграды. Кольцевых и радиальных трещин не обнаружено. Упомянутые выше закономерности процесса пробития были смоделированы при помощи компьютерной программы и изложены в следующем разделе статьи.

3. Численные результаты и обсуждение

Ниже приведены результаты компьютерного моделирования упомянутых лабораторных экспериментов. Расчеты проведены в упруго-пластическом двумерном осесимметричном случае. В качестве решателя использовался модифицированный метод Джонсона Г.Р. [3].

На рис. 2 показаны фрагменты конечных конфигураций после процесса пробития (слева – однослойная пластина, справа – двуслойная пластина). Разным цветом показаны омедненная оболочка пули и ее свинцовая часть. Следует отметить, что модель пули является упрощенной (в ней отсутствует свободная поверхность). Видно, что диаметр пробоины практически совпадает с исходным диаметром. Кроме этого, наблюдается «сплющивание» пули во втором расчете.



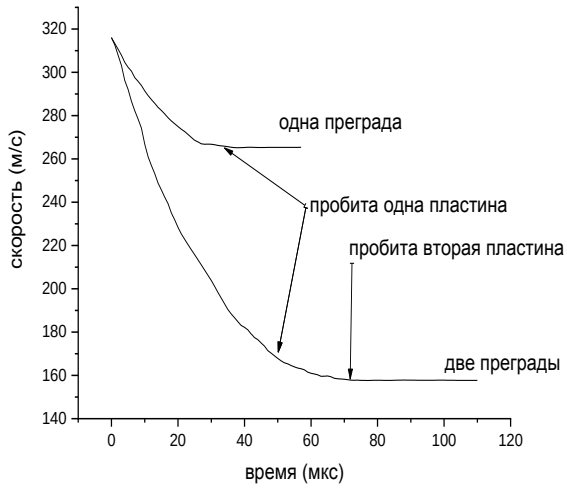


Рисунок 2 – Результаты вычислительного эксперимента: 2D конечно-элементная модель пули (левая часть – первый эксперимент, правая часть – второй эксперимент), временная зависимость запреградной скорости пули

Временная зависимость запреградной скорости пули иллюстрирует участки быстрого и медленного снижения скорости. Видно, что после пробития однослойной пластины запреградная скорость составляла 266 м/с, а после пробития двуслойной пластины – 161 м/с.

4. Выводы

При лабораторном эксперименте по пробитию однослойных и двухслойных стальных пластин было установлено следующее. Диаметр входных и выходных отверстий в преградах был сопоставим с цилиндрической частью пули. Края отверстий гладкие. После пробития образовалось «пробка» из материала преграды. В первом случае пуля не была пластически деформирована. Во втором случае деформировались только ее носовая часть.

Расчетным путем установлено, что при пробитии одной пластины пуля не имела видимых пластических деформаций, а при пробитии двухслойной пластин имеются изменения только ее носовой части, что соответствует реальности. Также были расчитаны запреградные скорости для обоих вариантов. В первом случае скорость равнялась 266 м/с и 161 м/с во втором. Выявлено, что снижение скорости пули имела зависимость близкую к гиперболической. Время процесса пробития не превысило 70 мкс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Герасимов А.В. и др. Теоретические и экспериментальные исследования высокоскоростного взаимодействия тел. 2007. – 572 с.

2. Официальный сайт Ассоциации практической Стрельбы в Томске [Электронный ресурс]: http://strelok.tomsk.ru/

3. Глазырин В.П., Орлов Ю.Н., Орлов М.Ю., Орлова Ю.Н. Взрывное нагружение конструкций. Осесимметричная задача. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010615392 от 20.08.2010 г.

RESEARSCH OF FRACTURE OF STEEL PLATES SUBJECTED TO PROJECTILE WITH INITIAL VELOCITIES IN THE SUBSONIC RANGE

Talgat Fazylov; Anastasy Pristai

Abstract

A theoretical experimental study of the process of perforating steel homogeneous and two-layer plates by a projectile was carried out. In a laboratory experiment, it was found that after the single-layer plate was perforated, the projectile was not plastically deformed, and after the double-layer perforation, plastic deformation of its nose part took place. The diameter of the inlet and outlet holes was about the same. By calculation, it was obtained that the residual velocity of the projectile was 261 and 161 m / s, respectively.

Keywords

Impact, experiment, penetration, destruction, projectile, penetration

СЕКЦИЯ: РАДИОЛОКАЦИЯ, РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396.678

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВХОДНОГО ИМПЕДАНСА СИСТЕМЫ ИЗ ДВУХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДИПОЛЬНОГО ВИДА С КОНЦЕВЫМ ПИТАНИЕМ

Алексейцев Сергей Александрович [1], аспирант

[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Алексейцев С. А., email alekseytsev94@mail.ru

Адрес для корреспонденции: ***Алексейцев Сергей Александрович,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8 913 913 33 90

Аннотация:

Представлен метод расчета входного импеданса системы из двух излучателей дипольного вида с концевым питанием, находящихся в ближних реактивных полях друг друга. Взаимодействие между элементами системы описано в терминах взаимных импедансов, возникающих посредством существования продольной компоненты электрического поля, наводимого одним излучателем на другой. Частотная зависимость входного импеданса системы от геометрии излучающих элементов и от расстояния между ними является ключевым звеном в процессе эскизного проектирования двухдиапазонных антенн.

Ключевые слова: входной импеданс, взаимный импеданс, собственный импеданс, диполь, векторный потенциал.

1. Введение

Формально, систему из двух одновременно возбуждаемых излучателей дипольного вида (ИДВ) с концевым питанием (рис. 1 *а*) можно описать в терминах электрической цепи из сосредоточенных элементов [1,2] (рис. 1 *б*). При этом для вывода частотной зависимости входного импеданса не является

жестким требование учета технологических особенностей возбуждения пары ИДВ с концевым питанием.

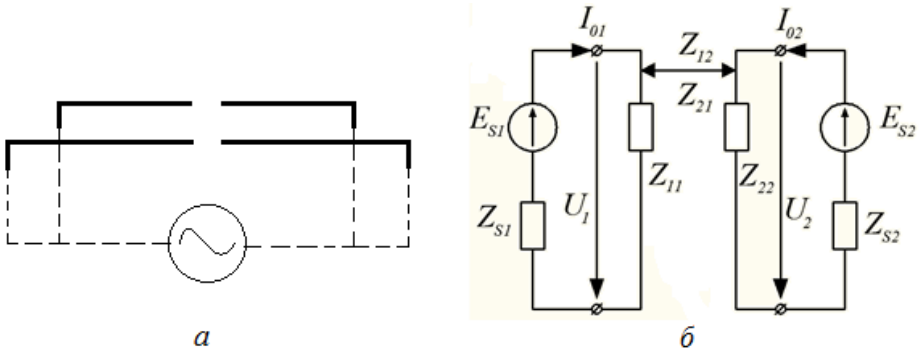


Рис. 1. Система двух ИДВ (а) и ее эквивалентная схема (б).

Далее, используя основные соотношения метода наводимых электродвижущих сил (ЭДС) [3], для схемы (рис. 1 *б*) получаем систему уравнений в *Z* - параметрах:

$$\left.\begin{aligned} \mathrm{U}_1 &= \mathrm{Z}_{11}\mathrm{I}_{01} + \mathrm{Z}_{12}\mathrm{I}_{02} \\ \mathrm{U}_2 &= \mathrm{Z}_{21}\mathrm{I}_{01} + \mathrm{Z}_{22}\mathrm{I}_{02} \end{aligned}\right\}. \qquad (1)$$

Здесь собственные $\mathrm{Z}_{ii}(i=1..2)$ и взаимные $Z_{ij}(i=1..2, j=1..2, i\neq j)$ импедансы характеризуют соответствующие собственные и взаимные комплексные мощности, существующие в системе. Из системы (1), принимая одну и ту же ЭДС, действующую на оба ИДВ ($U_1 = U_2 = U$), и формулу для входного импеданса всей системы:

$$Z_{sys} = \frac{U}{I_{01} + I_{02}}. \qquad (2)$$

получаем выражение для соответствующей величины в терминах собственных и взаимных импедансов ИДВ:

$$Z_{sys} = \frac{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}{Z_{11} - Z_{12} - Z_{21} + Z_{22}}. \qquad (3)$$

Из выражения (3), при подстановке $Z_{12} = Z_{21} = 0$, вытекает достаточно тривиальное следствие – формула для параллельного включения двух ИДВ, если бы между ними не существовало взаимной связи.

2. Теория

Имея распределение поверхностного тока ИДВ [3] $I_z(z) = I_m \sin(kz)$ и соотношения для собственных и взаимных импедансов двух (вообще говоря, произвольно расположенных по отношению друг к другу) линейных излучателей:

$$Z_{11} = -\frac{2}{I_{01}I_{01}^*}\int_0^{l_1} E_{Z11}I_{Z1}^* dz_1, Z_{22} = -\frac{2}{I_{02}I_{02}^*}\int_0^{l_2} E_{Z22}I_{Z2}^* dz_2\,, \tag{4}$$

$$Z_{12} = -\frac{2}{I_{02}I_{01}^*}\int_0^{l_1} E_{Z12}I_{Z1}^* dz_1, Z_{21} = -\frac{2}{I_{01}\cdot I_{02}^*}\int_0^{l_2} E_{Z21}I_{Z2}^* dz_2\,, \tag{5}$$

а также принимая во внимание следствие теоремы Рэлея-Гельмгольца о равенствах передаточных импедансов двух антенн с равными возбуждающими ЭДС ($Z_{12} = Z_{21}$), получим формулу для полного входного импеданса системы из двух активных ИДВ с концевым питанием:

$$Z_{sys} = \frac{-\frac{2}{I_{01}I_{01}^*}\int_0^{l_1} E_{Z11}I_{Z1}^* dz_1 \cdot \left[-\frac{2}{I_{02}I_{02}^*}\int_0^{l_2} E_{Z22}I_{Z2}^* dz_2\right] - \left[-\frac{2}{I_{02}I_{01}^*}\int_0^{l_1} E_{Z12}I_{Z1}^* dz_1\right]^2}{-\frac{2}{I_{01}I_{01}^*}\int_0^{l_1} E_{Z11}I_{Z1}^* dz_1 + 2\cdot\frac{2}{I_{02}I_{01}^*}\int_0^{l_1} E_{Z12}I_{Z1}^* dz_1 - \frac{2}{I_{02}I_{02}^*}\int_0^{l_2} E_{Z22}I_{Z2}^* dz_2} \tag{14}$$

Для определения тангенциальных составляющих E_{Zij} в бесконечной близости от поверхностей ИДВ, но не на них самих, запишем *z*-компоненту векторного потенциала в точке наблюдения:

$$A_z(z) = \frac{1}{4\pi}\int_{z'=0}^{l} I_z(z')\left[G_{0..l}(z,z') + G_{-l..0}(z,z')\right]dz'\,, \tag{7}$$

где $G_{a..b}(z,z')$ - функция Грина свободного пространства, в которой интервал *a..b* определяет границы существования воздействующего сигнала. Составляющая E_{Zij} связана с векторным потенциалом следующей зависимостью:

$$E_z = \frac{1}{i\omega\varepsilon_0\varepsilon_r}\left(k^2 A_z + \frac{d^2 A_z}{dz^2}\right)\cdot \tag{8}$$

Подставив (7) в (8), и принимая равенства частных производных второго порядка от радикальных компонент, входящих в функции Грина, по штрихованным и нештрихованным координатам:

$$\frac{\partial^2 R_1}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 R_1}{\partial z'^2}\,;\, \frac{\partial^2 R_2}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 R_2}{\partial z'^2}\,, \tag{9}$$

где

$$R_1 = \sqrt{r^2 + (z - z')^2}\,,\; R_2 = \sqrt{r^2 + (z + z')^2}\,, \tag{10}$$

и дважды проинтегрировав результат подстановки по частям, получаем:

$$E_z = \frac{1}{j\cdot 4\pi\cdot\omega\cdot\varepsilon_r\cdot\varepsilon_0}\cdot\left\{ I_z(z')\cdot\frac{\partial}{\partial z'}\left[\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_1}}{R_1}+\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_2}}{R_2}\right]\Bigg|_{z'=0}^{z'=l} - \right.$$

$$-\frac{dI_z(z')}{dz'}\cdot\left[\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_1}}{R_1}+\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_2}}{R_2}\right]\Bigg|_{z'=0}^{z'=l} +$$

$$\left. +\int_{z'=0}^{z'=l}\left[\frac{d^2 I_z(z')}{dz'^2}+k^2 I_z(z')\right]\cdot\left[\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_1}}{R_1}+\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_2}}{R_2}\right]dz'\right\}. \qquad (11)$$

Произведя проверку внеинтегральных и интегральных слагаемых (11) в предельных точках интегрирования, и, сделав очевидные упрощения, находим, что тангенциальная составляющая E_z вблизи поверхности ИДВ равна:

$$E_z = \frac{1}{j\cdot 4\pi\cdot\omega\cdot\varepsilon_r\cdot\varepsilon_0}\cdot\left\{ I_m\sin(kl)\cdot\left[\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_{1l}}}{{R_{1l}}^3}\cdot(z-l)\cdot(1+j\cdot k\cdot R_{1l})-\right.\right.$$

$$\left. -\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_{2l}}}{{R_{2l}}^3}\cdot(z+l)\cdot(1+j\cdot k\cdot R_{2l})\right]-$$

$$\left. -k\cdot I_m\cdot\left[\cos(k\cdot l)\cdot\left[\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_{1l}}}{R_{1l}}+\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_{2l}}}{R_{2l}}\right]-2\cdot\frac{e^{-j\cdot k\cdot R_0}}{R_0}\right]\right\}, \qquad (12)$$

где $R_{1l}=\sqrt{r^2+(z-l)^2}$, $R_{2l}=\sqrt{r^2+(z+l)^2}$, $R_0=\sqrt{r^2+z^2}$.

Имея *z*-компоненту поля $\vec{E}$ вблизи поверхности ИДВ, можно определить взаимные и собственные импедансы излучателей по выражениям (4) и (5). Интегрирование ведется по длине ИДВ, на который наводится электрическое поле второго ИДВ. Обозначив внутри системы излучатели как «1» и «2», можно записать:

$$E_{Z12} = \frac{1}{j\cdot 4\pi\cdot\omega\cdot\varepsilon_r\cdot\varepsilon_0}\cdot\left\{ I_{m2}\sin(kl_2)\cdot\left[\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_{1l}}}{{R^*_{1l}}^3}\cdot(z-l_2)\cdot(1+j\cdot k\cdot R^*_{1l})-\right.\right.$$

$$\left. -\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_{2l}}}{{R^*_{2l}}^3}\cdot(z+l_2)\cdot(1+j\cdot k\cdot R^*_{2l})\right]-$$

$$\left. -k\cdot I_{m2}\cdot\left[\cos(k\cdot l_2)\cdot\left[\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_{1l}}}{R^*_{1l}}+\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_{2l}}}{R^*_{2l}}\right]-2\cdot\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_0}}{R^*_0}\right]\right\}, \qquad (13)$$

где $R^*_{1l}=\sqrt{d^2+(z-l_2)^2}$, $R^*_{2l}=\sqrt{d^2+(z+l_2)^2}$, $R^*_0=\sqrt{d^2+z^2}$. С учетом (12) и (13) получим:

$$Z_{12} = C\left[\int_0^{l_1} \sin(kz)\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_{1l}}}{{R^*_{1l}}^3}(z-l_2)(1+ikR^*_{1l})dz - \int_0^{l_1} \sin(kz)\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_{2l}}}{{R^*_{2l}}^3}(z+l_2)(1+ikR^*_{2l})dz - \right.$$

$$-kI_2 ctg(kl_2)\int_0^{l_1} \sin(kz)\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_{1l}}}{R^*_{1l}}dz - kI_2 ctg(kl_2)\int_0^{l_1} \sin(kz)\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_{2l}}}{R^*_{2l}}dz +$$

$$\left. + \frac{2kI_2}{\sin(kl_2)}\int_0^{l_1} \sin(kz)\frac{e^{-j\cdot k\cdot R^*_0}}{R^*_0}dz\right], C = \frac{i60}{k\sin(kl_1)}. \qquad (14)$$

3. Выводы

Полученные соотношения позволяют рассчитать входной импеданс системы из двух ИДВ с концевым питанием с целью определения начальных геометрических параметров двухдиапазонной антенны дипольного вида.

Библиографический список:

[1] Кочержевский Г. Н. Антенно-фидерные устройства, Москва.: Радио и связь, 1989. – 352 с.

[2] Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. – М.: Энергия, 1975. – 528 с.

[3] Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высшая школа, 1988.–432 с.

TOWARDS THE PROBLEM OF INPUT IMPEDANCE ESTIMATION OF COUPLE ENDS-FED DIPOLE-TYPE RADIATORS

Alekseytsev Sergey Alexandrovich [1], ***PhD student***

[1] Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks Avenue, 20

Alekseytsev S. A., email alekseytsev94@mail.ru

Abstract

In this paper the method for input impedance estimation of system, which consists of couple ends-fed dipole-type radiators, being placed inside of near parasitic fields of each other is introduced. Electromagnetic coupling between radiators is taken into account in terms of mutual impedances appearing due to existence of longitudinal term of electric field, being induced by one radiator to another. Frequency-depended nature of the input impedance and its dependence on the systems dimensions is crucial when designing dual-band antennas.

Key words: input impedance, mutual impedance, own impedance, dipole, vector potential

УДК 621.396.6(08)

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕГУЛИРОВИ РАДИОЧАСТОТНЫХ СБЛ

Делова Надежда Игоревна, студент; Мосейчук Руслан Александрович, студент; Шебалкова Любовь Васильевна, старший преподаватель

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23
Делова Н. И., e-mail: nad.delova@yandex.ru
Мосейчук Р. А., e-mail: moseichuk-ruslan@mail.ru
Шебалкова Л.В., e-mail: shebalkova@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: **Делова Надежда Игоревна**, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23

Аннотация.
В статье приведено описание СВЧ измерительного комплекса, который объединяет в себе функции импульсного векторного анализатора цепей, измерителя коэффициента шума и измерителя уровня интермодуляционных искажений.
Ключевые слова: фазированные антенные решетки, зондирующий сигнал, приемо-передающий модуль.

Технология активных фазированных антенных решеток (АФАР) на сегодня является доминирующей при построении радиоэлектронных систем различного назначения. Ключевым элементом АФАР является встроенный в элементарный излучатель антенны приемо-передающий модуль (ППМ), использующий арсенидогаллиевые монолитно-интегральных схемы (МИС СВЧ) [3].

Отличительной чертой АФАР является перераспределение усиления из группового тракта приема и передачи в апертуру антенны за счет добавления нового элемента – приемопередающего модуля. В результате появляются новые возможности системы в сравнении с ФАР, такие как амплитудно-фазовое формирование лучей; улучшаются технические параметры: меньший шум-фактор приемника, меньшая мощность основного передатчика (становится

возможным его твердотельное исполнение), в итоге - повышенный ресурс и надежность бортовой радиолокационной станции [1].

Обобщая требования по измерению параметров ППМ можно выделить два основных типа прибора, необходимых для измерительного комплекса – шумовой и векторный анализатор цепей. Принцип действия указанных приборов основан на измерении и сравнении априорно известного зондирующего сигнала с прошедшим через исследуемое устройство. Принципиальные отличия заключаются в виде зондирующего сигнала и алгоритме измерения. Для векторного анализатора зондирующим сигналом может являться синусоида; для шумового, в зависимости от метода измерения, собственно шум с определенной спектральной мощностью [1, 2].

В разработанном комплексе зондирующий сигнал формируется цифровым способом на промежуточной частоте 15МГц. Благодаря такому решению удалось объединить формирователь зондирующего сигнала (ФЗС) в один узел для обоих типов измерений. Необходимая форма зондирующего сигнала может быть загружена с ПЭВМ в память узла. В состав ФЗС входит блок синтезаторов частот и преобразователь для однополосного конвертирования зондирующего сигнала на СВЧ (рис. 1). Диапазон перестройки комплекса составляет 8-12 ГГц с минимальным шагом 100 МГц. Дополнительно блок синтезаторов частот синтезирует сигнал гетеродина для преобразователей измерительных приемников стенда, который синхронен с зондирующим сигналом и сдвинут на 15 МГц по частоте [2].

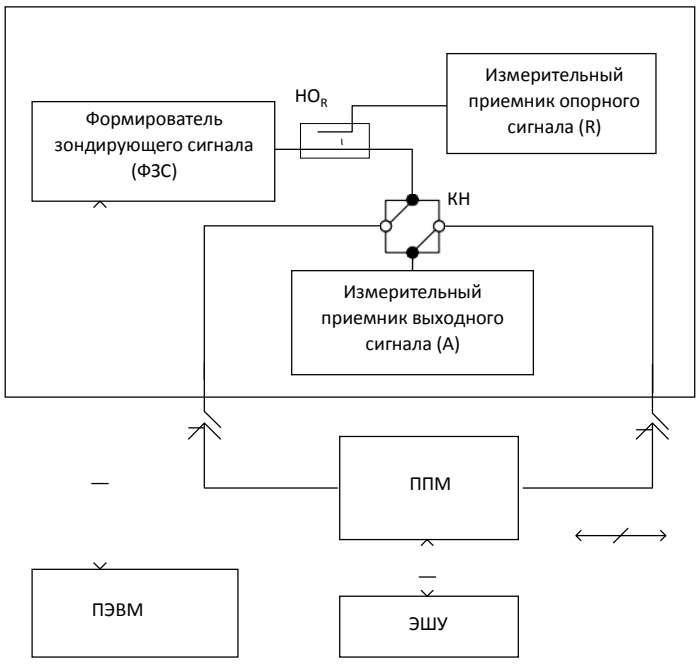


Рис. 1 — Структурная схема измерительного комплеса.

СВЧ коммутатор направления (КН) осуществляет изменение направления измерений ППМ по командам от внутреннего контроллера измерительного стенда. Роль контроллера выполняет программируемый цифровой автомат, расположенный в ФЗС. Алгоритм измерений на один цикл развертки по частоте задается в памяти контроллера внешней управляющей программой с ПЭВМ [2].

В качестве измерительных приемников стенда используются одноканальные цифровые приемники, состоящие из СВЧ преобразователя на промежуточную частоту 15 МГц и блока АЦП. Оцифрованный сигнал подвергается предварительной обработке и сохраняется во внутренней памяти измерительного приемника. Алгоритм обработки данных зависит от типа измерения. После завершения цикла измерения по развертке полученные данные передаются в ПЭВМ.

Приведенный измерительный комплекс является оптимизированным измерительным прибором контроля параметров ППМ АФАР. Простота подключения узлов и гибкость в конфигурировании, широкие возможности формирования зондирующих сигналов позволяют использовать комплекс для решения других задач, таких как измерение параметров антенн и СВЧ тракта радиолокационной станции [2].

Библиографический список:

1. Синани А.И., Алесеев О.С., Винярский В.Ф. Активные ФАР. Концепция разработки и опыт разработки. – Антенны, 2005, №2(93). С.64-68.

2. Бахрах Л.Д., Зайцев Д.Ф. Фазированные антенные решетки на основе распределенных оптических антенных модулей // Доклады АН. 2004. Т. 394. № 4. С. 465–468.

3. Воскресенский Д.И. Бортовые цифровые антенные решетки и их элементы. – М.: Радиотехника, 2013. С. 208-209.

OPTIMIZATION OF THE REGULATORY TECHNIQUE RADIO FREQUENCY SBL

Delova Nadezhda Igorevna, Student, e-mail nad.delova@yandex.ru
Mosejchuk Ruslan Aleksandrovich, **Student, e-mail** moseichuk-ruslan@mail.ru
Shebalkova Lyubov Vasilievna, Senior Lecturer, e-mail shebalkova@corp.nstu.ru
Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, 630073, Russia

Annotation – The article describes the microwave measuring complex, which combines the functions of a pulsed vector network analyzer, noise figure meter and intermodulation distortion level meter.
Keywords – phased antenna arrays, probing signal, transceiver module.

УДК 621.002.2:004.4(076.5)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАМОТКИ КАТУШЕК СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Добрынин Вячеслав Юрьевич, студент;

Сырецкий Геннадий Александрович, к.т.н.

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Добрынин В.Ю., e-mail w.v.dobr@gmail.com

Адрес для корреспонденции: ***Добрынин Вячеслав Юрьевич***, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (923)114-95-03

Аннотация:

Отражены такие результаты эскизного проектирования отечественного станка для автоматизации процесса намотки катушек силовых электродвигателей как 3D-модель станка и векторная система управления шпинделем. Выявлены и модельно изучены особенности работы автоматической системы управления процессом намотки катушек.

Ключевые слова:

Автоматизация процесса, станок, шпиндель, импортозамещение, 3D-модель, система управления.

1. Введение

В настоящее время актуально для промышленности создание конкурентно способного автоматизированного технологического оборудования на отечественной элементной базе, в частности, в электромашиностроении. Известно, что для выполнения автоматизации процесса намотки катушек мощных электродвигателей необходимы специальные автоматизированные станки. Такие станки производятся рядом зарубежных компаний, например, немецкой фирмой Heinrich Schümann (рисунок 1). Учитывая данные обстоятельства и востребованность в таком оборудовании в нашей стране, значимо формирование эскизного проекта конструкции и системы управления намоточного станка с узлами и элементами импортозамещения.

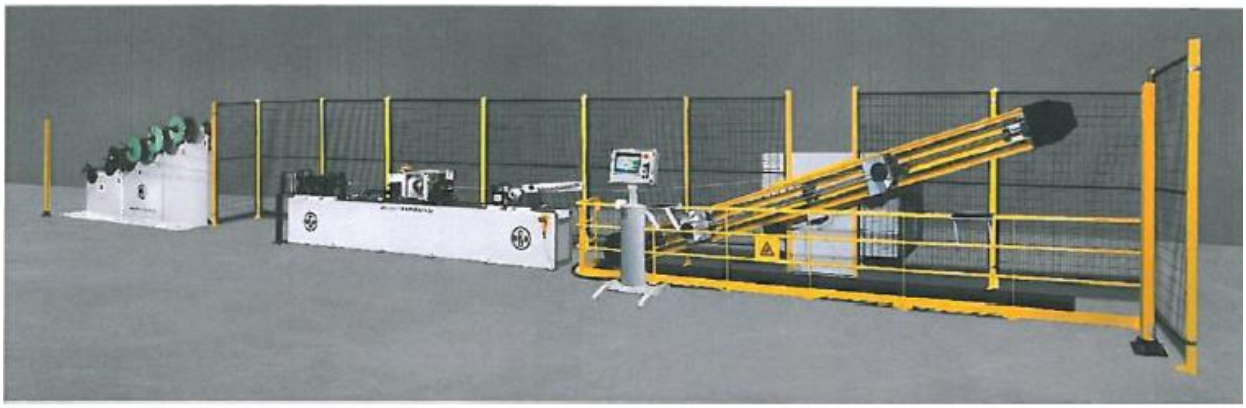


Рис. 1. Внешний вид намоточного станка компании Heinrich Schümann

2. Материалы и методы

3D-модель

Созданная эскизная 3D-модель намоточного станка позволяет отработать и уточнить различные требования, необходимые для его производства. Станок является сложным изделием, поэтому 3D-модель позволяет представить его внешний вид и взаимодействие его узлов. Проработка этих моментов на этапе проектирования позволяет избежать экономических потерь.

Трехмерная модель выступает в роли исходных данных для проведения расчетов, CAE-анализа, выпуска конструкторской документации, создания технологических процессов, проектирования приспособлений и разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Все это необходимо для производства намоточного станка, соответствующего заданным требованиям.

Система управления процессом намотки треков

В докладе рассмотрены различные подходы к построению системы управления процессом намотки, в частности, базирующейся на векторном управлении асинхронным двигателем (АД) [1] с короткозамкнутым ротором (КЗР) (рисунок 2).

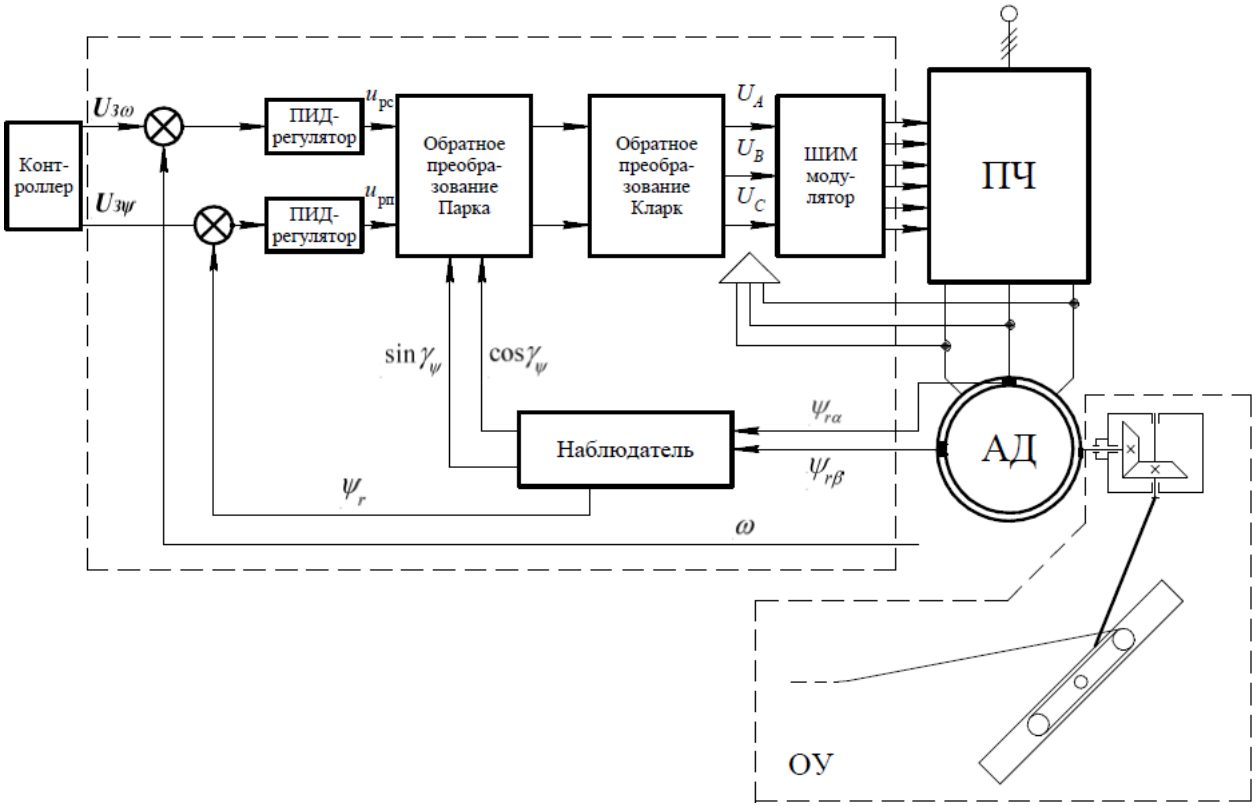


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема векторного управления процессом намотки треков

3. Результаты и обсуждение

Создание 3D-модели осуществлено в программном продукте PTC Creo Parametric 4.0 (рисунок 3 и 4).

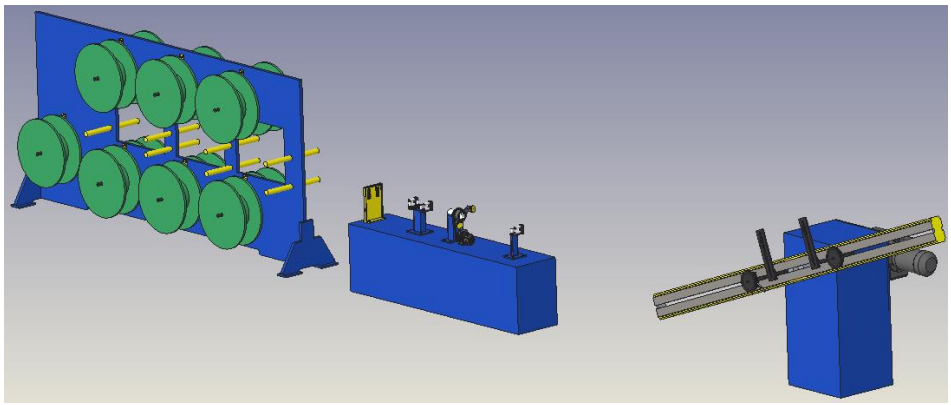


Рис. 3. 3D-модель механизмов намоточного станка (сборка)

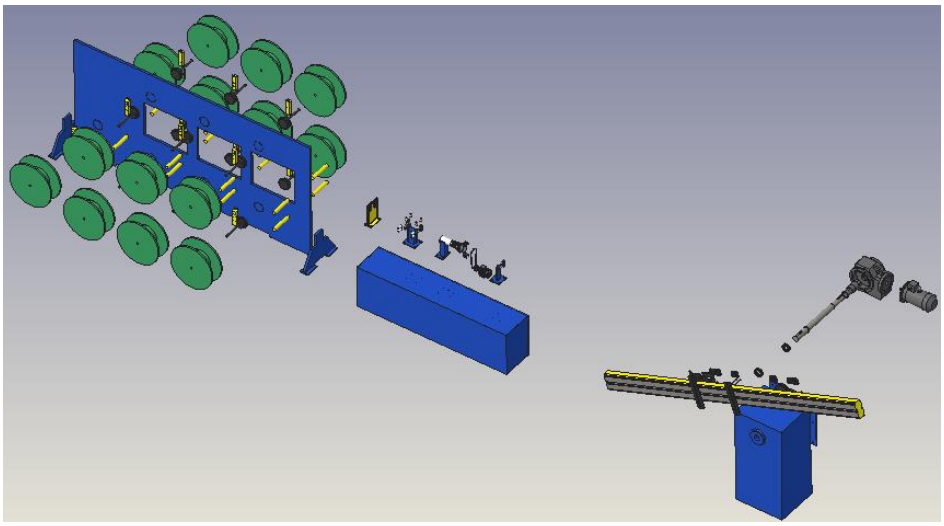


Рис. 4. Детализированная до узлов 3D-модель намоточного станка

Детально обсуждаемая в докладе модель системы векторного управления сформирована и исследована в MatLab&Simulink R2018b (рисунок 5).

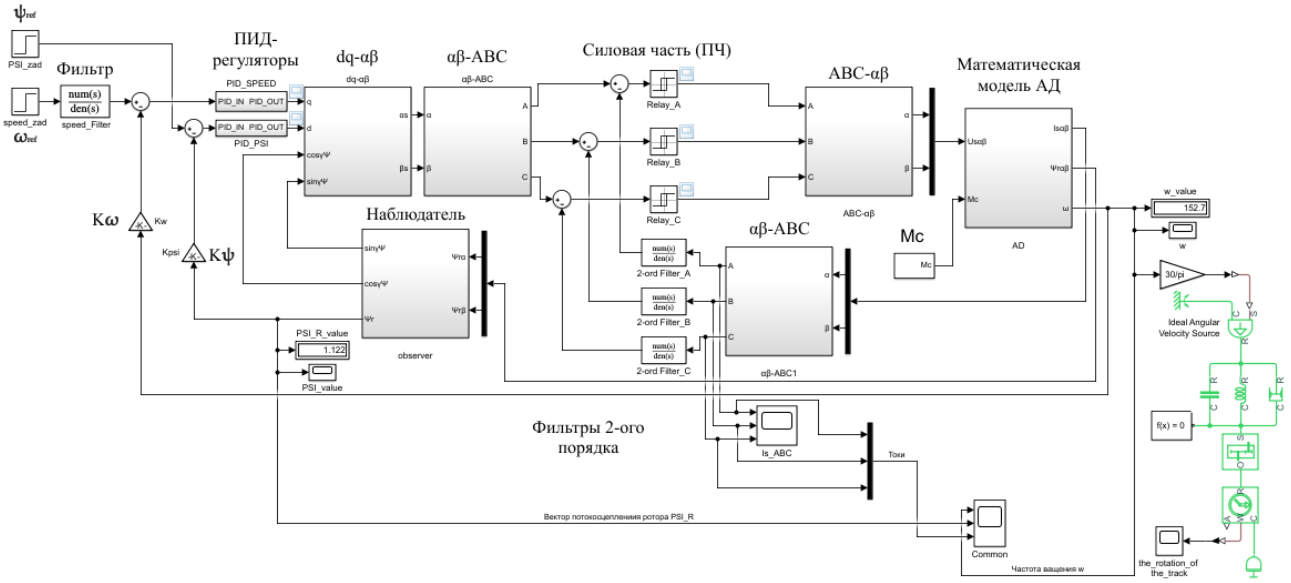


Рис. 5. Модель АД с векторной системой управления в Matlab&Simulink

В данной модельной системе реализованы обратные связи по току и скорости, сигналы от которых поступают на ПИД-регуляторы. Нагруженный АД с КЗР модели D160M4 представлен векторно-матричной математической моделью в обобщенной неподвижной системе координат α, β, в которой исключены векторы потокосцепления статора и токов ротора (рисунок 6).

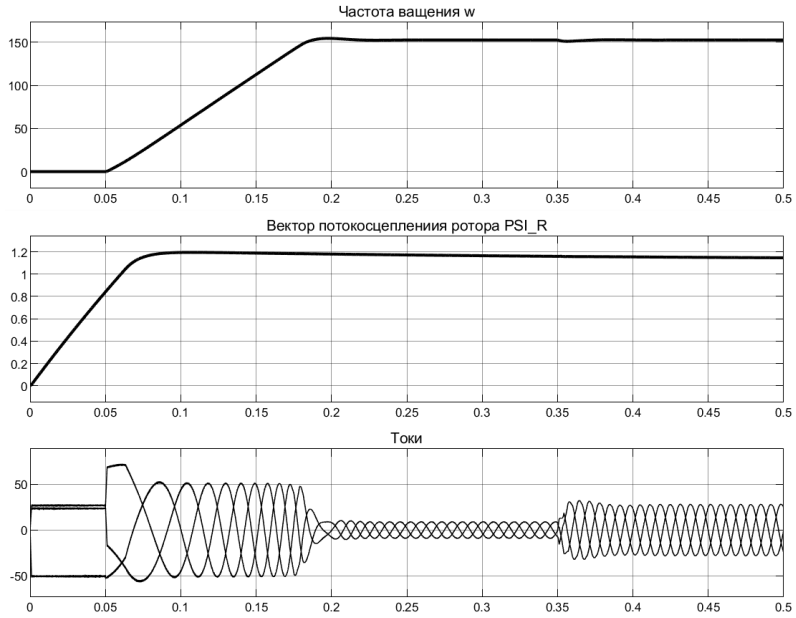


Рис. 6. Результаты моделирования АД с векторной системой управления

4. Выводы

Создана эскизная трехмерная модель намоточного станка. В модели станка реализована возможность регулировки размеров трека на направляющей, также в ней учтена система для витковой изоляции и система роликов. Модель разработана как в разобранном, так и в собранном виде.

Получены модельные результаты работы системы векторного управления процессом намотки треков с разными регуляторами, позволяющие учесть особенности работы механизмов станка с изменяющимся моментом инерции.

Библиографический список:

1. Новиков, Г. В. Частотное управление асинхронными электродвигателями / Г. В. Новиков. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, – 498, [6] с.: ил.

AUTOMATING THE PROCESS OF WINDING COILS OF POWER ELECTRIC MOTORS

Dobrynin Vyacheslav Yurievich, student, e-mail w.v.dobr@gmail.com
Syretsky Gennadiy Aleksandrovich, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail sga-2002@bk.ru
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Karl Marx Ave., 20

Abstract:

The results of the preliminary design of a domestic machine for automating the process of winding coils of power motors as a 3D model of the machine and a vector spindle control system are reflected. The features of the automatic control system for the process of winding coils are identified and studied.

Keywords:

Process automation, machine, spindle, import substitution, 3D model, control system.

УДК 621.396.969.34

КЛАССИФИКАЦИЯ БПЛА МАЛЫХ РАЗМЕРОВ НА ОСНОВЕ МИКРОДОПЛЕРОВСКОГО АНАЛИЗА И СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Белоруцкий Роман Юрьевич, доцент; Житник Сергей Владимирович, магистрант

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-15-46
Белоруцкий Р.Ю., email: belorutsky@mail.ru
Житник С.В., email: serega0207@mail.ru
Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация

Данная работа направлена на исследование и разработку алгоритма для классификации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) малых размеров. Большие БПЛА принципиально не отличаются от пилотируемых самолетов с точки зрения конструкции, тактики применения, а соответственно и способов противостояния им. Обнаружение же и классификация малых БПЛА усложняется в связи с малыми значениями эффективной поверхности рассеяния (ЭПР). В данной работе решается задача классификации БПЛА на основе микро-доплеровского анализа и сверточных нейронных сетей (СНС). Микро-доплеровский анализ позволяет получить микро-доплеровскую сигнатуру, по которой можно различить тот или иной летательный объект. Сверточные нейронные сети являются одним из передовых и эффективных способов прежде всего для классификации. Фактически производилась работа над созданием двух алгоритмов: первый для моделирования отраженного сигнала и получения микро-доплеровских характеристик; второй для обучения СНС и непосредственно классификации. Результаты распознавания при тестовой выборке из 800 изображений составляют 98.12%.

Ключевые слова

Беспилотный летательный аппарат; БПЛА; микро-допплеровские сигнатуры; сверточные нейронные сети; СНС; распознавание; моделирование; обработка сигналов.

Введение

На сегодняшний день можно без сомнения сказать, что тема БПЛА бурно развивается. С каждым годом технологии не стоят на месте, и возможность производить БПЛА все меньших размеров существенно упрощается. Вместе с этим уменьшается и стоимость небольших беспилотников. Такие БПЛА при своих габаритах могут иметь при себе большое количество различных датчиков и, более того, они могут быть оснащены боевым оружием, например, взрывчаткой, что может использоваться в криминальных и военных целях. В то же время из-за своих малых размеров и неметаллической основы фюзеляжа БПЛА имеют малые значения эффективной поверхности рассеяния (ЭПР), что значительно усложняет их обнаружение и классификацию. Основная проблема заключается в том, что их ЭПР соизмерима с ЭПР птиц. В связи с этим появляется задача распознавания малых БПЛА относительно птиц, а также классифицировать БПЛА различных видов [1].

В данной работе будет решаться задача распознавания различных типов малых БПЛА.

Один из способов различия БПЛА – классификация в зависимости от количества винтов: дикоптеры, трикоптеры, квадрокоптеры, октокоптеры и т.д. При облучении таких БПЛА и приеме отраженного от них сигнал, его характеристики будут отличаться в зависимости от количества винтов. В данной работе распознавание БПЛА будет производиться именно по такому признаку.

На первом этапе работы задача сводится к распознаванию объекта с одним и двумя винтами.

Для достижения данной цели работа разделена на следующие подзадачи:

1. Моделирование отраженного сигнала от лопастей БПЛА;
2. Получение микро-доплеровских сигнатур по полученным отсчетам отражённого сигнала;
3. Обработка полученных спектрограмм, как изображений;
4. Синтез сверточной нейронной сети и ее обучение.

Моделирование

Моделирование отраженного сигнала от беспилотника основано на физической модели, которая представляет из себя вращающиеся линейные отражатели (лопасти винта). В случае непрерывного гармонического зондирующего сигнала отраженный от винта сигнал, состоит из гармонических

составляющих от двух периодических во времени последовательностей импульсов от наступающих и отступающих лопастей винта [2]:

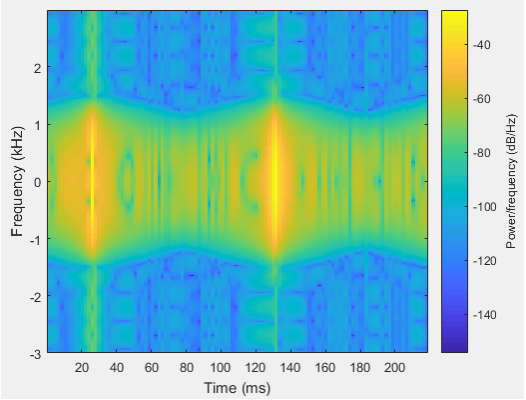
$$u(t) = \sum_{nl=0}^{N-1} U_{л}(t) * sinc\left(m * cos\left(\Omega t + \beta_0 + nl\frac{2\pi}{N}\right)\right) cos\left(\omega_0 t - \frac{4\pi}{\lambda}Д(t) + Z(t) * m\Omega t + \varphi_{nl}\right)$$

где $U_{л}(t)$ – амплитуда сигнала лопасти; R – длина лопасти; λ – длина волны;
$m = \frac{2\pi R}{\lambda}$; N – количество лопастей винта; nl=0,1..N-1 – номер лопасти; β_0 – угол между нулевой лопастью (nl=0) и направлением на РЛС в момент времени t=0; ω_0 – несущая частота зондирующего сигнала; Д(t) – закон изменения дальности до центра вращения; φ_{nl} – начальная фаза отражения от лопасти.

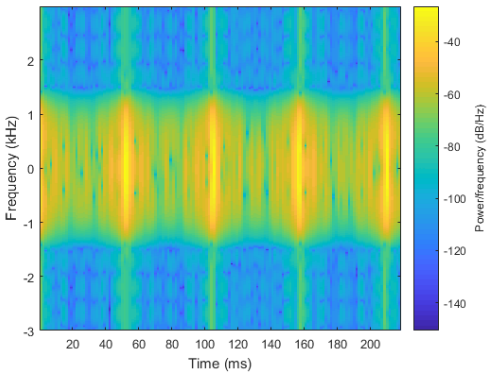
По полученным отсчетам $u(t)$ будет производиться микро-доплеровский анализ.

Микро-доплеровский анализ

Для получения необходимых характеристик, по которым будет производиться классификация, использован микро-доплеровский анализ. Данный анализ применяется для движущихся объектов и объектов с вращающимися элементами. Он позволяет зафиксировать изменение доплеровского спектра во времени – так называемые микро-доплеровские сигнатуры [3]. Для одного и двух винтов можно получить следующие сигнатуры в виде спектрограмм (Рисунок 1).



а) 1 винт



б) 2 винта

Рисунок 1. Спектрограммы отраженного сигнала от 1 и 2 винтов с двумя лопастями

В настоящее время чаще встречаются небольшие БПЛА с двумя лопастями, в частности квадрокоптеры и октокопетры. Это было учтено при моделировании.

Обработка данных

На полученных микро-допплеровских сигнатурах будет обучаться наша сверточная нейронная сеть. Для получения эффективности обучения этой сети (более быстрой тренировки сети, выделения большего количества признаков и т.д.) необходимо обработать тренировочные данные. Мы производим следующие операции:

- Ограничение частотного диапазона;
- Нормировка данных;
- Изменение размера изображния*.

(*Учитывая то, что спектрограммы являются изображениями, мы используем методы обработки изображений)

Синтез сверточной нейроной сети (СНС)

Так как доплеровский спектр, изменяющийся во времени, является изображением, то было принято решение использовать именно сверточную нейронную сеть, так как такая сеть имеет ряд преимуществ по сравнению с другими при работе с изображениями [4-5]:

1) Выделение характерных признаков изображения;
2) Устойчивость к смещению картинки на изображении;
3) Возможность уменьшать размер обрабатываемого изображения в слоях, сохраняя их признаки.

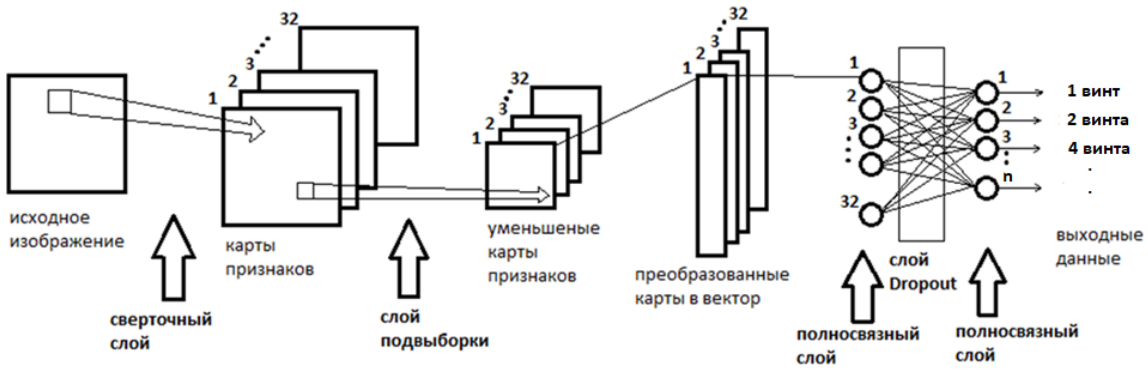


Рисунок 2. Пример структуры сверточной нейронной сети.

Достаточно высокую точность показала структура, включающая 3 сверточных слоя, 3 слоя подвыборки, слой Dropout и два полносвязанных слоя на выходе сети. Часть используемой структуры сети представлена на рисунке 2. Количество карт признаков для сверточных слоев взято 32, 32 и 64 соответственно. Размерность ядра для сверточных слоев: 3x3 и 2x2 для слоев

подвыборки. Первый полносвязный слой имеет 64 нейрона, а второй 2 нейрона, так как распознаем между 1 или 2 винтами. Эпох обучения 20. Количество изображений: тренировочных – 400, проверочных – 800, тестовых – 800.

Результаты и выводы

В итоге было написано три алгоритма для решения задачи определения количества винтов. Первый – алгоритм, сформированный в среде программирования MATLAB, для моделирования отраженного сигнала от лопастей, микро-доплеровского анализа и для обработки полученных спектрограмм. Второй – алгоритм на языке программирования PYTHON для синтеза сверточной нейронной сети и ее обучения. Третий – алгоритм так же на языке PYTHON для непосредственного тестирования нейронной сети.

Время обучения нейронной сети составило около 50 минут на сформированных выборках изображений. С помощью обученной сети производилось распознавание количества винтов (1 или 2) на основании смоделированных микро-доплеровских сигнатур. Точность распознавания при тестовой выборке составила 98,12%.

Исходя из полученных результатов можно сказать, что использование микро-доплеровского анализа и нейронной сети для определения количества винтов, а, следовательно, классификации БПЛА, является одним из лучших вариантов. Так как экспериментальные спектрограммы схожи с теоретическими, можно утверждать, что данная методика классификации будет работать и для сигналов от реальных БПЛА небольших размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. David Tahmoush. Detection of Small UAV Helicopters Using Micro-Doppler: Radar Sensor Technology, proc. of SPIE Vol. 9077, 6 p., 2014.
2. Янковский. Модель отраженного сигнала от вертолета, 4 с.
3. Dave Tahmoush. Review of micro-Doppler signatures: US Army Research Laboratory, Adelphi, US - IET Radar, Sonar & Navigations Vol. 9, pp. 1140-1146, 2015.
4. Котомин А.В. Распознавание речевых команд с использованием сверточных нейронных сетей: Переславль-Зеленский, 12 с., 2012.
5. Fruancois Chollet, Deep Learning with Python: Shelter Island, 2018.

CLASSIFICATION OF SMALL UAV BASED ON MICRO-DOPPLER ANALYSIS AND CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Belorutsky Roman, Ph. D, associate professor, email belorutsky@mail.ru

Zhitnik Sergey, master student, email: serega0207@mail.ru

Department of Radio receivers and radio transmitters, Novosibirsk State Technology University, 20, Karl Marks av., Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

This research is devoted to the classification of small UAVs based on micro-doppler analysis and convolutional neural network (CNN). Small UAVs have small Radar Cross Section (RCS), which complicates the detection of reflected signal. RCS is an important characteristic in radiolocation and detection. As smaller RCS, as the more difficult to detect object. For comparison, a fighter aircraft has RCS of 3-10 squared meters and a bird has RCS 0.002 – 0.02 squared meters. Small UAVs have RCS comparable with RCS of a bird. Moreover, small UAVs can have quite a large number of different sensors and military weapons and even explosives. Therefore, the importance of this task is obvious.

This research is divided to the four stages:

- Modeling of reflected signal of the UAVs
- Micro-Doppler analysis. Obtaining spectrograms (STFT) of the reflected modeled signal.
- Processing of characteristics (images) for highlighting all necessary features.
- Choosing and designing CNN structure. Training this CNN on samples of processed images (100-1000).

Keywords

Unmanned aerial vehicle; drone; Micro-Doppler signatures; convolutional neural networks; CNN; modeling; signal processing; recognition.

УДК 621.396.969

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ RFID ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Захарчук Андрей Игоревич, магистрант;

научный руководитель: Степанов Максим Андреевич, канд. техн. наук

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)346-15-46

Захарчук Андрей Игоревич, e-mail PrKam.first@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: ***Захарчук Андрей Игоревич,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т Карла Маркса, 20, тел. (383)346-15-46

Аннотация: В данной статье рассмотрена возможность определения местоположения объектов внутри помещений при помощи технологии RFID (**R**adio **F**requency **ID**entification, радиочастотная идентификация) так же приведены некоторые экспериментальные данные.

Ключевые слова: RFID, определение местоположения, EPC Gen2.

1. Введение. Определение местоположения объектов достаточно важная задача для многих отраслей, от производства (сборочные линии) до продажи (склады, торговые залы). Так же можно определять место положение людей и животных, что тоже крайне полезно.

На открытой местности — это можно осуществлять при помощи технологии GPS. Но если вам нужно добиться точности лучше 50 см, или определить местоположение объекта в здании или в другом закрытом пространстве (тоннеле, шахте) — GPS вам не подойдёт.

Цель данного исследования понять пригодна ли технология RFID для позиционирования объектов в помещениях. Данная технология быстро развивается и в течение последних лет сильно удешевилась. Её уже начали применять для позиционирования объектов, но речь идёт только о нахождении объектов с точностью до комнаты в помещении.

2. Результаты. Использование стандартных методов радиолокации для определения местоположения крайне затруднительно в связи с малым радиусом работы системы - расстояние до объекта определить крайне сложно. Поэтому идея состояла в том, чтоб использовать мобильную платформу, на которой

будет размещены антенны. На платформе может быть размещена одна вращающиеся направленная антенна, либо несколько не подвижных направленных антенн основные лепестки диаграммы, которых направлены в разные стороны. Так зная положение платформы и ориентированность антенн, можно будет проводить вектора, которые будут брать начало у антенны и проходить через местоположение искомой цели (метки). Если возможно будет провести хотя бы 2 таких вектора, местоположение цели можно будет установить. На Рис.1 приведена поясняющая схема Жёлтым обозначено первое и второе положение платформы, синим метка (цель).

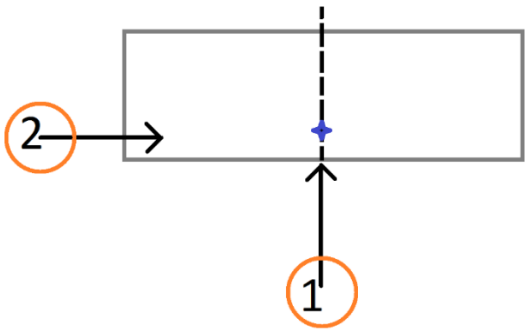


Рис.1. Поясняющая схема

За онову был взят считыватель компании impinj. В labview была написана программа для считывания данных, так как идующее с считывателем ПО не подходило для наших нужд, программа считывает номер EPS (номер метки), RSSI (силу принятого сигнала) и фазу сигнала пришедшего от метки и сохраняет эти данные в виде бинарного файла. На matlab была написана программа которая упорядывачивает данные со считывателя извликая данные из бинарного файла, сотавляет таблицы значений и спосотовляет EPS меток с их RSSI и фазой сигнала. Таким образом мы можем получить для каждой метки RSSI и фазу принятого сигнала.

3. Экспериментальные данные. Был проведён эксперимент, в котором патч-антенну с шириной диаграммы направленности в 60 градусов, перемещали вдоль прямой линии длинной 2 метра с шагом в 10 сантиметров так как показано на рисунке 2. Траектория движения антенны обозначена синим, метки обозначены красным, серый прямоугольник - антенна.

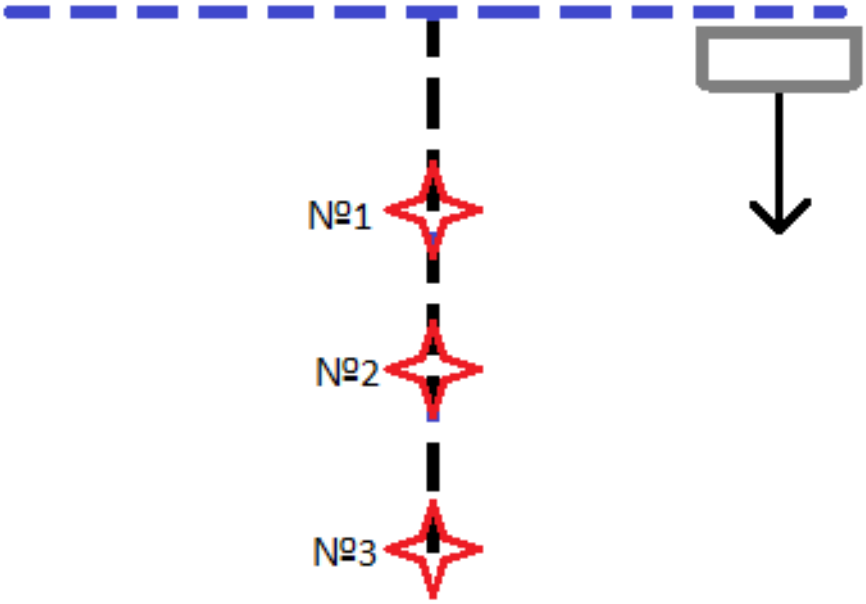


Рис.2.Схема эксперимента.

Далее идут графики снятых данных для метки номер 2.

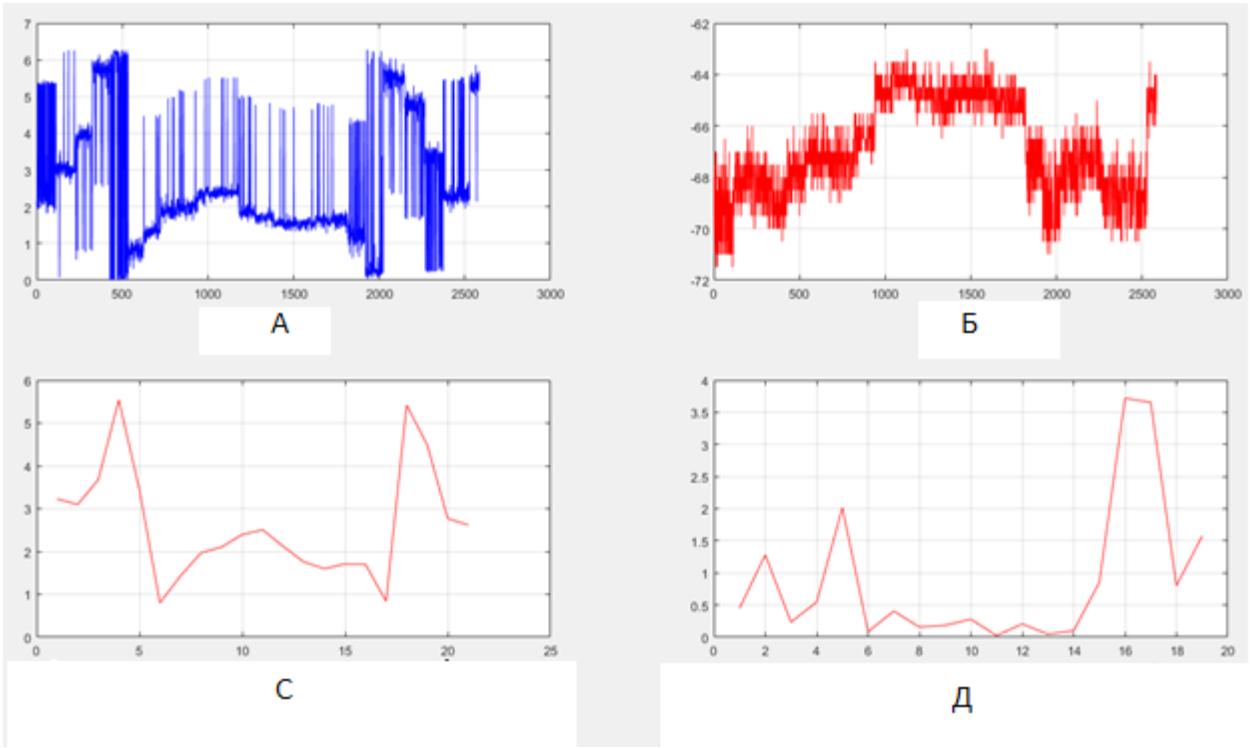


Рис.2. А – Фаза сигнала, Б – сила отражённого сигнала, С – аппроксимированная фаза сигнала, Д – скорость изменения фазы.

Сигналы для метки номер 1 выглядит похожим образом, сигналы для метки номер 3 изобилуют шумами и выделить оттуда полезную составляющую сложно.

4. Выводы. Из графиков видно, что определить момент, когда антенна направлена на объект достаточно просто; собственно, это момент, когда RSSI (сила сигнала) максимальна, и фаза начинает плавно спадать. В этот момент нужно определить с какой антенны пришёл сигнал и построить вектор от этой антенны для обнаружения местоположения метки.

Следующим этапом работы будет разработка алгоритма и программы для определения координаты метки с использованием координаты платформы. Для этого предварительно нужно модифицировать программу для считывания данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Francesco Martinelli A Robot Localization System Combining RSSI and Phase Shift in UHF-RFID Signals 2015
2. Haishu Ma, Yi Wang, Kesheng Wang, and Zongzheng Ma The Optimization for Hyperbolic Positioning of UHF Passive RFID Tags 2017.
3. Junyi Zhou Jing Shi RFID localization algorithms and applications—a review 2009

USING RFID TECHNOLOGY TO DETERMINE THE LOCATION OF OBJECTS

Zakharchuk Andrei Igorevich, master student

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue, phone[1] (383)346-15-46

Zakharchuk Andrei Igorevich, e-mail PrKam.first@yandex.ru

Research adviser: Ph.D. (Engineering) M.A. Stepanov

The address for correspondence: ***Zakharchuk Andrei Igorevich,*** Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue, phone (383) 346-15-46

Abstract. Annotation. This article discusses the possibility of determining the location of objects inside the premises using RFID (**R**adio **F**requency **ID**entification*)* technology. Some experimental data are also given.

Keywords: RFID, positioning, EPC Gen2.

УДК 621.372.852.3

МОЩНЫЙ СВЧ АТТЕНЮАТОР ДЛЯ DVB-T2 ПЕРЕДАТЧИКОВ

Митьков Александр Сергеевич, аспирант

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8(383)346-08-34

Митьков А.С., email am@alfa-instr.ru

Адрес для корреспонденции: ***Митьков Александр Сергеевич,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20 тел. (913)950-06-02

Аннотация: В работе описан широкополосный СВЧ аттенюатор на уровень входной мощности 2000 Вт, выполненный на основе планарных пленочных резисторов, расположенных на диэлектрической подложке из окиси бериллия. Аттенюатор предназначен для использования в качестве измерительного оборудования при контроле параметров выходного сигнала радиопередатчиков цифрового телевещания DVD-T2.

Ключевые слова: аттенюатор, мощность, согласование, пленочные резисторы, частотные характеристики.

1. Введение. В данной работе представлена конструкция широкополосного СВЧ аттенюатора на рассеиваемую мощность до 2000 Вт в полосе частот 0 - 900 МГц. Аттенюатор предназначен для использования в качестве измерительного оборудования или эквивалента антенны для радиопередающих устройств различного назначения, в том числе систем цифрового телевещания DVB-T2. Аттенюаторы данного класса необходимы для измерения параметров выходного сигнала мощных передатчиков. Вносимое затухание аттенюатора для указанного выше диапазона входных мощностей варьируется в пределах от 10 дБ до 40 дБ. Общий вид аттенюатора показан на рис. 1.

Рис. 1. Аттенюатор на уровень входной мощности 2000 Вт

2. Принцип работы и конструкция. Описываемый аттенюатор реализован на основе микрополосковой технологии с использованием планарных пленочных резисторов, нанесенных на диэлектрическую подложку из окиси бериллия с габаритными размерами 20х20х4 мм^3. Аттенюатор выполнен в виде многоэлементной структуры с продольно и поперечно включенными планарными пленочными резисторами, что обеспечивает получение номинального сопротивления 50 Ом по входу и выходу [1-3]. При этом конкретные номинальные значения пленочных резисторов рассчитаны так, что на каждом из них рассеивается одинаковая СВЧ мощность, порядка 200 Вт. В этом режиме за счет высокой теплопроводности диэлектрической подложки из окиси бериллия температура резистивной пленки не превышает допустимой величины 110-115^0 градусов. Все пленочные резисторы расположены на медном основании, к которому прикреплен пластинчатый радиатор. Конструкция аттенюатора разработана с учетом использования принудительного воздушного охлаждения. Аттенюатор имеет следующие технические характеристики:

1. Входное сопротивление, Ом – 50
2. Выходное сопротивление, Ом – 50
3. Непрерывная рассеиваемая мощность, Вт – 2000
4. Количество выходов, шт. – 2
5. Вносимое затухание, дБ - 1 выход(26±0,5) 2 выход (46±3)
6. Габаритные размеры, мм – 440х265х365
7. Масса, кг – 1,5

По своим характеристикам данный аттенюатор превосходит зарубежные аналоги, выполненные по устаревшей и дорогостоящей коаксиальной технологии, например, производимой фирмой Bird Technologies.

3. Результаты экспериментального исследования. На рис. 2 приведена экспериментальная частотная зависимость входного коэффициента стоячей волны по напряжению (КстU), полученная с помощью измерителя параметров цепей Р2М-04 (произведен ООО Микран).

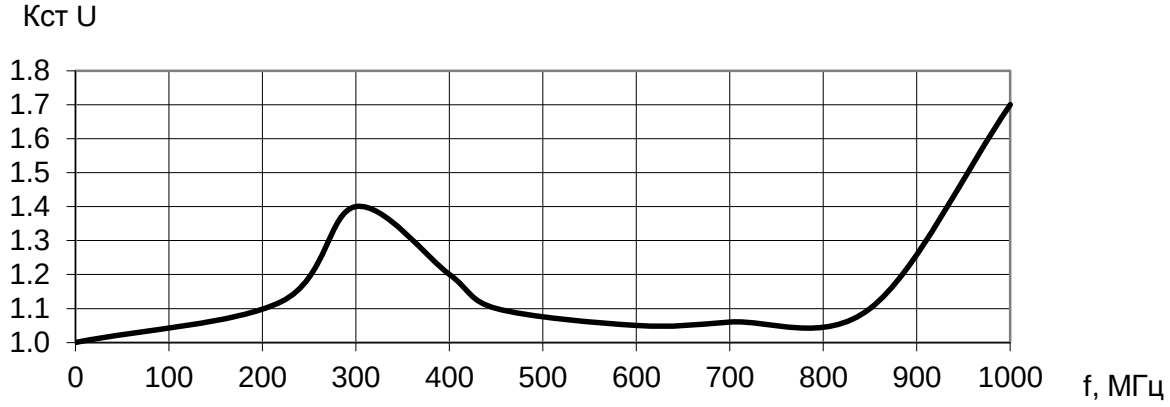


Рис. 2. Частотная зависимость КстU по входу

Для обеспечения режима согласования по входу и выходу и равномерной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в аттенюаторе для каждого пленочного резистора используются чебышевские согласующие цепи в виде фильтра нижних частот, реализованного в сосредоточенном элементном базисе. Это позволило практически полностью компенсировать влияние паразитных емкостей пленочных резисторов в диапазоне частот 0 – 900 МГц. На рис. 3 приведена экспериментально снятая АЧХ аттенюатора на уровень входной мощности 2000 Вт.

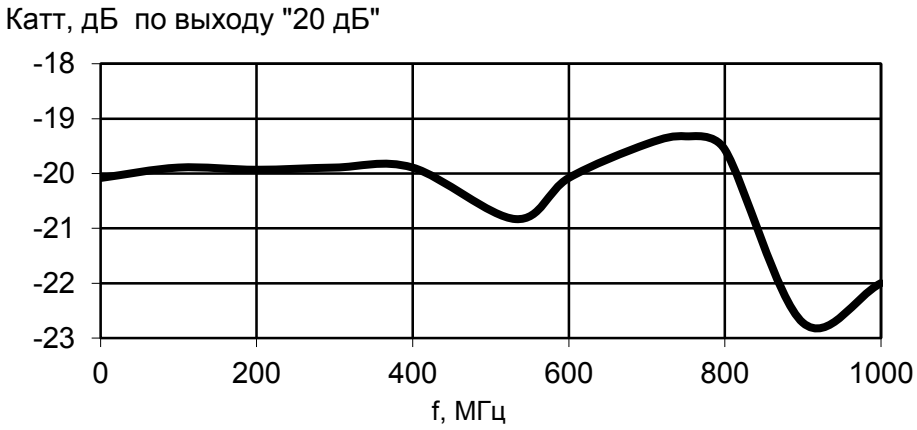


Рис. 3. АЧХ аттенюатора на уровень мощности 2000 Вт

4. Вывод. В данной работе представлена конструкция и приведены параметры широкополосного СВЧ аттенюатора высокого уровня мощности, выполненного на основе перспективной элементной базы и микрополосковой технологии. За счет широкой полосы рабочих частот аттенюатор является универсальным прибором и применим для всех современных передатчиков радиотехнических систем и телекоммуникаций.

Работа выполнена по Госзаданию в рамках проекта «Разработка теоретических основ построения измерительного оборудования для телекоммуникационных систем, содержащего мощные СВЧ аттенюаторы, полосовые фильтры с заданными частотами режекции и микрополосковые печатные антенны». Шифр: 8.6847.2017/БЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Meng Meng; Hunter, Ian C., "The design of parallel connected filter networks with non-uniform Q resonators," *Microwave Symposium Digest (MTT), 2012 IEEE MTT-S International* , vol., no., pp.1,3, 17-22 June 2012.
2. Oldoni, Matteo; Macchiarella, G.; Gentili, G.G.; Ernst, C., "A New Approach to the Synthesis of Microwave Lossy Filters," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol.58, no.5, pp.1222,1229, May 2010.
3. Разинкин В.П. Широкополосные управляемые СВЧ устройства высокого уровня мощности: монография /В.П. Разинкин, В.А. Хрусталев, С.Ю. Матвеев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – 316 с. (серия «Монография НГТУ»).

HIGH-POWER MICROWAVE ATTENUATOR FOR DVB-T2 TRANSMITTERS

Mitkov A.S., graduate Student
Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia.

Mitkov A.S. email alexey.stolyarenko@alfa-instr.ru

Abstract.

The paper describes a broadband microwave attenuator at the input power level of 2000 W, made on the basis of planar film resistors located on a dielectric substrate of beryllium oxide. Attenuator is designed for use as a measuring equipment for monitoring the parameters the output signal of radio transmitters of digital television DVB-T2.

Keywords: attenuator, power, matching, film resistors, frequency response.

УДК 004.4

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Науршин Сергей Евгеньевич, студент, Никулин Андрей Викторович, к.т.н.,

Новосибирский государственный технический университет, 630073,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
manfroms@gmail.com

Аннотация. В статье описывается процесс создания виртуального лабораторного стенда, а также ожидаемые результаты. Описывается стек технологий, используемых при написании программного кода: язык программирования C, RAW-сокеты, графический фреймворк QT, система автоматизации сборки cmake и система контроля версий git. Также рассматриваются функциональность и сферы применения конечного продукта. Отдельно обсуждаются особенности, которые необходимо учитывать при создании визуальной составляющей программы, с которой будет непосредственно взаимодействовать пользователь. Данный виртуальный лабораторный стенд будет использоваться для наглядной демонстрации специфических возможностей сетевых анализаторов и иных программ, работающих с проходящим сетевым трафиком.

Ключевые слова. RAW-сокеты, графический фреймворк QT.

1. Введение. Как показывает практика, эффективность подготовки будущих специалистов во многом зависит от качества образования, которое включает в себя: лекционные занятия, демонстрационные эксперименты и лабораторные практикумы с применением мультимедийных средств обучения. Достичь высокого качества образования невозможно без использования учебной техники и стендового оборудования. Не последнюю роль в этом процессе играет использование качественного лабораторного оборудования. Данный вид обучающих материалов предназначен для демонстрации и разъяснения принципов взаимодействия составных частей единого целого.

Многие университеты, в частности и НГТУ, разрабатывают собственные программные продукты для использования их в качестве лабораторных стендов. Применение подобных виртуальных лабораторий доказало свою эффективность и необходимость в дальнейшем масштабировании. В связи с этим было принято решение о создании виртуального лабораторного стенда для

изучения особенностей формирования и анализа трафика компьютерных сетей, поскольку данная тема ещё не освещалась в стенах ВУЗа в полной мере.

В разрабатываемый стенд планировалось включить элементы формирования, отправки, трассировки, приёма и обработки информационных пакетов. Так же немалую часть времени выполнения лабораторных работ хотелось уделить изучению стандартизированных протоколов.

Таким образом возникла необходимость объединить в нашем приложении функциональность от нескольких категорий программ, работающих с трафиком:

- сетевые анализаторы (снифферы),
- инструменты для создания пакетов,
- сетевые утилиты, обрабатывающие информационные данные.

Таким образом, мы получим универсальное комплексное решение, на основе которого могут быть построены лабораторные работы различного уровня сложности.

2. Теория. Приложение написано на языке программирования C, как и большинство утилит, работающих с сетевыми технологиями. Это обеспечит надёжность, быстроту выполнения, полный контроль над ресурсами, а также широкие возможности для масштабирования.

В процессе разработки были использованы RAW-сокеты – это программный интерфейс, разновидность сокетов Беркли, позволяющий собирать TCP/IP-пакеты, контролируя каждый бит заголовка и отправляя в сеть нестандартные пакеты, а также «прослушивать» канал связи на предмет появления в них пакетов заданного типа.[1]

Графическая реализована с применением Qt – кроссплатформенного фреймворка для разработки программного обеспечения.

Также для ускорения процесса компиляции тестовых вариантов программы применяются технологии автоматической сборки проекта с использованием cmake и система контроля версий git.

Для тестирования на операционных системах Linux используется Docker — программное обеспечение для автоматизации развёртывания и управления приложениями в средах с поддержкой контейнеризации.

Программный код написан в соответствие с моделью сетевого взаимодействия клиент-сервер. Клиентское приложение может создавать пакет по заданным параметрам и передавать его по сети. В свою очередь, серверное приложение может принимать, обрабатывать и анализировать трафик с заданными параметрами, а также отправлять в сеть ответы для приложений-клиентов. Данная модель является относительной, то есть если рассматривать

ситуацию, в которой компьютер №1 по локальной сети отправляет пакет компьютеру №2, то компьютер 1 будет клиентом, а компьютер 2 - сервером, и наоборот, если рассматривать приём этого же пакета со стороны компьютера №2.

Подобный подход очень популярен среди программ, каким-либо взаимодействующих с другими программами.

Одной из основных задач в реализации данного проекта стала разработка UI (пользовательского интерфейса) приложения. Приведём определения понятия пользовательского интерфейса. Интерфейс — общая граница между двумя функциональными объектами, требования к которой определяются стандартом; совокупность средств, методов и правил взаимодействия (управления, контроля и т. д.) между элементами системы.

Таким образом, необходимо создать удобную и функциональную совокупность элементов управления системами внутри программного продукта таким образом, чтобы её использование не вызывало дискомфорта при использовании.

3. Результаты и обсуждение. Принимая во внимание тот факт, что студенты технических специальностей в большинстве своём привыкли к использованию измерительного оборудования (осциллографов, анализаторов спектра и пр.) было принято решение строить UI схожим с интерфейсами этих устройств в их аппаратном исполнении.

Перечислим особенности, которые необходимо учесть в реализации:

1. Цвета. Поскольку пользователь во время работы с одной рабочей областью стремится игнорировать элементы другой области, их следует разделить по цветовому оформлению. Так же нужно использовать оттенки, которые располагают к продолжительной работе и не способствуют повышенному уровню напряжения в органах зрения. В литературе по данной теме авторы не рекомендуют использовать яркие цвета и пёстрые сочетания оттенков.[2]
2. Ясность. Чтобы интерфейс эффективно помогал людям добиваться своих целей, он должен обладать следующими характеристиками. Во-первых, он должен быть узнаваемым, а его назначение—очевидным для пользователя. Во-вторых, люди должны понимать, с чем они взаимодействуют через интерфейс. Наконец, процесс взаимодействия с интерфейсом должен быть предсказуемым.[3]
3. Простота. В основе каждого экрана интерфейса должно лежать одно значимое для пользователя действие. Такой интерфейс проще изучать и использовать, а также его проще дополнить и расширить (при необходимости).

4. Визуальная иерархия. Визуальная иерархия задает последовательность и плавно направляет взгляд пользователя с одного элемента интерфейса на другой. При слабой визуальной иерархии интерфейс выглядит перегруженным и непонятным—взгляд прыгает по экрану и всегда находится в напряжении.

4. Выводы. На данный момент проходит стадия активной разработки, и предполагается, что программа будет способна:

- Формировать сетевые пакеты, как в соответствие со стандартизированными сетевыми протоколами, так и в «свободном» формате,
- Генерировать трафик с заданными параметрами и необходимым объёмом,
- Анализировать стороннюю сетевую активность и вычленять из потока заданные типы пакетов,
- Подменять транзитные информационные сообщения,
- Синхронно работать на разных хостах,
- Журналировать и логгировать свою работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олифер В., Олифер Н., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 3-е издание – изд. Питер, 2007. – 960с.

2. Джеф Раскин, Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем – Символ-Плюс, 2005. – 272с.

3. The Essential Guide to User Interface Design: An Introduction to GUI Design Principles and Techniques. 3rd Edition – Wiley, 2013. – 891с.

FEATURES OF THE SYNTHESIS OF A VIRTULE LABORATORY STAND FOR STUDENTS OF TECHNICAL SPECIALTIES

Naurshin Sergey Evgenievich, student, Andrey Nikulin, Ph.D.,
Novosibirsk State Technical University, 630073, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20
manfroms@gmail.com

The article describes the process of creating a virtual laboratory bench, as well as the expected results. It describes the technology stack used when writing software code: C programming language, RAW sockets, graphical QT framework, cmake build automation system and git version control system. Also discusses the functionality and scope of the final product. Separately discussed are the features that must be considered when creating the visual component of the program with which the user will directly interact. This virtual laboratory bench will be used to demonstrate the specific capabilities of network analyzers and other programs working with passing network traffic.

УДК 621.396.677.75

НЕРАВЕНСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БИФОКАЛЬНОЙ ЛИНЗОВОЙ АНТЕННЫ

Никулина Юлия Сергеевна, аспирант

Научно-исследовательский институт измерительных приборов-завод имени Коминтерна,

630015, г. Новосибирск, ул. Планетная 32

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

email nikulina-us@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: ***Никулина Юлия Сергеевна,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (923)174-15-05

Аннотация:

В статье рассматривается вопрос об отсутствии в существующих методах построения поверхностей бифокальных линзовых антенн рекомендаций по заданию начальных параметров, таких как фокусное расстояние, расстояние от облучателя до главной оптической оси, угол наклона фазового фронта. Известные методы синтеза поверхности бифокальных линзовых антенн являются графическими или графо-аналитическими, для них не существует рекомендаций по выбору исходных параметров для расчета линзовых коллиматоров, вследствие чего проектировщикам приходится затрачивать дополнительное время на подбор этих параметров. Так как не каждый набор начальных параметров позволяет получить набор точек, аппроксимирующих поверхности бифокальной линзовой антенны. Поэтому, зачастую, успех проектирования зависит от опыта проектировщика. В статье определяется ряд ограничений на начальные параметры бифокальной линзовой антенны, которые задаются в виде неравенств. Использование данных неравенств позволяет упростить расчет поверхности бифокальных линзовых коллиматоров.

Ключевые слова:

Бифокальная линзовая антенна, линзовая антенна, линзовый коллиматор, двухфокусный коллиматор

1. Введение

Существующие методы построения поверхностей бифокальных линзовых антенн [1-4] обладают целым рядом недостатков. Одним из таких недостатков

является отсутствие рекомендаций по заданию начальных параметров (фокусное расстояние, расстояние от облучателя до главной оптической оси, угол наклона фазового фронта). Не каждый набор начальных параметров позволяет получить набор точек, аппроксимирующих поверхности линзового коллиматора. Поэтому, зачастую, успех проектирования зависит от опыта проектировщика. На решение этой проблемы направлена данная работа.

2. Геометрия линзы

Бифокальная линзовая антенна является симметричной относительно главной оптической оси **x** (рис.1) и имеет две точки идеальной фокусировки O_1 и O_2 с координатами (0;a) и (0;-a), соответственно. При размещении в этих точках облучателя, в раскрыве линзовой антенны получается плоский фазовый фронт, соответствующий прямой *P*.

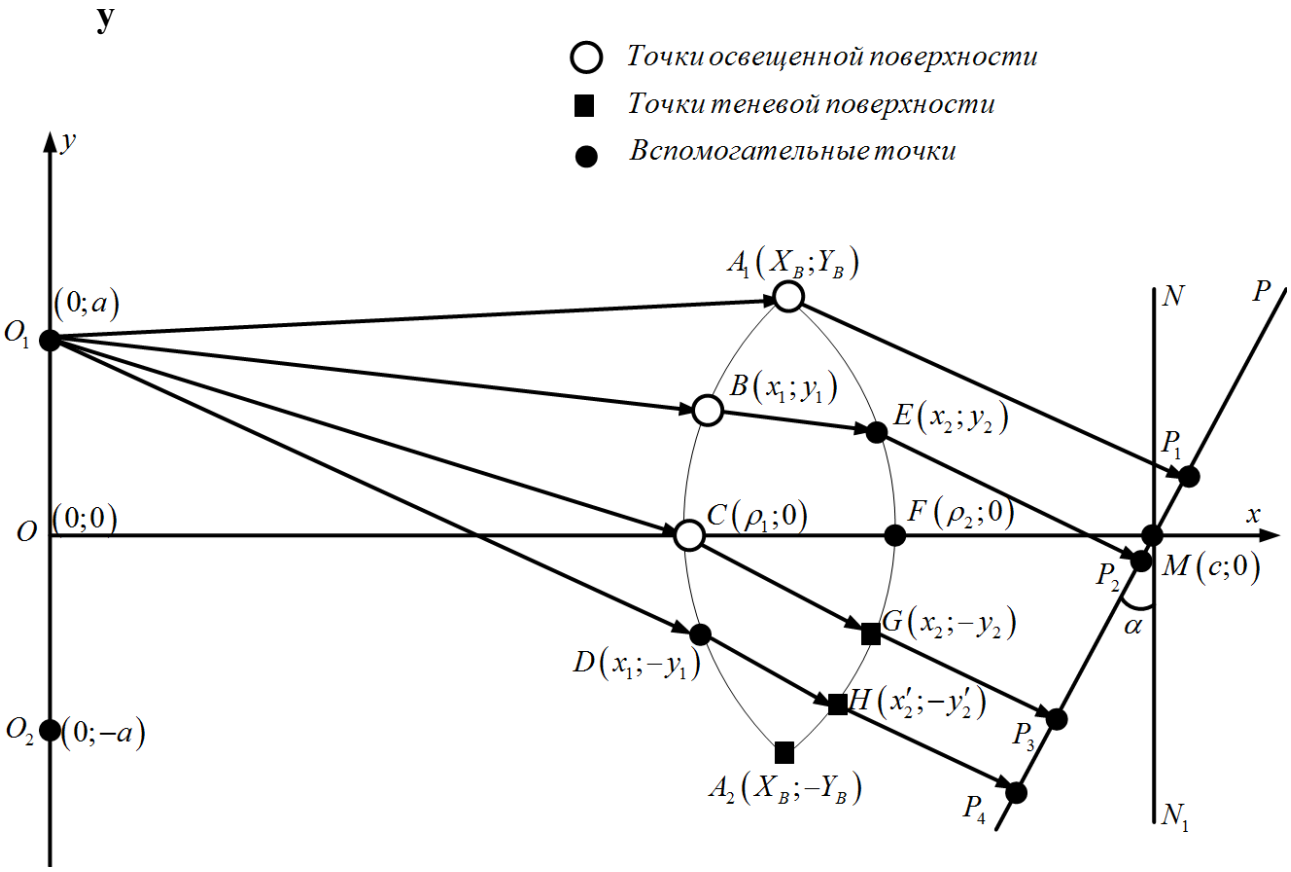


Рис.1 Геометрия бифокальной линзовой антенны

Две вершины линзы A_1 и A_2 с координатами (X_B;Y_B) и (X_B;-Y_B), соответственно, (рис. 1) принадлежат одновременно освещенной и теневой поверхностям и называются краями линзы. Их определяют из уравнения эллипса равных краев [2]

$$Y_B{}^2 \cos(\alpha)^2 = a^2 / \mathrm{tg}(\alpha)^2 - X_B \,, \qquad (1)$$

где a – расстояние от главной оптической оси *Ox* до точек фокуса O_1 и O_2; α – угол наклона фазового фронта (прямая P) в раскрыве линзы относительно

апертуры исследуемой антенны, которая располагается в точке с координатой M (c;0). Эти две величины задаются в начале вычислений и определяются размерами линзы и требуемым диапазоном сканирования облучателя. В силу симметрии линзы относительно главной оптической оси две ее вершины и два положения точек идеальной фокусировки полностью эквивалентны. Для определенности, в дальнейшем используем вершину с координатами (X_B;Y_B) и считаем, что облучатель расположен в точке (0;a).

O_1A_1, O_1B, O_1C, O_1D … O_1A_2 – лучи, падающие на освещенную поверхность линзы и претерпевающие преломление на границе раздела сред. (x_1, y_1), (ρ_1, 0), (x_1, y_1),… – точки освещенной поверхности, которые в общем случае обозначим (x_{1N}, y_{1N}). A_1P_1, EP_2, GP_3, HP_4 … – лучи, претерпевающие преломление на границе раздела сред в точках теневой поверхности линзы. (x_2, y_2), (ρ_2, 0), (x_2, -y_2),… – точки теневой поверхности, которые в общем случае обозначим (x_{2N}, y_{2N}).

3. Неравенства, задающие начальные параметры для бифокальных линзовых антенн

Из геометрии линзы следует ряд условий, определяющих физическую реализуемость линзы:

$$\begin{cases} 0 < X_B < c \\ 0 < \rho_1 < a\ \mathrm{ctg}\alpha \\ 0 < x_{1N} < a\ \mathrm{ctg}\alpha \\ a\ \mathrm{ctg}\alpha < x_{2N} < c \\ a\ \mathrm{ctg}\alpha < \rho_2 < c \\ -Y_B < y_{1N} < Y_B \\ -Y_B < y_{2N} < Y_B. \end{cases} \quad (2)$$

Из уравнения для эллипса равных краев следует, что должно выполняться неравенство

$$\frac{a^2 \cdot \mathrm{c}tg^2(\alpha) - {X_B}^2}{\cos^2(\alpha)} \geq 0.$$

Это неравенство выполняется в случае, если:

$$a^2 \cdot \mathrm{c}tg^2(\alpha) - {X_B}^2 \geq 0.$$

Отсюда

$$-a \cdot \mathrm{c}tg(\alpha) \leq X_B \leq a \cdot \mathrm{c}tg(\alpha). \quad (3)$$

Длины лучей физически реализуемой линзы не могут быть отрицательными. Отсюда следует ряд условий, определяющих начальные параметры бифокальной линзовой антенны.

Длину луча O_1A_1, проходящего через край линзы с координатами (X_B;Y_B), можно найти через формулу, определяющую расстояния между двумя точками:

$$O_1A_1 = \sqrt{X_B^2 + (Y_B - a)^2} > 0.$$

Длина этого луча всегда будет положительна.

Длину другого луча A_1P_1, проходящего через край линзы с координатами (X_B;Y_B), можно найти через формулу, определяющую расстояния между двумя точками

$$A_1P_1 = (c - X_B + Y_B \operatorname{tg}(\alpha))\cos(\alpha) > 0.$$

Отсюда:

$$X_B < c + Y_B \cos(\alpha), \quad \cos\alpha > 0 \left(\alpha \in \left(-\frac{\pi n}{2}; \frac{\pi n}{2} \right), n \in Z \right)$$

$$X_B > c + Y_B \cos(\alpha), \quad \cos\alpha < 0 \left(\alpha \in \left(\frac{\pi n}{2}; \frac{3\pi n}{2} \right), n \in Z \right).$$

Длина луча CG определяется из геометрии линзы:

$$CG(\rho_1, x_2) = \frac{x_2 - \rho_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{a}{\rho_1 \cdot n} \right)^2}} > 0$$

Отсюда следует, что

$$-\rho_1 \cdot n < a < \rho_1 \cdot n.$$

Выражения, описывающие лучи GP_3, EP_2 и HP_4, записывают исходя из того, что фазовый фронт должен быть перпендикулярен лучам:

$$GP_3(x_2, y_2) = \cos(\alpha)(c - x_2) + \sin(\alpha) y_2 > 0$$

$$EP_2 = \left| \cos(\alpha)(c - x_2) - \sin(\alpha) y_2 \right|$$

$$HP_4(x_2', y_2') = \left| \cos(\alpha)(c - x_2') - \sin(\alpha) y_2' \right|.$$

Отсюда следующее ограничение:

$$c > x_2 + tg(\alpha) y_{2N}.$$

Так как $y_{2\,N}$ лежит в пределах от –Yв до Yв, следовательно:

$$c > x_2 + tg(\alpha)Y_B, \quad tg(\alpha) > 0 \left(\alpha \in \left(\pi n; \frac{\pi}{2} + \pi n \right), n \in Z \right)$$

$$c > x_2 - tg(\alpha)Y_B, \quad tg(\alpha) < 0 \left(\alpha \in \left(\frac{\pi}{2} + \pi n; \pi + \pi n \right), n \in Z \right).$$

Таким образом, определены неравенства, устанавливающие ряд ограничений на начальные параметры бифокальной линзовой антенны.

4. Выводы

В статье определен ряд ограничений на начальные параметры бифокальной линзовой антенны (фокусное расстояние, расстояние от облучателя до главной оптической оси, угол наклона фазового фронта):

$$\begin{cases} 0 < X_B < c \\ 0 < \rho_1 < a \operatorname{ctg}\alpha \\ 0 < x_{1N} < a \operatorname{ctg}\alpha \\ a \operatorname{ctg}\alpha < x_{2N} < c \\ a \operatorname{ctg}\alpha < \rho_2 < c \\ -Y_B < y_{1N} < Y_B \\ -Y_B < y_{2N} < Y_B \\ -a \cdot \operatorname{ctg}(\alpha) \le X_B \le a \cdot \operatorname{ctg}(\alpha) \\ -\rho_1 \cdot n < a < \rho_1 \cdot n \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_B < c + Y_B \cos(\alpha), \quad \cos\alpha > 0 \left(\alpha \in \left(-\frac{\pi n}{2}; \frac{\pi n}{2} \right), n \in Z \right) \\ X_B > c + Y_B \cos(\alpha), \quad \cos\alpha < 0 \left(\alpha \in \left(\frac{\pi n}{2}; \frac{3\pi n}{2} \right), n \in Z \right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} c > x_2 + tg(\alpha)Y_B, \quad tg(\alpha) > 0 \left(\alpha \in \left(\pi n; \frac{\pi}{2} + \pi n \right), n \in Z \right) \\ c > x_2 - tg(\alpha)Y_B, \quad tg(\alpha) < 0 \left(\alpha \in \left(\frac{\pi}{2} + \pi n; \pi + \pi n \right), n \in Z \right) \end{cases}.$$

Таким образом, использование данных неравенств позволяет упростить расчет поверхности бифокальных линзовых коллиматоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dielectric bifocal lenses / Brown R. M. // IRE Cov. Rec. – 1956. – V.4 - №1.

2. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапозонных антенн и фидерных устройств. М.: Энергия, 1973. 440 с.

3. H. Gulan, S. Marahrens, C. Rusch, B. Goettel, T. Zwick, "Bifocal wide angle lens with optimized construction algorithm for 60 GHz", Antenna Technology: Small Antennas Novel EM Structures and Materials and Applications (iWAT) 2014 International Workshop on, pp. 43-46, 2014.

4. Iran Vu La; Ngoc Tinh Nguyen; Casaletti, M.; Sauleau, R., "Design of medium-size dielectric bifocal lenses for wide-angle beam scanning antennas," Antennas and Propagation (EUCAP), 2012 6th European Conference on, vol., no., pp. 3287,3291, 26-30 March 2012

OBJECTIVE FUNCTION FOR DETERMINING BIFOCAL LENS THICKNESS

Nikulina Iuliia Sergeevna*, *Ph.D. student;

Stock company «Scientific Research Institute of measuring instruments-Novosibirsky plant named after Komintern»,

630015, Novosibirsk, Planetnaya str., 32

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Prospekt K. Marksa, 20.

Abstract:

The article deals with the issue of the lack of recommendations in the existing methods for constructing surfaces of bifocal lens antennas for setting initial parameters (focal length, distance from the irradiator to the main optical axis, angle of inclination of the phase front). A number of restrictions on the initial parameters of the bifocal lens antenna, which are specified as inequalities, are determined. The use of these inequalities allows us to simplify the calculation of the surface of bifocal lens collimators.

Keywords:

Bifocal lens antenna, lens antenna, lens collimator, dual focus collimator.

УДК 621.37

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДРОБНОСТИ ЗАДАНИЯ ОТРАЖЕНИЙ ОТ ЗЕМЛИ С УЧЕТОМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ РЛС

Орешкина Маргарита Валерьевна, аспирант

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 364-15-46

email oreskina.m@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: ***Орешкина Маргарита Валерьевна,***
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 364-15-46

Аннотация:

На основании известных математических моделей отражений от земной поверхности произведен анализ необходимости моделирования неоднородности поверхности в пределах одного покрова [1-5]. Неоднородность земной поверхности приводит к тому, что удельную эффективную поверхность рассеяния моделируют, как случайный процесс [1-3]. Соответственно мощность имитируемого эхосигнала, отраженного от участка поверхности, так же необходимо задавать как случайный процесс, имеющий ненулевое матожидание. Анализируя разброс значений случайного процесса был получен вывод о том, что влияние случайной компоненты уменьшатся с ростом размера участка. Это значит, что при больших размерах участка облученной поверхности этой компонентой можно пренебречь. Была получена зависимость от формы диаграммы направленности антенны и параметров подстилающей поверхности. Используя данные соотношения можно оценить вклад переменной компоненты в общую мощность случайного процесса.

Ключевые слова:

Имитация эхосигнала, моделирование отражений от земной поверхности, радиолокация.

1. Введение

В последние годы широкое распространение получил метод проверки характеристик радиолокационных станций (РЛС) с помощью полунатурного моделирования [1,6]. Суть этого метода в искусственном формировании целевых и помеховых эхосигналов и последующей подаче их на вход приемника РЛС [6]. Одной из задач имитации эхосигналов является моделирования отражений от земной поверхности, первым этапом которого является формирование карты отражений – представление земной поверхности набором дискретных отражателей, значение эффективной поверхности

рассеяния (ЭПР) которых определяется характеристиками соответствующих им участков поверхности [1-7].

В настоящее время известно два подхода к формированию карты отражений. Первый используют для РЛС с низким разрешением, в соответствии с которым ЭПР точек зависит только от типа и размера участка [1,2]. Второй подход является более точным и предполагает разброс значений ЭПР, что позволяет моделировать неоднородность даже в пределах одного типа покрова [1,2].

Цель данной работы – оценить необходимость моделирования неоднородностей поверхности в пределах одного типа покрова при синтезе имитационной модели отражений от земной поверхности.

2. Теория.

Рассмотрим подход к формированию ЭПР, согласно которому значение удельной ЭПР можно представить, как сумму двух компонент [1,2]:

$$\sigma_0(x,y) \sim \sigma_{ср} + \sigma_{случ}(x,y), \tag{1}$$

где *x, y* – координаты точки, $\sigma_{ср}$ – постоянная компонента, зависящая от типа покрова, $\sigma_{случ}$ – случайная компонента, имеющая экспоненциальную корреляционную функцию, радиус корреляции и дисперсию зависящие от типа покрова.

В этом случае мощность эхосигнала, отраженного от участка однородного покрова, находящегося на линии равной дальности, можно вычислить следующим образом:

$$\begin{aligned} P(W,\Delta r) &\sim \int_{-W/2}^{W/2}\int_{0}^{\Delta r} F^2(x)\cdot(\sigma_0(x,y))\cdot\partial y\cdot\partial x \sim \\ &\sim \sigma_{ср}\cdot\Delta r\cdot\int_{-W/2}^{W/2} F^2(x)\cdot\partial x + \int_{-W/2}^{W/2}\int_{0}^{\Delta r} F^2(x)\cdot(\sigma_{случ}(x,y))\cdot\partial y\cdot\partial x, \end{aligned} \tag{2}$$

где *W* – ширина главного лепестка диаграммы направленности антенны (ДНА) по уровню первого нуля; *Δr* – разрешение РЛС по дальности; *F(x)* – множитель, показывающий коэффициент усиления приемной и передающей антенн.

Как видно, итоговое значение состоит из двух составляющих – постоянной и случайной компоненты. Рассмотрим, как меняется соотношение мощностей этих компонент в зависимости от следа ДНА на поверхности.

Мощность постоянной составляющей равна квадрату матожидания:

$$P_{\sigma_ср}(W,\Delta r) \sim (M[P(W,\Delta r)])^2 \sim \sigma_{ср}^2\cdot\Delta r^2\cdot\left(\int_{-W/2}^{W/2} F^2(x)\cdot\partial x\right)^2, \tag{3}$$

где M[] – символ матожидания.

Мощность случайной составляющей определяется ее дисперсией, которая для коррелированного случайного процесса равна:

$$P_{\sigma_сл}(W,\Delta r) \sim D[P(x,y)] \sim D_0\cdot\int_0^{\Delta r}\int_0^{\Delta r}\int_{-W/2}^{W/2}\int_{-W/2}^{W/2} F^2(a)\cdot F^2(b)\cdot r(a-b,c-d)\cdot\partial a\cdot\partial b\cdot\partial c\cdot\partial d\ , \tag{4}$$

где D[] – символ дисперсии; D_0 – дисперсия случайного процесса $\sigma_{случ.}$, $r(a,b)$ – корреляционная функция.

Зная выражения для мощностей, необходимость в моделировании случайной компоненты мощности можно оценить на основе их соотношения. Мощность случайной компоненты к мощности постоянной:

$$Y_1(W,\Delta r)=\frac{P_{\sigma_сл}(W,\Delta r)}{P_{\sigma_ср}(W,\Delta r)} \tag{5}$$

Мощность случайной компоненты к полной мощности:

$$Y_2(W,\Delta r)=\frac{P_{\sigma_сл}(W,\Delta r)}{P_{\sigma_ср}(W,\Delta r)+P_{\sigma_сл}(W,\Delta r)} \tag{6}$$

Для примера рассмотрим зависимости (5) и (6), представленные на рисунке 1, при задании главного лепестка ДН гауссовой функцией.

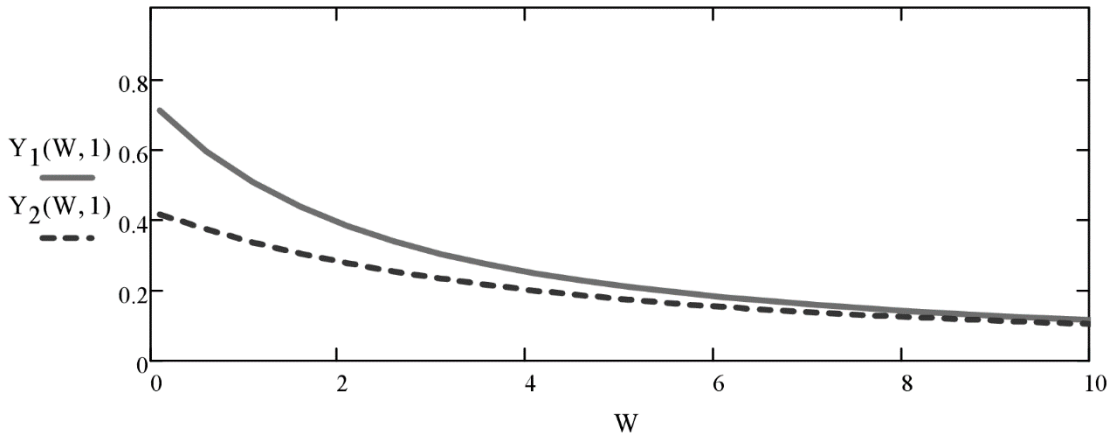


Рисунок 1. Зависимости (1), (2) при радиусе корреляций и дисперсии равными единице.

Видно, что с ростом ширины главного лепестка ДНА (*W)* мощность случайной компоненты уменьшается по сравнению с мощностью постоянной.

3. Выводы.

Задание ЭПР земной поверхности, как случайной величины, приводит к тому, что мощность эхосигналов, в том числе, отраженных от участков с одинаковым покровом, приобретает случайную компоненту. Необходимость ее моделирования оценивается на основе сравнения постоянной и случайной компоненты итоговой мощности сигнала, отраженного от участка, засвеченного лучом ДНА. Такой метод оценки показал уменьшение вклада случайной компоненты с ростом следа ДНА. Это позволяет пренебречь моделированием флюктуирующей компоненты в случае, когда ее радиус корреляции в десятки раз меньше ширины главного лепестка ДНА.

Данный метод можно использовать при выборе метода задания карт отражений для последующего использования в имитаторах эхосигнала.

Библиографический список:

1. J. B. Billingsley, *Low-Angle Radar Land Clutter – Measurement and Empirical Models*, Norwich, NY: William Andrew Publishing, 2002.

2. 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.

3. 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.

4. А. Хабиби, *Двумерная байесовская оценка изображений,* ТИИЭР, № 7, с. 153-159, 1972.

5. Орешкина М.В. Свойства отражений от земной поверхности и их модели, Наука. Промышленность. Оборона: тр. 19 Всерос. научн.-техн. конф., Новосибирск, 18-20 апр. 2018 г.

6. Г.Н. Тверской, Г. К. Терентьев, И. П. Харченко. Имитаторы эхо-сигналов судовых радиолокационных станций. Изд-во «Судостроение», 1973, 224 стр.

7. Под редакцией М.И. Скольника, *Справочник по радиолокации*, пер. с английского под общей ред. В.С. Вербы, в 2 книгах, Москва: Техносфера, 2014.

RECUIREMENTS FOR DETAILS OF LAND CLUTTER DEPENDING ON THE RADAR ANTENNA RADIARTION PATTERN

Oreshkina Margarita Valerevna, postgraduate student

email oreskina.m@yandex.ru

Novosibirsk State Technical University, 20, prospekt Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, tel. +7 (383) 364-15-46

Abstract:

The heterogeneity of the earth surface leads to the fact that the normalized radar cross section is modeled as a random process. Accordingly, the power of the simulated land clutter is also defined as a random process with a non-zero expectation. Analysis of the random value distribution shows that the influence of the random component decrease with increasing size of the area. It means that this component can be neglected for large sizes of the irradiated surface area. The dependence on the shape of the radiation pattern and parameters of the underlying surface is obtained. These ratios give an estimate of the contribution of the variable component to the total power of the random process.

Keywords:

Echo signal simulation, land clutter modeling, radiolocation.

УДК 621.396.677

4-ЛУЧЕВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ БАТЛЕРА 4Х4 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ ШИФФМАНА

Паршин Юрий Николаевич [1]***, аспирант***

[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Паршин Ю. Н., e-mail jurparnik@mail.ru

Адрес для корреспонденции: ***Паршин Юрий Николаевич,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация:

Представлен численный анализ четырёхлучевой фазированной антенной решетки ФАР на полосковых линиях, работающей на центральной частоте 2.2 ГГц. Она состоит из 4-х дипольных излучателей с симметрирующими устройствами («ласточкины хвосты») и матрицы Батлера 4х4. Матрица Батлера реализована на многослойной структуре, используя трёхдецибельные 90° направленные ответвители с полным перекрытием, доработанные узлы пересечения линий с противоположных сторон центральной пленки и 45° фазовращатели Шиффмана. Фазовращатели Шиффмана были использованы вместо обычных линий задержек, так как они обеспечивают более широкую рабочую полосу частот и меньшую неравномерность частотной характеристики сдвигов фаз в этой полосе частот. В разделе 3 представлены результаты численного анализа и компьютерного моделирования как устройства в целом так и его составных частей.

Ключевые слова:

Фазированная антенная решетка, матрица Батлера, фазовращатель Шиффмана, направленный ответвитель, излучатель.

1. Введение

На конференции «НПО–2018» [1] была представлена 4-лучевая ФАР с достаточно хорошими параметрами. В попытках улучшений моделей было принято решение модифицировать эту модель, увеличив полосу рабочих частот за счет фазовращателей Шиффмана. Фазовращатели Шиффмана разработаны и исследованы в [2, 3]. Так же были вполне успешные попытки их использования в [4]. Так как продвигается политика импортозамещения, то поэтому для работы был выбран отечественный материал ФАФ-4Д с диэлектрической проницаемостью 2.5.

Целью данного исследования было получение результатов компьютерного моделирования и вывода о возможностях использования фазовращателя Шиффмана.

2. Компьютерное моделирование

В нашем случае фазовращатель Шиффмана выполнен на основе 3-децибельного направленного ответвителя, связанные линии которого на одной из сторон соединены между собой. Так как рассчитанный ранее направленный ответвитель обеспечивает сдвиг по фазе на 90°, то согласно теории при уменьшении длины в 2 раза сдвиг по фазе будет также в 2 раза меньше. Для подтверждения была создана топология, представленная на рисунке 1. В левой области рисунка расположена линия в которую вклинен фазовращатель Шиффмана, а справа линия для вычисления разностей фаз между выходами.

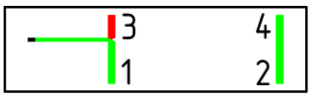


Рис. 1. Топология фазовращателя Шиффмана

Далее была смоделирована 4-лучевая ФАР, состоящая из матрицы Батлера 4x4 и антенного полотна, где за основу была взята модель из [1]. Вместо обычных линий задержки в виде тромбона, рассчитанных на задержку на 45° были использованы фазовращатели Шиффмана с задержкой на ту же самую величину. На рисунке 2 представлена топология этой 4-лучевой ФАР.

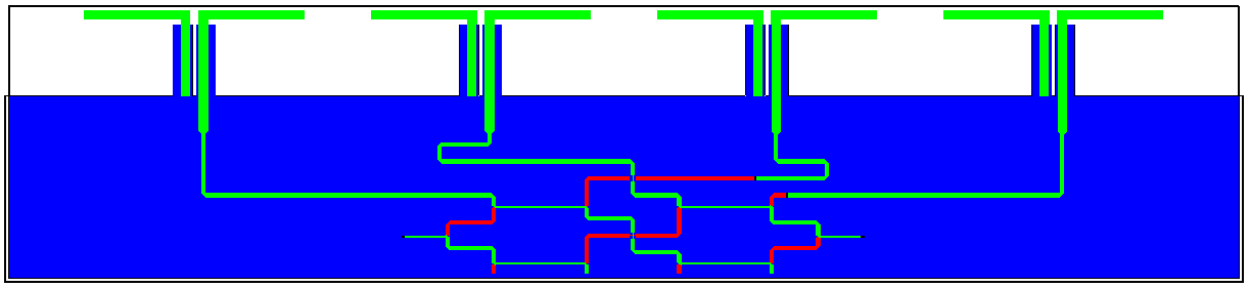


Рис. 2. Топология 4-лучевой ФАР

Топологии были разработаны в программе nanoCAD [5], а моделирование проводилось в CST MICROWAVE STUDIO [6] с использованием следующих справочников, методичек и статей [7-10].

3. Результаты компьютерного моделирования

Таким образом, мы получили модель фазовращателя с почти отсутствующими потерями (худшее значение 0.09 дБ) и почти идеальной задержкой по фазе (S4,1 – S3,1 = 45.2°), результаты представлены на рисунке 3.

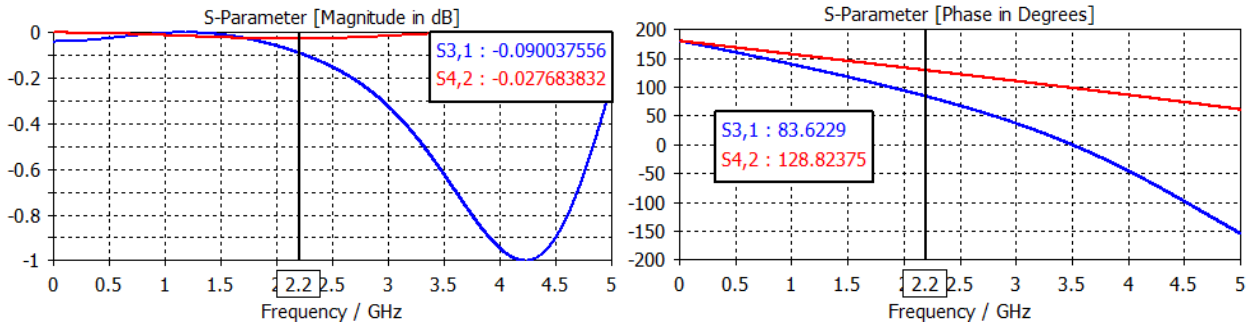


Рис. 3. Результаты ослаблений (слева) и фазовых набегов (справа) фазовращателя Шиффмана в сравнении с соединительной линией

Аналогичным образом можно рассчитать длину фазовращателей, применяющихся в матрицах Батлера с большим количеством входных и выходных портов.

На рисунке 4 представлены результаты ослаблений матрицы Батлера 4x4, где неравномерность ослабления на рабочей полосе частот составила ±0.23 дБ при среднем значении -6.17 дБ.

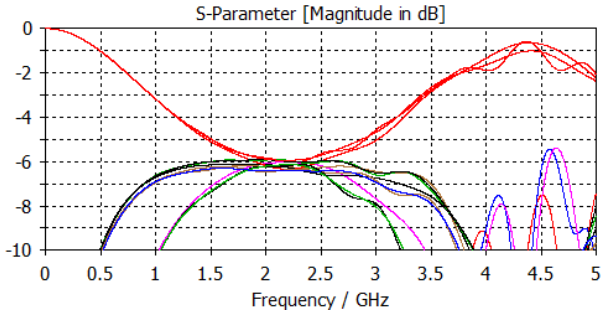


Рис. 4. Результаты ослаблений матрицы Батлера 4x4

На рисунке 5 представлены диаграммы направленности ДН 4-лучевой ФАР. А в таблице 1 приведено сравнение теоретических данных по отклонению лучей от зенита и данных полученных при компьютерном моделировании.

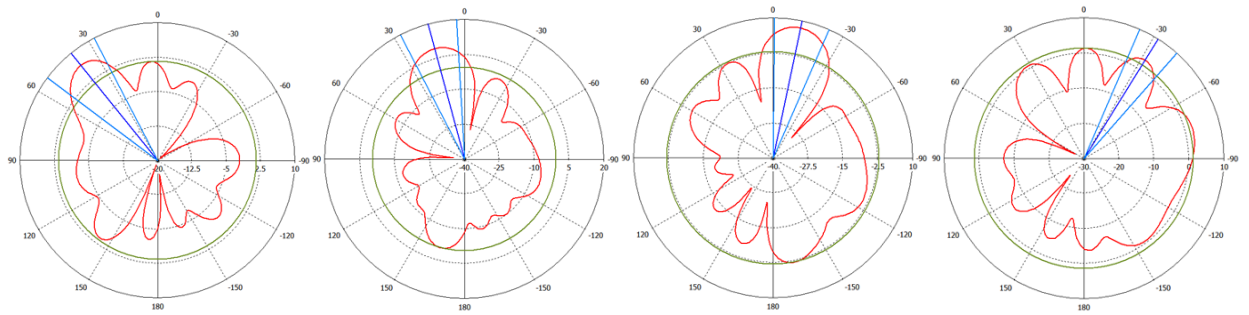


Рис. 5. ДН 4-лучевой ФАР

После сочленения матрицы Батлера и ряда из 4 излучателей была реализована 4-лучевая дипольная ФАР (рис. 2) с габаритными размерами 292x64.2x3.4 мм. Наибольшая величина КСВН составила 1.75 по 2 порту. Худшее значение развязки наблюдалось между 3 и 2 входными каналами и составило -10.66 дБ. Расфазирование трактов на рассматриваемой частоте не превышало 16.6° от требуемых значений.

4. Выводы

По результатам работы, описанной в данной статье можно сказать, что мы получили модель с приемлемыми параметрами и теперь можно приступать к изготовлению опытного образца.

Библиографический список:

1. Диаграммообразующая матрица Батлера 8x8 / Горбачев А. П., Паршин Ю. Н. // Сборник трудов «Наука, Промышленность, Оборона». Новосибирск. – 2018. – с. 267-269.
2. A new class of broad-band microwave 90-degree phase shifters / Schiffman B. M. // IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1958. – Vol. 6, № 2. – pp. 232–237.
3. Synthesis of Schiffman Phase Shifters / Luis Ramos Quirartc J., Starski J. P. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1991. – Vol. 39, №11. – pp. 1885–1889.
4. Broadband Integrated 8 × 8 Butler Matrix Utilizing Quadrature Couplers and Schiffman Phase Shifters for Multibeam Antennas With Broadside Beam / Wincza K., Gruszczynski S. // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2016. – Vol. 64, № 8. – pp. 2596–2604.
5. https://www.nanocad.ru/products/nanocad_free/
6. http://www.cst.com/academia/student-edition
7. Алексеев В. Г., Гриднев В. Н., Нестеров Ю. И. и др. Технология ЭВА, оборудование и автоматизация. – М.: Высшая школа, 1984. – 528 с.
8. Бахарев С. И., Вольман В. И., Либ Ю. Н. и др. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств. Под ред. Вольмана В. И. – М.: Радио и связь, 1982. – 328 с.
9. Малорацкий Л. Г., Явич Л. Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. – М.: Сов. радио, 1972. – 233 с.
10. Четырёхлучевая печатная фазированная антенная решетка с матрицей Батлера на связанных линиях / Горбачев А.П., Мичурина Т.В. // Электросвязь. – 2014. – № 1. – С. 42–44.

4-RAY ANTENNA GRID ON THE BASIS OF A 4X4 BATLER MATRIX USING SHIFFMAN PHASE SHIFTERS

Parshin Yuriy Nikolayevich, Ph.D. student, e-mail jurparnik@mail.ru
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Prospekt K. Marksa

Abstract:

A numerical analysis of a four-beam phased antenna array on strip lines operating at a center frequency of 2.2 GHz is presented. It consists of 4 dipole emitters with balancing devices ("dovetails") and a 4x4 Butler matrix. The Butler matrix is implemented on a multi-layered structure using three-junctional 90° directional couplers with full overlap, modified nodes of intersection of lines from opposite sides of the central film and 45° Schiffman phase shifters. The Schiffman phasers were used instead of the usual delay lines, as they provide a wider working frequency band and less uneven frequency response of phase shifts in this frequency band.. Section 3 presents the results of numerical analysis and computer simulation of both the device as a whole and its components.

Keywords:

Phased array antenna, Butler matrix, Schiffman phase shifter, directional coupler, oscillator.

УДК 621.396.969

ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ЧЕТЫРЕХТОЧЕЧНОЙ ЧАСТИЧНО КОГЕРЕНТНОЙ И ПЯТИТОЧЕЧНОЙ НЕКОГЕРЕНТНОЙ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Подкопаев Артемий Олегович[1], аспирант;

Степанов Максим Андреевич, к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел.[1] (383)346-15-46
Подкопаев А. О., e-mail a_r_t_e_m_y@mail.ru
Адрес для корреспонденции: ***Подкопаев Артемий Олегович, Степанов Максим Андреевич***, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т Карла Маркса, 20, тел. (383)346-15-46

Аннотация. Для замещения отражений от радиолокационных объектов, распределенных по двум угловым координатам, предложена двумерная геометрическая модель, излучающая коррелированные сигналы. Излучатели модели располагаются в вершинах квадрата. Получены выражения для определения параметров сигналов, подводимых к излучателям такой модели, при которых обеспечиваются требуемые параметры плотности распределения вероятностей угловых шумов распределенного объекта. В рамках исследуемой модели доказана возможность независимого регулирования параметров плотности распределения вероятности угловых шумов по двум осям координат. Показана эквивалентность четырехточечной частично когерентной модели и пятиточечной некогерентной с точки зрения обеспечения вероятностных характеристик угловых шумов, а также определены границы этой эквивалентности. Доказанная эквивалентность моделей позволяет развить аппарат синтеза спектрально-корреляционных характеристик частично-когерентных моделей.

Ключевые слова: угловые шумы, имитация эхо-сигналов, матричный имитатор, частично когерентная модель, некогерентная модель.

При имитации электромагнитных волн, отраженных от распределенных объектов, используется малоточечные геометрические модели и их физические реализации – матричные имитаторы (МИ). Матричный имитатор представляет собой совокупность жестко закрепленных излучающих антенн, к которым подводятся сигналы с заданными характеристиками. Если система излучателей не разрешается приемной антенной, то источники излучения для нее сливаются в один, называемый кажущимся центром излучения (КЦИ). Положение КЦИ зависит от мгновенных значений сигналов излучателей, поэтому, если в

качестве сигналов использовать случайные процессы, то положение КЦИ во времени будет случайным. Это явление называется угловыми шумами и свойственно работе с реальными объектами радиолокации. Угловые шумы характеризуются плотностью распределения вероятности (ПРВ) положения КЦИ и его корреляционными характеристиками [1,2]. ПРВ положения КЦИ зависит от двух параметров: m – математического ожидания, μ – параметра, характеризующего ширину ПРВ. Корреляционные характеристики сигналов определяют скорость флуктуаций положения КЦИ.

Статистическая связь сигналов – излучаемых случайных процессов – описывается коэффициентом их взаимной корреляции r. При $r=0$, источники излучают статистически независимые сигналы. Такая модель называется некогерентной (НК). При $|r|=1$, источники излучают полностью статистически связанные сигналы: одинаковые сигналы ($r=1$) или сигналы, модули которых равны, но знаки противоположны ($r=-1$). Такая модель называется когерентной. При значении коэффициента корреляции, лежащем в диапазоне $(-1;0)$ и $(0;1)$, источники излучают частично связанные сигналы. Будем называть такую модель частично когерентной (ЧК).

Известны двухточечные модели, позволяющие моделировать угловые шумы одномерных объектов [1-5], а конкретно ЧК модели, обладающие по сравнению с другими важными преимуществами: гибкостью регулирования параметров ПРВ и менее жесткими требованиями к обеспечению фазировки сигналов излучателей по сравнению с некогерентными и когерентными моделями соответственно [5]. Однако реальные отражающие объекты имеют пространственное распределение минимум по двум координатам, т.е. являются двухмерными. Очевидно, что одномерные МИ не обеспечивают достоверного моделирования эхосигналов от двухмерных распределенных объектов. Для этого необходимо рассмотреть модели, обеспечивающие регулирование параметров ПРВ положения КЦИ по двум осям координат.

Известны двухмерные НК модели МИ, состоящие из девяти неподвижных излучателей или из пяти излучателей, один из которых является подвижным. Они позволяют моделировать угловые шумы распределенных двухмерных объектов и обеспечивают независимое регулирование параметров двухмерной ПРВ по двум взаимно ортогональным осям координат [6]. Ожидается, что использование двухмерных ЧК моделей уменьшит необходимое количество излучателей МИ. Эквивалентность двумерных НК и ЧК моделей позволит применить для последних аппарат описания спектрально-корреляционных характеристик сигналов излучателей, который для них не разработан, но хорошо проработан для НК моделей.

Доказательство эквивалентности моделей проводилось в несколько этапов:

1) Осуществлялся переход к проекциям моделей на оси координат, т.е. представление двухмерной четырехточечной ЧК модели двумя осевыми

двухточечными моделями-проекциями, а двухмерной пятиточечной НК модели – двумя осевыми трехточечными.

Связь между СКО сигналов излучателей исходной ЧК модели и СКО сигналов излучателей моделей-проекций описывается выражением (1):

$$\begin{cases} \sigma_1\left(m_x,\mu_x,m_y,\mu_y\right)=\dfrac{\sigma_{y_2}\left(m_y,\mu_y\right)}{\sqrt{1+2r_x\gamma_x+{\gamma_x}^2}}; \\ \sigma_2\left(m_x,\mu_x,m_y,\mu_y\right)=\gamma_y\cdot\sigma_4\left(m_x,\mu_x,m_y,\mu_y\right); \\ \sigma_3\left(m_x,\mu_x,m_y,\mu_y\right)=\dfrac{\sigma_1\left(m_x,\mu_x,m_y,\mu_y\right)}{\gamma_y}; \\ \sigma_4\left(m_x,\mu_x,m_y,\mu_y\right)=\dfrac{\sigma_{x_2}\left(m_x,\mu_x\right)}{\sqrt{1+2r_y\gamma_y+{\gamma_y}^2}}, \end{cases} \quad (1)$$

где γ_x,γ_y и r_x,r_y - отношение СКО и коэффициент взаимной корреляции сигналов двухточечной ЧК модели, $\sigma_1 \ldots \sigma_4$ - СКО сигналов излучателей четырехточечной ЧК модели, а $\sigma_{x_1},\sigma_{x_2}$ и $\sigma_{y_1},\sigma_{y_2}$ - СКО сигналов моделей-проекций.

Согласно выражению (1), четырехточечная ЧК модель способна обеспечить независимое регулирование параметров ПРВ вдоль осей координат. Схема расположения излучателей моделей приведена на рисунке 1.

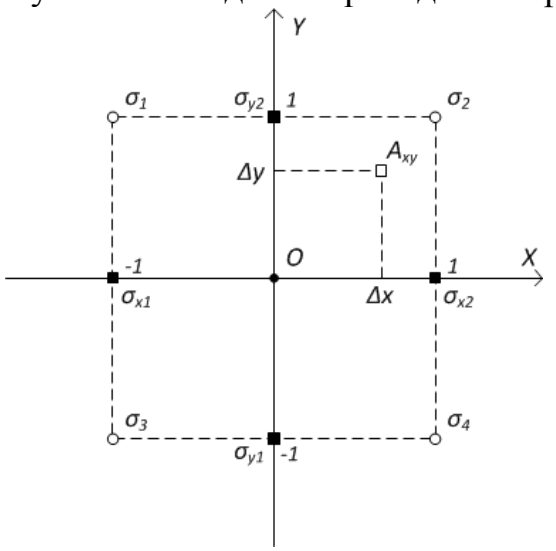


Рис. 1 - Схема расположения излучателей исходной четырехточечной ЧК модели и моделей-проекций на оси координат.

2) Согласно [5], двухточечная ЧК модель может быть представлена трехточечной НК путем выполнения декомпозиции. Сигнал каждого из излучателей такой модели представляется в виде суммы коррелированной и

некоррелированной составляющей, как это показано в выражении (2) для модели-проекции на ось *X*:

$$\begin{cases} \sigma_{x_1} s_{x_1}(t) = n_{x_1} A_{x_1} s_{x_0}(t) + A`_{x_1} s`_{x_1}(t); \\ \sigma_{x_2} s_{x_2}(t) = n_{x_2} A_{x_2} s_{x_0}(t) + A`_{x_2} s`_{x_2}(t), \end{cases} \quad (2)$$

где $s_{x_0}(t)$ – коррелированные составляющие исходных сигналов $s_{x_1}(t)$ и $s_{x_2}(t)$ двухточечной ЧК модели, а A_{x_1}, A_{x_2} – их СКО, n_{x_1}, n_{x_2} – их знаки, $s`_{x_1}(t)$, $s`_{x_2}(t)$ – некогерентные составляющие исходных сигналов, а $A`_{x_1}$, $A`_{x_2}$ - их СКО.

Анализируя (2), представляем двухточечную ЧК модель в виде суммы двухточечной некогерентной и двухточечной когерентной.

К двухточечной некогерентной модели относятся составляющие $A`_{x_1} s`_{x_1}(t)$ и $A`_{x_2} s`_{x_2}(t)$. Расположение точек такой модели совпадает с расположением точек исходной ЧК модели. К двухточечной когерентной модели относятся составляющие $n_{x_1} A_{x_1} s_{x_0}(t)$ и $n_{x_2} A_{x_2} s_{x_0}(t)$. Известно, что такая модель приводится к одному виртуальному излучателю суммарного сигнала с СКО $A`_{x_3} = n_{x_1} A_{x_1} + n_{x_2} A_{x_2}$, расположенному в точке $\Delta x = \frac{1 - z_x}{1 + z_x}$, а z_x - отношение СКО коррелированных составляющих.

Таким образом, путем декомпозиции, из двухточечной ЧК получается трехточечная НК модель. Декомпозиция проводится для каждой осевой модели-проекции. Т.к. доказательство для моделей на осях *X* и *Y* эквивалентно, приведен только пример оси *X*.

3) Исходная двухточечная ЧК и полученная трехточечная НК модели эквивалентны через тождественность выражений для обеспечиваемых ими параметров ПРВ [5].

$$\begin{cases} m_{x,2} = \dfrac{{\gamma_x}^2 - 1}{1 + 2 r_x \gamma_x + {\gamma_x}^2} \\ \mu_{x,2} = \dfrac{1 + 2 r_x \gamma_x + {\gamma_x}^2}{2 \gamma_x \sqrt{1 - {r_x}^2}} \end{cases} = \begin{cases} m_{x,3} = \dfrac{x_1 \gamma_{x_1}^2 + x_2 \gamma_{x_2}^2 + x_3}{\gamma_{x_1}^2 + \gamma_{x_2}^2 + 1} = \dfrac{\gamma_x^2 - 1}{1 + 2 r_x \gamma_x + \gamma_x^2}; \\ \mu_{x,3} = \dfrac{1}{\sqrt{\dfrac{x_1^2 \gamma_{x_1}^2 + x_2^2 \gamma_{x_2}^2 + x_3^2}{\gamma_{x_1}^2 + \gamma_{x_2}^2 + 1} - {m_x}^2}} = \dfrac{1 + 2 r_x \gamma_x + \gamma_x^2}{2 \gamma_x \sqrt{1 - r_x^2}}, \end{cases} \quad (3)$$

где $x_1 .. x_3$ - координаты излучателей трехточечной НК модели, а $\gamma_{x_1}^2$ и $\gamma_{x_2}^2$ - нормированные к третьему дисперсии сигналов излучателей трехточечной НК модели.

Таким образом, через доказательство эквивалентности проекций двухмерных ЧК и НК моделей доказывается и эквивалентность исходный моделей.

4) Границы эквивалентности определены через диапазоны возможных значений параметров моделей, участвующих в декомпозиции – через условия физической реализуемости, предъявляемые к дисперсиям сигналов при декомпозиции. Ниже приведены такие условия для модели-проекции на обобщенную координатную ось *A*:

$$\begin{cases} z_{a_{min}}(m_a,\mu_a)=\dfrac{\mu_a^2\left(1-m_a^2\right)-1}{1+\mu_a^2\left(1+m_a^2\right)}; \\ z_{a_{max}}(m_a,\mu_a)=\dfrac{1+\mu_a^2\left(1-m_a^2\right)}{\mu_a^2\left(1-m_a^2\right)-1} \end{cases} \tag{4}$$

или

$$\begin{cases} \Delta a_{min}(m_a,\mu_a)=\dfrac{\mu_a^2\cdot m_a\cdot\left(1-m_a\right)-1}{\mu_a^2\left(1-m_a\right)}; \\ \Delta a_{max}(m_a,\mu_a)=\dfrac{1+\mu_a^2\cdot m_a\cdot\left(1+m_a\right)}{\mu_a^2\left(1+m_a\right)}. \end{cases} \tag{5}$$

Заключение

Путем декомпозиции моделей-проекций на оси координат доказана эквивалентность двухмерной четырехточечной ЧК модели и двухмерной пятиточечной НК модели, способных осуществлять независимое регулирование параметров ПРВ вдоль осей координат. Связь между СКО сигналов исходной ЧК модели и СКО сигналов моделей-проекций приведена в выражении (1). Эквивалентность заключается в тождественности выражения для параметров ПРВ, обеспечиваемых этими моделями, как показано в (3).

Область эквивалентности представлена в виде диапазонов возможных значений параметров, участвующих в декомпозиции: отношения СКО при коррелированных составляющих и положения виртуального излучателя, приведенных в выражениях (4) и (5) соответственно.

Доказанная эквивалентность позволяет осуществить перенос проработанного для НК моделей аппарата описания спектрально-корреляционных характеристик сигналов излучателей модели на ЧК модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1) Статистическая теория радиолокации протяженных целей. / Р.В. Островитянов, Ф.А. Басалов – Москва, «Радио и связь», 1982. –232с.

2) Справочник по радиолокации / под. ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. под общей ред. В.С. Вербы. В 2 книгах. Книга 2. Москва: Техносфера, 2014. Vol. 2. 680 p.

3) Монаков А. А., Мишура Т. П. Радиолокация протяженных целей: измерение дальности, разрешение и синтез сигналов. СПб.: ГУАП, 2012. 137 с.

4) Монаков А. А., Островитянов Р. В., Храмченко Г. К. Оценка положения энергетического центра протяженного объекта по зависимой выборке // Радиотехника. 1998. № 1. С. 25.

5) Об эквивалентности двухточечной частично когерентной геометрической модели и трехточечной некогерентной / А.В. Киселев, А.О. Подкопаев, М.А. Степанов - Радиопромышленность, 2018. №1, С. 62-67.

6) Артюшенко В.В., Киселев А.В., Степанов М.А. Моделирование корреляционных характеристик шумов координат распределенных // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2015. № 4. Р. 19–27.

THE EQUIVALENCE OF DISTRIBUTED OBJECT`S ANGLE NOISE FOUR-POINT PARTIALLY COHERENT AND FIVE-POINT NON-COHERENT MODELS

Podkopayev Artemy Olegovich*[1], *Postgraduate student, Stepanov Maksim Andreyevich, Cand.Sc. (Engineering), Associate Professor

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue, phone[1] (383)346-15-46

Podkopayev A. O., e-mail a_r_t_e_m_y@mail.ru

The address for correspondence: ***Podkopayev Artemy Olegovich, Stepanov Maksim Andreyevich***, Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue, phone (383)346-15-46

Abstract. The two-dimensional geometric model emitting correlated signals is proposed for replacing the reflections of distributed on two angle coordinates radar objects. Emitters are located in square vertex. Expressions allowing to determine parameters of signals, supplied such model emitters, based on distributed object angle noise probability density function parameters conditions are obtained in this paper. The two coordinate axes angle noise probability characteristics independent regulating usable are proved in borders of exploring model. The four-point partially coherent and five-point non-coherent models equivalence are shown in purposes of angle noise probability characteristics providing and limits of this equivalence are considered. The proved equivalence is allowing to develop the spectral-correlation synthesis apparatus.

Keywords: angle noise, correlated signals, echoed signal simulation, matrix simulator, partially coherent model, non-coherent model.

УДК 621.396.969

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Прокопчук Дарья Игоревна, магистрант;

научный руководитель: Степанов Максим Андреевич, канд. техн. наук.

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8 (999) 468-96-98

dashik_pr@mail.ru

Адрес для корреспонденции: *Прокопчук Дарья Игоревна*, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8 (999) 468-96-98

Аннотация

В последние годы все большее распространение получают беспилотные летательные аппараты. Эта техника уже давно зарекомендовала себя в качестве надежного и эффективного средства ведения разведки, нанесения ударов по объектам противника и выполнения некоторых других задач.

Эффективная площадь рассеяния является ключевым параметром, используемым для определения того, будет ли обнаружена воздушная цель на радаре в заданном диапазоне.

В статье описана методика измерения эффективной площади рассеяния беспилотных летательных аппаратов, а также эксперимент измерения в безэховой камере. Благодаря результатам измерений, описанных в данной статье, имеется возможность измерить эффективную площадь рассеяния любого объекта.

Ключевые слова. Радиолокация; беспилотные летательные аппараты; эффективная площадь рассеяния; безэховая камера.

1. Введение

В последние годы наблюдается рост использования Беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), из-за низкой цены и простоты использования. Они могут использоваться для частных съемок, для проведения метеорологических исследований, для оказания помощи при стихийных бедствиях, а также для сельскохозяйственного и экологического контроля и мониторинга. В военных условиях БПЛА может перемещать любой легкий груз, от ударника до взрывного устройства, или может использоваться для разведки. Однако существует много потенциальных злоупотреблений квадрокоптерами, такие как нарушение неприкосновенности частной жизни, риск столкновения с людьми, другими БПЛА, и большим самолетом, и транспортировка взрывчатых/ядовитых веществ. Пригодность обычных радиолокационных систем для обнаружения и идентификации, летательных дронов является вопросом существенного значения для национальной

безопасности и в настоящее время исследуется, в то время как использование квадрокоптеров становится все более распространенным.

Характеристики радиолокационной заметности самолетов определяются экспериментальными, полуэмпирическими и численными методами. Расчет и точное определение значений основных показателей радиолокационной заметности, и, в частности, эффективной поверхности рассеяния σ представляет собой отдельную сложнейшую проблему, для решения которой разработаны теоретические и экспериментальные методы [1].

Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) является ключевым параметром, используемым для определения того, будет ли обнаружена воздушная цель на радаре в заданном диапазоне.

В данной статье проанализирован статический метод измерения ЭПР в безэховой камере.

2. Общие сведения об ЭПР

ЭПР - площадь поперечного сечения такого воображаемого отражателя, который рассеивает всю падающую на него мощность равномерно во все стороны, и при этом создает в месте расположения приемной антенны такой же сигнал, как и реальная цель. ЭПР является функцией многих факторов, включая угол облучения цели (т.е. угол между нормалью к поверхности цели и направлением падающей электромагнитной волны), частоты и поляризации.[2]

ЭПР является ключевым компонентом основного уравнения радиолокации моно статического диапазона. Основным уравнением радиолокации (1) называется уравнение, связывающее максимальную дальность действия РЛС в свободном пространстве с ее основными техническими характеристиками и ЭПР цели:

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{ср}} G^2 \lambda^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^2 \text{P}_\text{с}}} L^2 , \qquad (1)$$

где $P_{\text{ср}}$ – средняя излучаемая мощность передатчика; G – коэффициент усиления приемо-передающей антенны; λ – длина радиоволны; $\sigma_{\text{ц}}$ – эффективная площадь рассеяния (ЭПР) цели; $\text{P}_\text{с}$ – мощность отраженного сигнала; L – множитель ослабления сигнала на пути распространения до цели и обратно. Уравнение показывает, что максимальный диапазон обнаружения пропорционален четвертому корню ЭПР.

3. Методика измерения

Целью работы является экспериментальное определение ЭПР различных объектов.

Выбранный метод исследования – модельный эксперимент в безэховой камере (БЭК).

Эксперименты проводились в БЭК кафедры РП и РПУ Новосибирского государственного технического университета. Структура камеры показана на рисунке 1. Примерные размеры камеры: длина 2.5м, высота 2м, ширина 2м.

В качестве передающей и приемной антенны были использованы рупора. Обе антенны размещались на расстоянии 68см от центра для цели.

Для измерения использовался анализатор спектра R&S FSL33 и генератор сигналов R&S SMC100A. Измерения проводились на частоте 9 ГГц. Объект помещался на мало отражающую пенопластовую тумбу, высота тумбы 64 см. Высота до центра рупора 72 см.

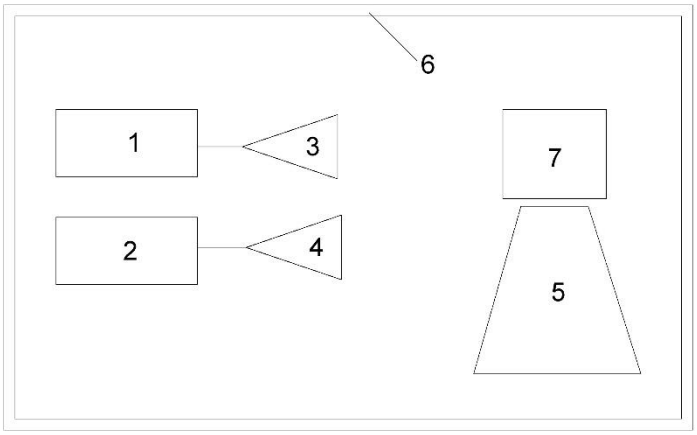


Рисунок 1. Структура измерительного стенда
1- генератор сигналов R&S SMC100A; 2-анализатор спектра R&S FSL33;
3,4- рупорные антенны; 5- мало отражающая пенопластовая тумба; 6- безэховая камера НГТУ; 7- измеряемый объект

Ниже приведены фотографии измерительного стенда (рисунок 2, рисунок 3).

Рисунок 2. Безэховая камера кафедры РП и РПУ НГТУ

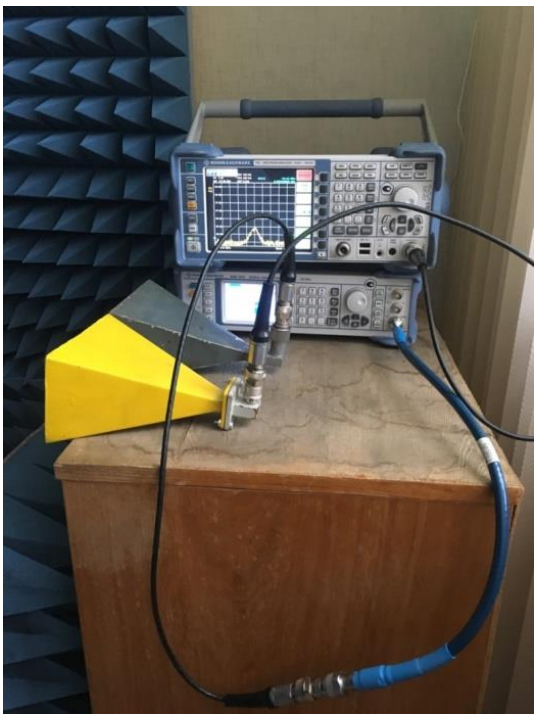


Рисунок 3. Передающая и приемная антенны, анализатор спектра R&S FSL33 и генератор сигналов R&S SMC100A

4. Измерения

4.1 Первый этап измерения – калибровочный.

В качестве объектов калибровки были выбраны 4 шара разного диаметра, обёрнутые фольгой - отражающие всю падающую энергию (рисунок 4).

ЭПР этих шаров рассчитывались по формуле:

$$\sigma_Э = \pi r^2, \quad (2)$$

где r- радиус шара.

Измерялись 4 шара разных диаметров, для того что бы получить максимально верные данные: шар №1 с длиной окружности 63 см, шар №2 с длиной окружности 48 см, шар №3 с длиной окружности 30 см, шар №4 с длиной окружности 22 см.

Рисунок 4. Измеряемые шары

Были вычислены диаметры, а затем радиусы:

$$l_1 = 0.63\text{м},\ d_1 = \frac{l_1}{\pi} = \frac{0.63}{3.14} = 0.201\text{м},\ r_1 = \frac{d_1}{2} = \frac{0.201}{2} = 0.105\text{м}$$

$$l_2 = 0.48\text{м},\ d_2 = \frac{l_2}{\pi} = \frac{0.48}{3.14} = 0.153\text{м},\ r_2 = \frac{d_2}{2} = \frac{0.153}{2} = 0.0076\text{м}$$

$$l_3 = 0.30\text{м},\ d_3 = \frac{l_3}{\pi} = \frac{0.30}{3.14} = 0.095\text{м},\ r_3 = \frac{d_3}{2} = \frac{0.095}{2} = 0.048\text{м}$$

$$l_4 = 0.22\text{м},\ d_4 = \frac{l_4}{\pi} = \frac{0.22}{3.14} = 0.07\text{м},\ r_4 = \frac{d_4}{2} = \frac{0.07}{2} = 0.035\text{м}$$

Каждый шар помещался на мало отражающую пенопластовую тумбу (рисунок 5), с анализатора спектра снимались показания (рисунок 6).

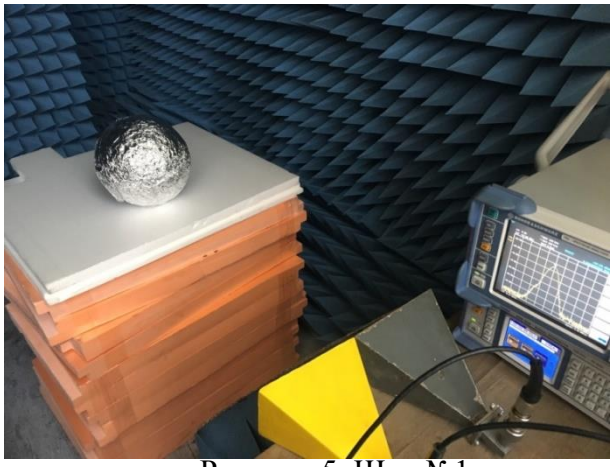


Рисунок 5. Шар №1 на измерительной установке

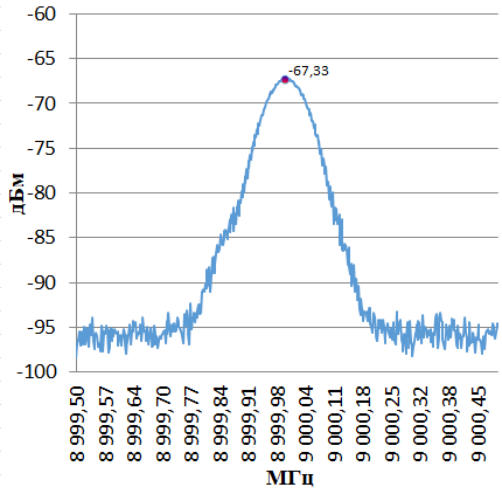


Рисунок 6. Характеристика отражения на анализаторе спектра

4.2 Результаты первого калибровочного этапа

С помощью формулы (2) были получены следующие ЭПР шаров:

$$\sigma_1 = \pi {r_1}^2 = 3.14 \times 0.105 = 0.032\text{м}^2$$
$$\sigma_2 = \pi {r_2}^2 = 3.14 \times 0.076 = 0.018\text{м}^2$$
$$\sigma_3 = \pi {r_3}^2 = 3.14 \times 0.00716 = 0.00716\text{м}^2$$
$$\sigma_4 = \pi {r_4}^2 = 3.14 \times 0.035 = 0.00385\text{м}^2$$

В результате измерений первого этапа составили таблицу калибровки (таблица 1), с помощью которой в дальнейшем можно будет определить ЭПР любого объекта.

Таблица 1

d,см	σ,м^2	Р, дБ
63	0.032	-67.33
48	0.018	-76.80
30	0.00716	-78.39
22	0.00385	-82.97

Пользуюсь данной таблицей, можно определить скольким метрам квадратным соответствует отражение на анализаторе спектра в дБ.

Для подтверждения возможности использования методики для определения ЭПР были сравнены отношения посчитанных ЭПР шаров разных размеров и снятые показания прибора. На основании этих отношений выяснили, что измерения третьего шара было произведены не точно. Было принято решение не использовать в дальнейшем показания с шаром №3.

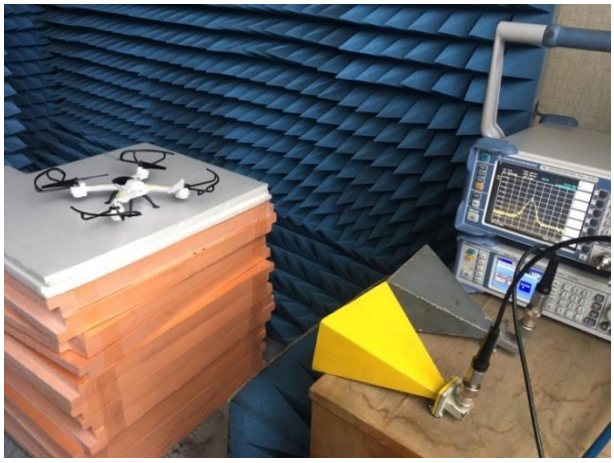


Рисунок 7. Квадрокоптер-1 на измерительной установке

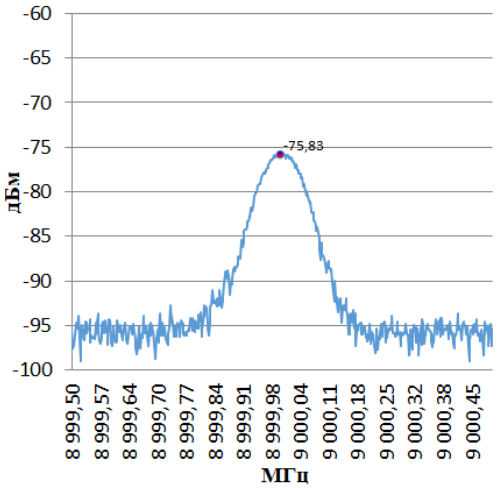


Рисунок 8. Характеристика отражения на анализаторе спектра

4.3 Измерения с квадрокоптерами

Далее на тумбу вместо шаров поместили квадрокоптер-1 *Sky quest drone*, измерили мощности отражённого сигнала, затем поместили квадрокоптер-2 другой фирмы и размеров *Syma x56.*

С помощью таблицы 1 вычислили ЭПР квадрокоптера *Sky quest drone* – 0.0177м^2 и ЭПР квадрокоптера *Syma x56* – 0.0185м^2.

5. Выводы

В результате проделанной работы, были получены навыки измерения отраженных сигналов в Безэховой камере. Изучена важная характеристика (ЭПР) для обнаружения беспилотных летальных аппаратов. Был произведён расчёт ЭПР 4-х шаров. Проведены измерения в БЭК, составлена таблица калибровки, необходимая для определения ЭПР объектов. Также определены ЭПР двух неподвижных квадрокоптеров.

В дальнейшем будут исследованы квадрокпотеры в движении и их доплеровские сигнатуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вождаев В.В., Теперин Л.Л. Характеристики радиолокационной заметности летательных аппаратов, М.: Физматлит, 2018. — 376 с.

2. Радиотехнические системы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника»/Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др.; Под ред. Ю. М. Казаринова. — М.: Высш. шк., 1990. — 496 с.

A MEASUREMENT RADAR CROSS-SECTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES.

D. I. Prokopchuk, Master’s Degree student
Research adviser: Ph.D. (Engineering) M.A. Stepanov
Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University630073, dashik_pr@mail.ru

Abstract

In recent years, unmanned aerial vehicles have become increasingly common. This technique has long established itself as a reliable and effective means of conducting reconnaissance, attacking enemy targets and performing certain other tasks.

The radar cross-section is a key parameter used to determine whether an air target will be detected on a radar in a given range.

The article describes a method for measuring the radar cross-section of unmanned aerial vehicles, as well as a measurement experiment in an anechoic chamber. Using the measurement results described in this article, it is possible to measure the radar cross-section of any object.

Keywords: Radiolocation, unmanned aerial vehicles, radar cross-section, anechoic chamber.

УДК 004.7

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ VOIP ТРАФИКА В СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Проскуряков Анатолий Сергеевич, магистрант,
научный руководитель: Никулин Андрей Викторович, к.т.н.

Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Fastocher@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: *Проскуряков Анатолий Сергеевич*, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)346-15-46

Аннотация

В работе представлена программа, написанная на языке C++. Программа распознает входящий и исходящий трафик сети, обрабатывает и классифицирует его. Впоследствии отфильтровываются только VoIP пакеты, которые разбираются на составные части для последующего анализа. Существуют множество алгоритмов для кодирования речевого сигнала, среди международных стандартов чаще всего используются G.723.1 и G.729. Требуется оценить влияние каналов сети Интернет не обеспечивающих идеального соединения, в них бывают задержки или потери пакетов, влияющих на качество голосовой связи, с учетом кодирования и сжатия. Функционал разрабатываемой программы будет дополнен более детальным анализом VoIP пакетов и синтезом речи на их основе.

Ключевые слова. VOIP, телекоммуникационные сети, речевые кодеки.

1. Введение

IP-телефония подразумевает передачу текстовых сообщений, голосовые и видео- конференции. Реализация этих задач по распространенному и быстрому интернету крайне выгодна в отличии от стандартных телефонных сетей.

В IP-телефонии передача осуществляется с помощью протоколов транспортного уровня UDP и RTP, протокол TCP не используется т.к. голосовая связь менее чувствительна к потерям пакетов и очень чувствительна к задержкам. Для передачи голоса по IP-сети человеческий голос оцифровывается при помощи импульсно-кодовой модуляции, сжимается (кодируется) и разбивается на пакеты. В условиях потерь пакетов, передающихся по сети Интернет, стандарты, используемые для передачи данных в других сетях, были частично адаптированы. Развитие этих стандартов повлекло за собой создание множества алгоритмов, снижающих нагрузку на канал и улучшающих качество связи, например, Voice Activity Detector и алгоритм синтеза речевого сигнала, в фрагментах потерянных пакетов. Также есть множество вокодеков, которые обеспечивают наилучшее из возможных

сжатие голоса именно для определенной конфигурации канала. Поэтому для улучшения качества соединения, в идеале, нужно использовать вокодеки с переменной скоростью передачи речи. Чаще всего используются стандарты G.723.1 передающий речь со скоростью 5,3-6,3 Кбит/с и G.729 со скоростью 8 Кбит/с.

Чтобы проанализировать влияние кодеков и алгоритмов сжатия на голосовую связь для начала нужно научиться из общего трафика выделять VoIP пакеты. Этому этапу и посвящена настоящая работа.

2. Теория

VoIP пакет состоит из IP-заголовка, UDP-заголовка, RTP-заголовка и данных.

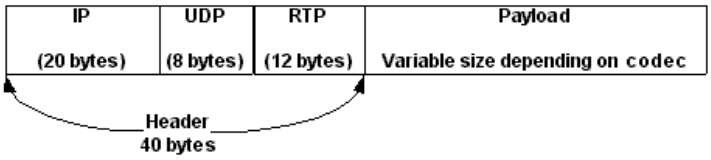


Рисунок 1. Структура VoIP пакета

Октет	0-3	4-7	8-13	14-15	16-31	
0	Версия	IHL	DSCP	ECN	Длина пакета	
4	Идентификатор				Флаги	Смещение фрагмента
8	Время жизни		Протокол		Контрольная сумма заголовка	
12	IP-адрес отправителя					
16	IP-адрес получателя					
20	Параметры					
	Данные					

Рисунок 2. Структура IP заголовка

Содержит краткую информацию о данном блоке данных. Сам протокол предназначен для передачи датаграмм между хостами сетей IP.

User Datagram Protocol — протокол пользовательских датаграмм.

Биты	0 - 15	16 - 31
0-31	Порт отправителя	Порт получателя
32-63	Длина датаграммы	Контрольная сумма
64-...	Данные	

Рисунок 3. Структура UDP заголовка

UDP предоставляет возможность посылать датаграммы без предварительного установления соединения, также обеспечивает многоканальную передачу и проверку на целостность данных.

Протокол RTP (Real-time Transport Protocol) используется при передаче трафика реального времени.

Протокол RTP переносит в своём заголовке данные, необходимые для восстановления аудиоданных или видеоизображения в приёмном узле, а также данные о типе кодирования информации (JPEG, MPEG и т. п.).

+ Биты	0-1	2	3	4-7	8	9-15	16-31
0	Ver.	P	X	CC	M	PT	Порядковый номер
32	Метка времени						
64	SSRC-идентификатор						
96, если CC>0	CSRC-идентификаторы						
96+(CC×32), если X=1	Заголовок расширения — определённое профилем значение						Заголовок расширения — количество блоков данных по 32 бита (EHL)
96+(CC×32)+32	Заголовок расширения — блоки данных						
96+(CC×32) +X*(32+32×EHL)	Данные						
если P=1	Заполнение						L

Рисунок 4. Структура RTP–заголовка.

3. Практика

Для захвата пакетов использована библиотека Winsock2. Сам Winsock – сокращение от Windows Sockets API. Это установленный стандарт, который определяет взаимодействие программ со средой Windows.

Winsock2 имеет новую архитектуру, в отличии от Winsock1.1, которая обеспечивает большую гибкость в использовании. Она позволяет одновременно поддерживать несколько стеков протоколов, интерфейсов и поставщиков услуг. Архитектура такова: 32 битная WS2-32.DLL (API уровень), и новый (SPI уровень) ниже, в связке обеспечивают гибкость. В такой модели Winsock DLL предоставляет стандартный API, а каждый поставщик услуг устанавливает свой SPI уровень под ним. Уровень API «разговаривает» с поставщиком услуг через стандартизированный интерфейс SPI, поддерживается мультиплексирование между несколькими поставщиками услуг одновременно.

В начале запускается функция инициализации библиотеки Winsock2, следом идет создание сокета.

Сокет – это программный интерфейс обеспечивающий обмен данных между процессами. В данной программе использовались RAW- сокеты, они позволяют увидеть, как происходит инкапсуляция данных и предоставляют доступ к IP-заголовку, иными словами RAW-сокет это доступ к низкоуровневому функционалу. Механизм захвата пакетов несколько ограничен тем, что через RAW- сокет можно получить только копию

входящего пакета, а не пакет генерируемый данной машиной. Также используя данный тип сокетов захватываются только те пакеты, которые соответствуют заданному Protocol ID, который выставлялся при создании сокета вызовом функции socket(); Если были созданы несколько RAW-сокетов с одинаковыми параметрами, то каждый из них получит свою копию пакета.

Winsock поддерживает два вида сокетов синхронные и асинхронные, или по другому блокируемые и неблокируемые. Блокируемые сокеты задерживают управление на время выполнения операций, в свою очередь, неблокируемые возвращают управление немедленно и продолжают выполнение в фоновом режиме, уведомляя по завершении. В этой программе используются синхронные сокеты.

С помощью команды bind производится привязка сокета к адресу. Запущенный процесс требует свободный порт и прослушивает входящие/исходящие запросы. Другими словами, создается серверный сокет.

Затем сокет переводится в режим прослушивания. Все входящие и исходящие пакеты проходят через сокет.

Полученные данные обрабатываются и выводятся на экран.

4. Вывод

В данный момент программа лишь отлавливает весь входящий и исходящий трафик. В будущем планируется значительное расширение функционала: будет добавлена фильтрация по типу пакета, для VoIP пакетов появится возможность сохранять весь разговор в аудио-формате для дальнейшего изучения вокодеков применяемых в различных случаях, также добавится функция самостоятельной компоновки пакета.

Вышеперечисленное это потенциал развития с нынешней наработанной базой знаний. В дальнейшем, по мере реализации этих функций и более углубленного изучения материала, будут естественно найдены новые пути развития и изучения данной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. InfoWorld VoIP monitoring. — The IDG Network, 2008.
2. Гольдштейн, Б. С. Протокол SIP. Справочник. — СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 2005. — С. 456. — ISBN 5-8206-0123-8
3. Uresh Vahalia. UNIX internals: the new frontiers. — Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall PTR, 2003. — 844 с. — ISBN 0-13-101908-2.
4. Семенов Ю. А. Протоколы Internet. — 2-е изд., стереотип.. — М.: Горячая линия - Телеком, 2005. — 1100 с. — 1150 экз. — ISBN 5-93517-044-2.
5. А. Филимонов. Построение мультисервисных сетей Ethernet. — М.: BHV, 2007. ISBN 978-5-9775-0007-4.
6. Берндт Бютнер. Безопасность VoIP: новые проблемы – 2005.

7. Руководство по технологиям объединённых сетей. 4-е изд. — М.: Вильямс, 2005. ISBN 5-8459-0787-X.

8. Hunt, Craig. TCP/IP Network Administration. — 3rd Edition. — O'Reilly Media, Inc.. — ISBN 0596002971.

9. К. Касперски. "Самоучитель игры на WINSOCK", — 560с. — 2003. BHV.

10. М.Е. Фленов. C++ глазами хакера. БХВ-Петербург, 2-е издание - 2004.

LEARNING THE FEATURES OF VOIP TRAFFIC IN MODERN TELECOMMUNICATION NETWORKS

Proskuryakov Anatoly Sergeevich, master student, scientific supervisor: Ph.D., Nikulin Andrey Viktorovich

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue, phone[1] (383)346-15-46

Fastocher@yandex.ru

Address for correspondence: Proskuryakov Anatoly Sergeevich, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, tel. (383) 346-15-46

Abstract. The paper presents a program written in C++. The program recognizes incoming and outgoing network traffic, processes and classifies it. Subsequently, only VoIP packets are filtered out, which are disassembled into component parts for further analysis. There are many algorithms to encode the speech signal, among the international standards are most often used G. 723.1 and G. 729. It is necessary to assess the impact of the Internet channels do not provide an ideal connection, they are delays or packet loss affecting the quality of voice communication, taking into account the encoding and compression. The functionality of the developed program will be supplemented with a more detailed analysis of VoIP packages and speech synthesis based on them.

Keywords: VOIP, telecommunication networks, voice codecs.

УДК 621.396.96

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОВМЕСТНОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ ШУМОВ КООРДИНАТ

Степанов Максим Андреевич[1], к.т.н.; Сабитов Тимур Ильясович[1]; Киселев Алексей Васильевич[1], д.т.н.

[1]Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Сабитов Т.И., e-mail sti0@mail.ru

Степанов М.А., e-mail m.stepanov@corp.nstu.ru

Киселев А.В., e-mail a.kiselev@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: ***Сабитов Т.И.,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 89137168055

Аннотация

В данной работе рассматривается моделирование отражений сигналов от распределенных радиолокационных объектов. Изучена конфигурация четырехточечной частично-когерентной модели, позволяющей моделировать параметры совместного распределения азимутальных и угломестных шумов координат. Приведены соотношения для расчёта параметров излучаемых сигналов. На основе этих соотношений разработан алгоритм математического моделирования. Проведены несколько численных экспериментов, в результате которых были получены гистограммы и оценки параметров двумерной функции распределения моделируемых шумов координат. Полученные результаты указывают на достоверность моделирования.

Ключевые слова: распределенный объект, совместная функция распределения, шумы угловых координат, моделирование.

Введение

Все реальные радиолокационные объекты являются распределенными. распределенные объекты принято рассматривать как совокупность распределенных по объему объекта точечных отражателей – светящихся точек [1,2]. Сумма сигналов светящихся точек образует результирующую отраженную волну с флуктуирующим фазовым фронтом. Группа неразрешаемых светящихся точек наблюдается как эквивалентный кажущийся центр излучения (КЦИ), а флуктуации фазового фронта принимаемой волны приводят к флуктуациям положения КЦИ по различным координатам. Это явление получило название шумов угловых координат (ШК).

Имитация сигналов светящихся точек обеспечит адекватное моделирование распределенного объекта. В то же время многоточечная

математическая модель не пригодна для реализации из-за слишком большого количества светящихся точек моделируемого объекта.

Широкое распространение получили малоточечные геометрические модели. Неразрешаемые антенной РЛС излучатели модели наблюдаются как КЦИ, положение которого зависит от значения мощностей излучаемых сигналов. В зависимости от типа излучаемых сигналов их делят на когерентные, частично-когерентные и некогерентные. Когерентные модели имитируют многоточёчные структуры, некогерентные имитируют отражения от распределенных объектов. Частично-когерентная модель объединяет в себе свойства двух предыдущих [3].

В данной работе будет рассмотрено моделирование совместной ПРВ азимутальных и угломестных ШК на примере четырехточечной двумерной частично-когерентной геометрической модели.

Теория

Запишем совместную ПРВ азимутальных и угломестных ШК для декартовой системы координат [1]:

$$W\left(\xi_x,\xi_y\right)=\frac{\mu_x\mu_y}{\pi\left(1+\mu_x^2\left(\xi_x-m_x\right)^2+\mu_y^2\left(\xi_y-m_y\right)^2\right)^2}, \qquad (1)$$

где m – математическое ожидание измеренных координат объекта; μ – параметр, от которого зависит ширина распределения; ξ - обобщенная угловая координата (например, азимут или угол места).

Конфигурация четырехточечной частично-когерентной модели представлена на рисунке 1.

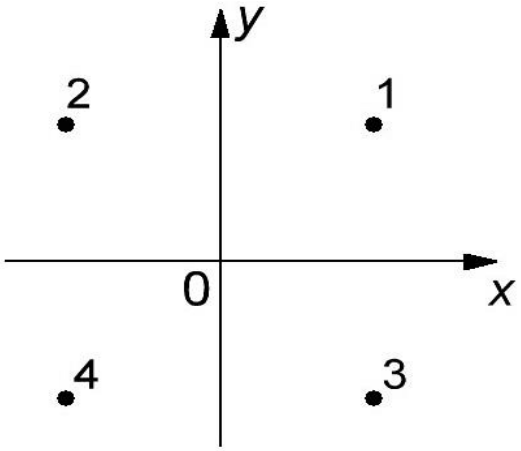


Рис.1 Четырехточечная конфигурация двумерной частично когерентной модели распределенного объекта

Сигналы частично-когерентной модели представляют собой коррелированные нормальные случайные процессы. Излучатели рассматриваемой конфигурации располагаются в углах прямоугольника, поэтому их проекции образуют ортогональные двухточечные модели. Для

двухточечных моделей параметры излучаемых сигналов (отношение СКО γ и коэффициент корреляции r) рассчитываются по следующим соотношениям [3]:

$$\gamma = \mathrm{tg}\left[\frac{1}{2}\arccos\left(\frac{-2m\mu^2}{1+m^2\mu^2+\mu^2}\right)\right], \quad (2)$$

$$r = \frac{\mu^2 - 1 - m^2\mu^2}{\left(1+m^2\mu^2+\mu^2\right)\sqrt{1-\left(\frac{-2m\mu^2}{1+m^2\mu^2+\mu^2}\right)^2}}, \quad (3)$$

где γ^2 – отношение мощностей сигналов, r – коэффициент взаимной корреляции сигналов.

С помощью соотношений (2) и (3) можно также рассчитать параметры сигналов четырехточечной конфигурации (рис. 1), при которых будет обеспечена ПРВ ШК (1) с заданными характеристиками (мат. ожидания m_x и m_y, а также параметры μ_x и μ_y) [4].

Предлагается следующий алгоритм моделирования.

1. Задаются параметры совместной ПРВ моделируемых ШК.

2. По соотношениям (2) рассчитываются параметры излучаемых сигналов.

3. Формирование реализаций сигналов, представляющих собой нормальные случайные процессы, с требуемыми мощностями и коэффициентами взаимной корреляции.

4. Положения КЦИ по ортогональным осям $0X$ и $0Y$ определяются с помощью соотношения для моноимпульсной пеленгации [4]:

$$F(i) = \mathrm{Re}\left(\frac{\Delta(i)}{\Sigma(i)}\right),$$

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.

5. Построение гистограммы двумерного распределения и оценка параметров ПРВ моделируемых ШК по следующим соотношениям [1]:

$$\tilde{m} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} F(i),$$

$$\tilde{\mu} = \frac{1}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|F(i)\right|}.$$

6. Сравнение задаваемых и получаемых величин. Вывод об адекватности математического моделирования.

Для численного моделирования были выбраны величины $m_x = \{0{,}5,\ -0{,}2,\ -0{,}5\}$, $m_y = \{0,\ 0{,}4,\ -0{,}6\}$, $\mu_x = \{2,\ 0{,}7,\ 4\}$, $\mu_y = \{1,\ 1,\ 2{,}7\}$.

Реализации сигналов имеют 100 тыс. отсчетов. Результаты моделирования приведены в таблице. Для пункта №2 таблицы построены двумерная гистограмма, усредненная по 20 выборкам, и задаваемая ПРВ ШК, определяемая (1) (Рис. 2).

Таблица

Результаты численного моделирования

	Задаваемые параметры ПРВ ШК				Оценки параметров ПРВ моделируемых ШК			
№	m_x	μ_x	m_y	μ_y	m'_x	μ'_x	m'_y	μ'_y
1	0,5	2	0	1	0,498	2,012	0,016	0,992
2	-0,2	0,7	0,4	1	-0,21	0,703	0,406	1,006
3	-0,5	4	-0,6	2,7	-0,499	4,014	-0,6	2,684
	Параметры модели							
	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	r_x	r_y		
1	1,581	0,707	1,581	0,707	0,447	0		
2	0,755	0,86	0,512	0,583	-0,354	-0,08		
3	0,1	0,273	0,302	0,821	0,808	0,562		

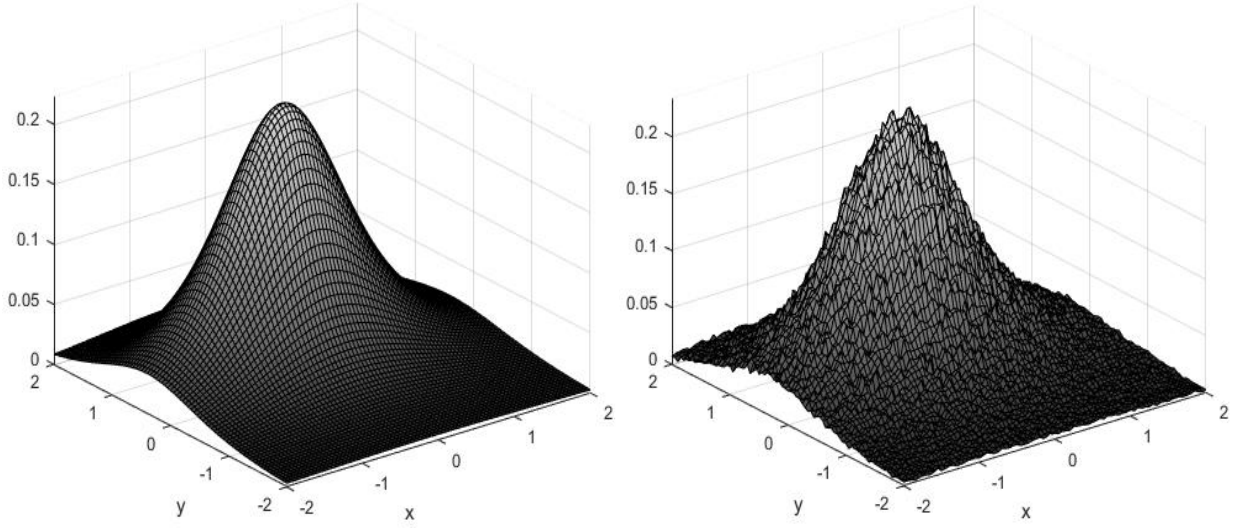


Рис. 2 Теоритическая и экспериментальная двумерные функции распределения ШК для (m_x, μ_x, m_y, μ_y) = (-0,2, 0,7, 0,4, 1)

Как видно из таблицы, полученные в результате моделирования оценки параметров ПРВ ШК совпадают с задаваемыми величинами с точностью до тысячных. Двумерная гистограмма ШК имеет хорошее соответствие с задаваемой совместной ПРВ азимутальных и угломестных ШК.

Заключение

Данная работа демонстрирует возможность применения частично-когерентной модели для имитации ШК одномерно по двум угловым координатам. Разработанный алгоритм математического моделирования показывает хорошие результаты: параметры двумерной функции распределения моделируемых ШК соответствуют задаваемым величинам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Островитянов Р. В., Басалов Ф. А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.

2. Справочник по радиолокации / Под ред. М. И. Сколника. Пер. с англ. под общей ред. В. С. Вербы. В 2 книгах. - М.: Техносфера, 2014.

3. Модель распределенного радиолокационного объекта, составленного из излучателей коррелированных сигналов/ Т.И. Сабитов, А.В. Киселев, М.А. Степанов//Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая. - 2017. - вып. 4. - С. 40-43.

4. Подкопаев А. О., Степанов М. А., Тырыкин С. В. Четырехточечная модель двухмерного распределенного объекта на основе излучателей коррелированных сигналов // Радиопромышленность. 2018. Т. 28, № 4. С. 28–34.

5. 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.

MATHEMATICAL SIMULATION OF PARAMETERS OF THE ANGLE NOISES JOINT DISTRIBUTION FUNCTION

***Sabitov Timur Ilyasovich*[1]**, student, e-mail: sti0@mail.ru

***Stepanov Maxim Andreevich*[1]**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of radio receiving and radio transmitting devices, e-mail: m.stepanov@corp.nstu.ru

***Kiselev Alexey Vasilyevich*[1]**, Doctor of Engineering Sciences, a professor, head of the Department of radio receiving and radio transmitting devices, e-mail: a.kiselev@corp.nstu.ru

[1]Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract

This article discusses the simulation of the signals reflection from distributed radar objects. We investigated the configuration of the 4-point partially coherent model allowed to simulate the parameters of the joint distribution function of the azimuth and elevation angle noises. Expressions for calculating the parameters of the radiated signals are given. Basing on these expressions we developed the mathematical simulation algorithm. We carried out several numerical experiments as a result of which we obtained the histograms and the estimates of the parameters of the angle noise two-dimension distribution function. Obtained results indicate the reliability of the simulation.

Keywords: distributed object, joint distribution function, angle noise, simulation

УДК 621.396

АППРОКСИМАЦИЯ ЗНАЧЕНИЯ ОТСЧЕТА В ПОЛОСЕ ПЕРЕХОДА ДЛЯ МЕТОДА ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ

Савиных Иван Сергеевич*[1]*, канд. техн. наук, доцент,

Орынбекова Нургул Аскербековна*[1]*, магистрант

[1]Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. 346-15-46

Савиных И.С., e-mail isavinykh@mail.ru
Орынбекова Н.А., e-mail nur.03101995@gmail.com
Адрес для корреспонденции: ***Савиных Иван Сергеевич,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-15-46

Аннотация: Рассмотрен расчет коэффициентов КИХ-фильтров методом частотной выборки. Для фильтров нижних частот вычислено значение переходного коэффициента, соответствующего минимальному значению подавления в полосе заграждения. Осуществлена аппроксимация значения переходного коэффициента от ширины полосы пропускания для тремя зависимостями: постоянным значением, линейной зависимостью и кубической зависимостью. Произведена оценка минимального подавления в полосе заграждения и максимальной неравномерности в полосе пропускания для рассмотренных аппроксимаций.

Ключевые слова: фильтр нижних частот, метод частотной выборки, переходной коэффициент, аппроксимация.

1. Введение

Одним из методов, используемых при проектировании фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтров) является метод частотной выборки [1 – 3]. В этом случае отсчеты импульсной характеристики являются также коэффициентами фильтра. Для их расчета вычисляется обратное дискретное преобразование Фурье (ДПФ) от задаваемой идеализированной амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). При задании идеализированной АЧХ ее отсчеты в полосе пропускания полагаются равными единице, в полосе заграждения – нулю, а в полосе перехода задаются отсчеты, значение которых определяется исходя из условия максимизации минимального затухания в полосе заграждения.

К недостаткам метода частотной выборки относится необходимость расчета значений отсчетов в полосе перехода, в результате чего, в общем случае, требуется применения итерационной вычислительной процедуры. Это усложняет процедуру проектирования КИХ-фильтров методом частотной

выборки. Для устранения указанного недостатка предлагается использовать аппроксимационные соотношения для расчета значений отсчетов в полосе перехода. С целью демонстрации возможности и эффективности и недостатков такого подхода целесообразно выбрать относительно простой случай. Каковым считается проектирование фильтра нижних частот с одним отсчетом в полосе перехода [4].

Цель работы – при использовании метода частотной выборки для фильтра нижних частот с одним отсчетом в полосе перехода получить аппроксимационные соотношения для расчета значения этого отсчета.

2. Аппроксимация значений отсчетов в полосе перехода

Для получения аппроксимационных соотношений необходимо прежде всего получить исходные данные, по которым будет осуществляться аппроксимация. Поэтому было разработано программное обеспечения позволяющее вычислять значение отсчета в полосе перехода при условии минимального затухания в полосе заграждения фильтра нижних частот. Порядок фильтра (N) полагался нечетным и задавался в диапазоне от 7 до 75, а полоса пропускания (BW) изменялись от 0 до $BW_{\max}$

$$BW_{\max} = \alpha - M - 1, \qquad \alpha = \frac{N-1}{2},$$

где M – количество отсчетов в полосе перехода (в данном случае M=1).

Полученные данным были проанализированы и предложено три вида аппроксимации значения отсчета в полосе перехода от ширины полосы пропускания фильтра нижних частот: константой (1), линейной (2) и кубической (3) зависимостями:

$$T_0(BW) = 0{,}391, \tag{1}$$

$$T_1(BW) = 0{,}391 - 0{,}076\left(\frac{BW}{BW_{\max}} - \frac{1}{2}\right), \tag{2}$$

$$T_3(BW) = 0{,}391 - 0{,}304\left(\frac{BW}{BW_{\max}} - \frac{1}{2}\right)^3, \tag{3}$$

3. Анализ ошибок аппроксимации

При аппроксимации значения отсчета в полосе перехода константой, линейной и кубической зависимостями максимальное значение модуля абсолютной ошибки значения отсчета для всех рассмотренных значений порядков фильтра (от 7 до 75) не превысило 0,04, 0,034 и 0,026 соответственно.

При аппроксимации значения отсчета в полосе перехода константой, линейной и кубической зависимостями минимальное значение подавления в полосе заграждения составило не более 34, 37 и 38 дБ соответственно.

Во всех случаях максимальное значение неравномерности в полосе перехода не превысило 0,75 дБ.

4. Выводы

Рассмотрен метод частотной выборки для фильтра нижних частот при одном отсчете в полосе перехода.

Осуществлен поиск оптимальных значений отсчета в полосе перехода при различных значениях количества коэффициентов фильтра и величинах ширин полос пропускания. Произведена аппроксимация полученных данных постоянной, линейной и кубической зависимостями. Проанализированы ошибки рассмотренных аппроксимаций.

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. Antoniou A. Digital Signal Processing. McGraw-Hill, 2006. - 966 p.

4. Rabiner L. R., Gold B. and McGonegal C. A, An approach to the approximation problem for nonrecursive digital filters, IEEE Trans. Audio Electroacoustics, Vol. 18, Issue 2, Jun 1970, pp. 83 – 106.

APPROXIMATION OF THE TRANSITION COEFFICIENT FOR THE FREQUENCY SAMPLING METHOD

Savinykh Ivan Sergeevich[1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor

e-mail isavinykh@mail.ru**,**

Orynbekova Nurgul Askerbekovna[1], Master's Degree student

e-mail nur.03101995@gmail.com

[1]Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: The calculation of the coefficients of FIR filters by frequency sampling is considered. For low-pass filters, the value of the transition coefficient corresponding to the minimum attenuation value in the stop band was calculated. The transition coefficient is approximated by the bandwidth for three relationships: a constant value, a linear relationship, and a cubic relationship. The estimation of the minimum attenuation in the stopband and the maximum irregularity in the passband for the considered approximations was produce.

Keywords: low pass filter, frequency sampling method, transition coefficient, approximation.

УДК 621.396

СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КИХ-ФИЛЬТРА МЕТОДОМ ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ

Савиных Иван Сергеевич*[1], *канд. техн. наук, доцент, Орынбекова Нургул Аскербековна*[1], *магистрант

[1]Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. 346-15-46

Савиных И.С., e-mail isavinykh@mail.ru
Орынбекова Н.А., e-mail nur.03101995@gmail.com
Адрес для корреспонденции: ***Савиных Иван Сергеевич,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-15-46

Аннотация: Рассмотрен расчет коэффициентов КИХ-фильтра методом частотной выборки для фильтра нижних частот и одного отсчета в полосе перехода. Для этого случая получено соотношение для расчета коэффициентов КИХ-фильтра при произвольном значении полосы пропускания. По полученным соотношениям построены импульсная и амплитудно-частотная характеристики.

Ключевые слова: фильтр нижних частот, метод частотной выборки, переходной коэффициент, коэффициенты фильтра, полоса пропускания.

1. Введение

Метод частотной выборки является одним из основных методов, используемых при проектировании КИХ-фильтров, в том числе фильтров нижних частот [1 - 3]. Основным недостатком классического варианта метода частотной выборки является невозможность точного контроля полосы пропускания [2].

Предлагается получить аналитические соотношения для расчета коэффициентов фильтра нижних частот при дискретных значениях граничной частоты полосы пропускания и распространить их на непрерывный случай.

Цель работы – получить соотношения для расчета коэффициентов КИХ-фильтра методом частотной выборки для произвольного значения граничной частоты полосы пропускания фильтра нижних частот.

2. Теория

При нечетном порядке фильтра (N) отсчеты амплитудно-частотной характеристики фильтра нижних частот с учетом ее симметрии относительно нуля и одной точке в полосе перехода для метода частотной выборки можно определить из следующего соотношения.

$$H[k]=\begin{cases}1, & \text{при } |k|\le BW;\\ T, & \text{при } |k|=BW+1;\\ 0, & \text{при } |k|>BW+1,\end{cases} \quad k\in[-\alpha;\alpha] \quad \alpha=\frac{N-1}{2}, \tag{1}$$

где BW – ширина полосы пропускания в отсчетах.

Отчеты импульсной характеристики, которые для КИХ-фильтра являются его коэффициентами, можно рассчитать исходя применяя обратное дискретное преобразование Фурье

$$h[n]=\frac{1}{N}\sum_{-\alpha}^{\alpha}H[k]\exp\left(j\frac{2\pi k(n-\alpha)}{N}\right). \tag{2}$$

Подставляя (1) в (2) и производя преобразования используя соотношения для суммы геометрической прогрессии, получим следующее выражение.

$$h[n]=\frac{1}{N}\left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi\left(BW+\frac{1}{2}\right)(n-\alpha)}{N}\right)}{\sin\left(\frac{\pi(n-\alpha)}{N}\right)}+2T\cos\left(\frac{2\pi(BW+1)(n-\alpha)}{N}\right)\right). \tag{3}$$

Разрешая неопределенность в (3), возникающую при $n=\alpha$ через предел и переходя к непрерывному (вещественному) значению полосы пропускания (f_{BW}, бин) получаем соотношение (4) для расчета коэффициентов фильтра нижних частот при произвольном значении полосы пропускания:

$$h[n]=\frac{1}{N}\left(2\left(f_{BW}+\frac{1}{2}\right)+2T\cos\left(\frac{2\pi(f_{BW}+1)(n-\alpha)}{N}\right)\right), \text{ при } n=\alpha; \tag{4}$$

$$h[n]=\frac{1}{N}\left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi\left(f_{BW}+\frac{1}{2}\right)(n-\alpha)}{N}\right)}{\sin\left(\frac{\pi(n-\alpha)}{N}\right)}+2T\cos\left(\frac{2\pi(f_{BW}+1)(n-\alpha)}{N}\right)\right),\ \text{при}\ n\neq\alpha.$$

3. Математическое моделирование

Для демонстрации полученного соотношения были построены импульсная (рис.1) и амплитудно-частотная (рис.2) характеристики фильтра нижних частот для порядка фильтра N=25, граничной частоты полосы пропускания f=4,2 бин и значения отсчета в полосе перехода T=0,392.

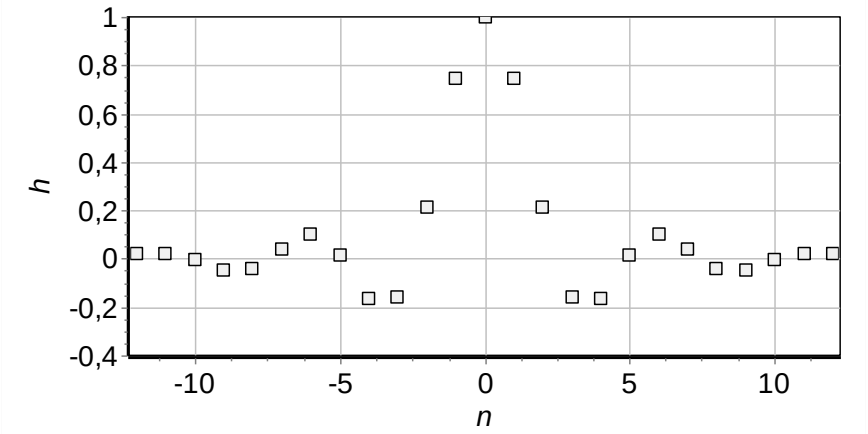


Рисунок 1– Импульсная характеристика рассмотренного ФНЧ

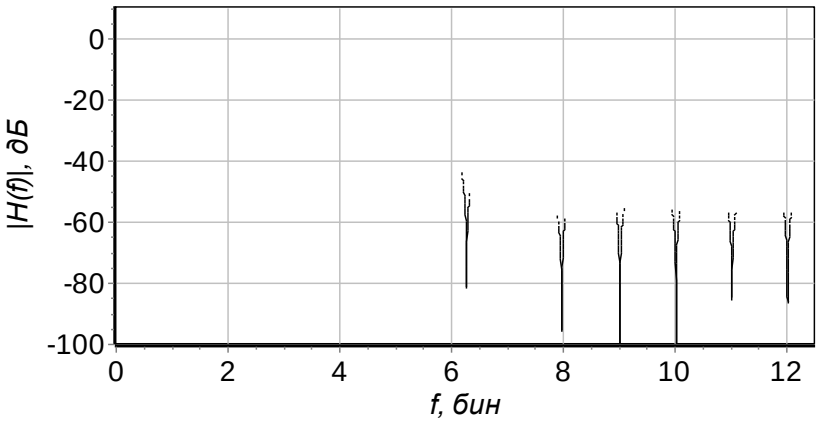


Рисунок 2 – Амплитудно-частотная характеристика рассмотренного ФНЧ

4. Выводы

Получено соотношение для расчета коэффициентов фильтров нижних частот методом частотной выборки. Произведено математическое моделирование, продемонстрировавшее адекватность полученных соотношений.

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. Antoniou A. Digital Signal Processing. McGraw-Hill, 2006. - 966 p.

RELATIONSHIPS FOR CALCULATION OF FIR FILTER COEFFICIENTS BY THE FREQUENCY SAMPLING METHOD

Savinykh Ivan Sergeevich[1], Ph.D. (Engineering), Associate Professor

e-mail isavinykh@mail.ru**,**

Orynbekova Nurgul Askerbekovna[1], Master's Degree student

e-mail nur.03101995@gmail.com

[1]Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: The calculation of the coefficients of the FIR filter by the method of frequency sampling for the low-pass filter and one sample in the transition band is considered. For this case, a relationship has been obtained for calculating the FIR filter coefficients for an arbitrary value of the passband. According to the obtained relations, the impulse and amplitude-frequency characteristics are plotted.

Keywords: low pass filter, frequency sampling method, transition coefficient, filter coefficients, bandwidth.

УДК 621.396.1

ИМИТАЦИЯ ЭХОСИГНАЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВАРИАНТНЫХ ОТСЧЕТОВ

Чан Суан Хай, аспирант;

научный руководитель: Киселев А.В., д.т.н, профессор

Новосибирский государственный технический университет, г Новосибирск,
tranxuanhai2107@gmail.com

Аннотация.

В данной работе дано понятие инвариантного сигнала применительно к задаче имитации эхосигналов РЛС. Определены общие соотношения для расчета отсчетов эхосигнала при линейной частотной модуляции (ЛЧМ). Получены соотношения для расчета отчетов инвариантного сигнала. Сформулированы преобразования инвариантного в имитируемый сигнал.

Ключевые слова: имитация, инвариантный сигнал, тренажер, ЛЧМ.

Введение

Тренажер является одним из важнейших элементов для обучения операторов, обслуживающих РЛС [1]. При этом воспроизводимая ими информация о целях и помехах должна быть в реальном времени. Устройство, обеспечивающее эту функцию, называется имитатор эхосигналов и помех. Как правило, сегодняшние имитаторы разрабатывается на основе применения цифровой вычислительной техники. Вместе с тем, чем больше их возможности, тем выше цены. Выход из этого положения представляется в использовании путей, позволяющих требования к вычислительным средствам имитатора за счет использования оригинальных алгоритмов расчета имитируемых эхосигналов и помех. В частности, алгоритмов, основанных на использовании инвариантных сигналов – рассчитываемых заранее (до начала имитации) сигналов, характеристики которых подходят для всех имитируемых ситуаций и из отсчетов которого путем простых преобразований получается имитируемый сигнал.

Целью даной работы является разработка предложения по использованию инвариантных сигналов для имитации эхосигналов наземных РЛС, использующих зондирующие импульсы с линейной частотной модуляцией.

Общие соотношения для эхосигнала при ЛЧМ

Рассмотрим ЛЧМ зондирующий сигнал (ЗС), имеющий огибающую прямоугольной формы. Пусть он имеет длительность $\tau_{и}$, девиацию частоты $\Delta f_{дев}$, а мгновенная частота имеет закон изменения [2-4]:

$$\omega(t) = 2\pi(f_0 + \mu t), t \in \left[\frac{-\tau_и}{2}, \frac{\tau_и}{2}\right],$$

(1)

где $\mu = \frac{\Delta f_{дев}}{\tau_и}$ – скорость изменения частоты во времени (крутизна ЛЧМ); f_0- несущая частота.

Он ЗС имеет математическую модель:

$$u(t) = U_1 rect\left[\frac{t}{\tau_и}\right] exp(j(2\pi(f_0 t + \frac{\mu t^2}{2}) + \varphi_0)),$$

(2)

где $U_1 rect\left[\frac{t}{\tau_и}\right]$ - амплитудная огибающей ЗС; φ_0 - начальная фаза.

Мгновенная частота эхосигналов будет модулирована по такому же закону, но сдвинется относительно частоты ЗС на величину доплерской частоты $f_д$ [5].

$$\omega_{отр}(t) = 2\pi((f_0 + f_д)(t - t_з) + \frac{\mu(t-t_з)^2}{2}).$$

(3)

Тогда (с учетом задержки на распространение) имитатор должен формировать отраженный сигнал:

$$u(t) = U_2 rect\left[\frac{t-t_з}{\tau_и}\right] exp(j(2\pi((f_0 + f_д)(t - t_з) + \frac{\mu(t-t_з)^2}{2}) + \varphi))$$

(4)

где $U_2, \varphi, t_з$- амплитуда, фаза и время задержки эхосигналов

Соотношение для расчета отчетов инвариантного сигнала

При рассмотрении механизма формирования отраженного сигнала предполается, что цель представляет собой совокупность отражающих точек [6], эхосигналы от которых расположены в интервале времени от начальной точки $\tau_0(t)$, соответствующей ближней к РЛС точке и далее с приращениями $\Delta\tau_i$, где i - номер отражающей точки. Кроме того, эхосигналы от них имеют доплерские смещения частоты $\Delta f_{дi}$.

$$\begin{cases} 0 \le \Delta\tau_i \le \tau_{раз} = \frac{2\Delta R}{c}; \\ f_{дмин} \le \Delta f_{дi} \le f_{дмакс}. \end{cases}$$

(5)

где ΔR, $f_{дмин}$, $f_{дмакс,}$- разрешающая способности по дальности, минимальная и максимальная доплеровские частоты.

Установим соотношения для инвариантных отсчетов.

- В первым случае $\Delta\tau_i = 0$ и $f_{дi} \neq 0$.
  Тогда девияция инвариантного сигнала должена быть равна значению девиации ЗС с дабавлением $\Delta f = f_{дi}$.
- В втором случае $\Delta\tau_i \neq 0$ и $f_{дi} = 0$.
  Тогда $\Delta f = \mu\Delta\tau_i$.
- В третьем случае $\Delta\tau_i \neq 0$ и $\Delta f_{дi} \neq 0$.

$$\Delta f = f_{дi} + \mu \Delta \tau_i.$$

Таким образом диапазон изменения параметров инвариантного сигнала:

- $\Delta \tau_i$ должна изменяться в диапазоне от 0 до $\frac{2\Delta R}{c}$ с шагом $\Delta \tau$;
- $f_{дi}$ должна изменяться в диапазоне от $f_{дмин}$ до $f_{дмакс}$ с шагом $\Delta f_д$.

Тогда для шага дискретизации:

$$\Delta \tau_д = \frac{\Delta f_д}{\mu}$$

(6)

$$\begin{cases} \Delta \tau_{дмин} = \frac{f_{дмин}}{\mu}; \\ \Delta \tau_{дмакс} = \frac{f_{дмакс}}{\mu}. \end{cases}$$

(7)

- Шаг дискретизации инвариантного сигнала:

$$\Delta \tau_{инв} = min(\Delta \tau_д, \Delta \tau).$$

(8)

Соотношение между параметрами инвариантного и имитируемого сигналов иллюстрируется рисунком 1.

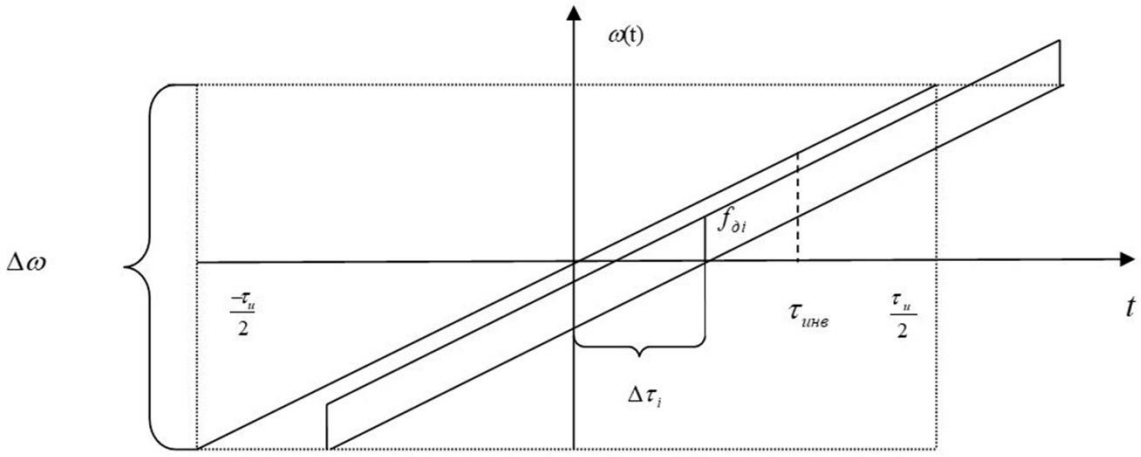


Рис 1. Соотношение между параметрами инвариантного и имитируемого сигналов

Преобразования инвариантного в имитируемый сигнал

Предложим, что имитируемый сигнал с параметрами: задержки $t_{зi}$, частоты доплера $f_{дi}$ и амплитуды A_i , формируется из инвариантного путем выборки из массива его отчетов, рассчитанных заранее.

Можно сформулировать следующие правила.

1. Из (8) , если $\Delta \tau_{инв} = \Delta \tau$, то $t_{зi} = \tau_0(t) + M\Delta \tau$, и $\tau_д = N\Delta \tau_д$ и, соответственно, имеем значение $t_{зi} = \tau_0(t) + M\Delta \tau_{инв}$ и $\tau_д = N'\Delta \tau_{инв}$, где M,N – количество отсчётов для расчета времени задержки и частоты

Доплера; $\tau_д$ – временное отношения, соответствующее доплерской частоте $N' = \frac{N\Delta\tau_д}{\Delta\tau_{инв}}$ - количество отсчётов инвариантного сигнала.

2. Если $\Delta\tau_{инв} = \Delta\tau_д$ тогда $t_{зi} = \tau_0(t) + M\Delta\tau$ и $\tau_д = N\Delta\tau_д$ и, соответственно, имеем $t_{зi} = \tau_0(t) + M'\Delta\tau_{инв}$ и $\tau_д = N\Delta\tau_{инв}$,где $M' = \frac{M\Delta\tau}{\Delta\tau_{инв}}$ - количество отсчётов инвариантного сигнала.

Таким образом при заданных требуемых значениях задержки и доплерской частоты, для формирования имитируемого сигнала достаточно выбрать отсчеты из заранее подготовленных массивов отсчётов инвариантного сигнала.

Заключение

Полученный результат могут быть использованны при формирования эхосигналов от цели в имитаторах, используемых в комплексных тренажёрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романов А. Н., *Тренажеры для подготовки операторов РЛС с помощью ЭВМ*.- М.: Воениздат,1980, 126 с.

2. F.E. Nathanson, *Radar Design Principles*, Second Edition, SciTech Publishing, Inc.,1999.

3. Merrill. I. Skolnik, *Radar Handbook*, Third Edition, McGraw-Hill Education, 2008.

4. Ч. Кук, М. Бернфельд. *Радиолокационные сигналы*. Пер. с английского под ред. В. С. Кельзона. – М.: Изд-во «Советское радио», 1971, стр. 568.

5. Супряга Н. П. *Радиолокационные средства непрерывного излучения* - М.,Воениздат, 1974 г,182 с.

6. Тверской Г.Н., Трентьев Г.К., Харченко И.П. *Имитаторы эхосигналов судовых радиолокационных станций*. - СПБ.: Судостроение, 1973, 224 с.

SIMULATING ECHO SIGNALS OF RADAR STATIONS BASED ON THE USE OF INVARIANT COUNTS

Chang Xuan Hai, PhD student, supervisor: A.V. Kiselev, doctor of technical Sciences, Professor

Novosibirsk state technical University, Novosibirsk,
tranxuanhai2107@gmail.com

Abstract.

In this paper, the concept of an invariant signal is given. The general echo signal ratios for linear frequency modulation (LFM) are determined. Relations for calculating reports of an invariant signal are obtained. Formed transformations of the invariant to the simulated signal.

Key words*:* simulation, invariant signal, simulator, LFM.

СЕКЦИЯ: РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

УДК 537.876.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩЕНИЯ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ В ANSYSMAXWELL

Эрик Эрикович Анцупов, студент; Любовь Васильевна Шебалкова, старший преподаватель кафедры АИУС: Валерий Павлович Ющенко, профессор кафедры АИУС

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7(383)3462623
Анцупов Э.Э.,e-mail: antsupoverik@yandex.ru
Шебалкова Л.В., e-mail:shebalkova@corp.nstu.ru
Ющенко В.П., e-mail:yushhenko@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: ***Анцупов Эрик Эрикович,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 3462623

Аннотация: В докладе рассмотрена задача генерации электродвижущей силы в катушке индуктивности при ее вращении в магнитном поле земли. Для получения модели данного процесса был использован программный продукт ANSYS Maxwell, результаты моделирования были сравнены с результатами эксперимента

Ключевые слова: Численные методы, метод конечных элементов, катушка индуктивности

Простейшим способом определения частоты вращения различных динамических объектов, вращающихся в постоянном однородном магнитном поле Земли, является использование датчика оборотов пассивного типа, представляющего собой катушку индуктивности. При вращении вместе с изделием в катушке индуктивности будет генерироваться электродвижущая сила (ЭДС) в соответствии с законом Фарадея [1]:

$$\varepsilon = -\frac{d\Psi}{dt}, \qquad (1)$$

где Ψ–потокосцепление.

После дифференцирования выражение (1) примет вид:

$$\varepsilon = \mu\mu_0\omega NSH\cos(\alpha)\sin(\omega t), \qquad (2)$$

гдеμ – относительная магнитная проницаемость сердечника, μ_0– магнитная постоянная, ω – угловая скорость,N–количество витков, H–напряженностьмагнитного поля Земли, α – угол между нормалью к плоскости поперечного сечения катушки S и вектором магнитной индукции B.

Формулу (2) возможно использовать для предварительных расчетов, но для получения более точных значений наведенной ЭДС, учитывающих зависимость относительной магнитной проницаемости сердечника от его габаритов и гистерезисферромагнитных материалов, можно использовать программу электромагнитного моделирования ANSYSMaxwell. Для моделирования былf использована среда ANSYSMaxwell 3D с решателемEddyCurrent.

Для моделирования переменного магнитного поля в окне3DModelerрисуется объект Box, на 4 сторонах которого задаетсяграница TangentialHField, равная 40 А/м (средняя напряженность поля Земли), на верхней и нижней стороне задаетсяZeroTangentialHField. Внутрь объекта Box помещается 3Dмодель катушки (рисунок 1), задаются параметры материалов и определяется плоскость сечения, через которую будет рассчитан поток векторного поля. Частота задается в окне Setup, в нашем случае она равна 10 Гц.ANSYS Maxwell решает задачу с помощью метода конечных элементови находит комплексное векторное поле B. Далее находим магнитный поток через калькулятор поля по формуле[2]:

$$\Phi = \iint_{\sigma} BdS.$$

Так как поле комплексное, то находим отдельно реальную и мнимую часть потока.Конечный этап нахождения ЭДС так же проводим в калькуляторе поля, используя формулу:

$$\varepsilon = -j\omega N(\mathrm{Re}(\Phi) + j\,\mathrm{Im}(\Phi)).$$

Значение, полученное в результате моделирования, оказалось равным 36,4 мВ.

Для подтверждения компьютерной модели, были проведены измерения наведенной ЭДС на реальной катушке индуктивности (рисунок 2). Число витков катушки – 4000, сердечник изготовлен из углеродистой конструкционной стали марки 10 с относительной магнитной проницаемостью примерно 50. Вращение магнитного поля создавалось с помощью колец Гельмгольца.

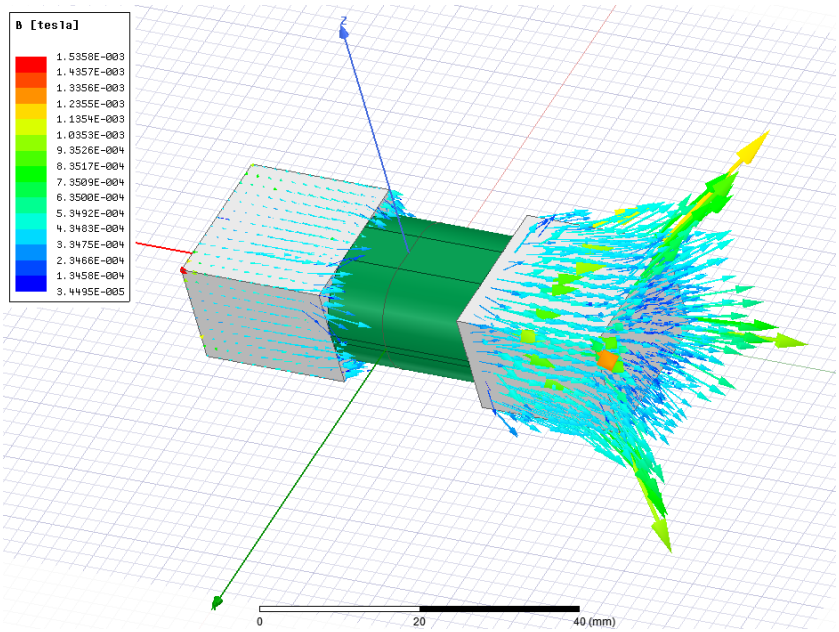


Рис. 1. 3D модель реальной катушки индуктивности и распределение поля B внутри сердечника

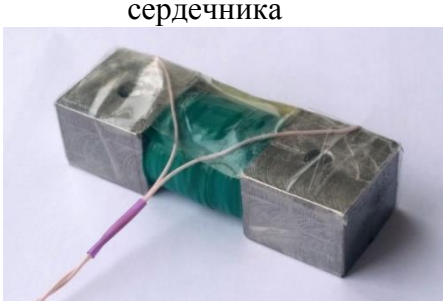


Рис. 2. Реальная катушка индуктивности

Выводы: Результат измерений наведенной ЭДС показал значение 31,7 мВ, что довольно близко к результату моделирования. Разность в 4.7 мВ можно объяснить погрешностью измерений, вызванных внешними помехами и неизвестным точным значением магнитной проницаемости сердечника.

Библиографический список:

1. Иродов И. Е.Электромагнетизм. Основные законы. Учеб. пособие для студентов вузов.–7-е, изд.– М.: 2009.-309 с.
2. ANSYSElectromagneticsSuite 19.0. ANSYS MAXWELLonlineHelp

ANSYS MAXWELL MODELLING OF THE INDUCTOR ROTATION BY THE EARTH'S MAGNETIC FIELD

Antsupov Eryk Erikovich, ***Student, e-mail*** ***antsupoverik@yandex.ru***
Shebalkova Lyubov Vasilevna, **assist. prof.** ***of AICS Dep. e-mail*** ***shebalkova@corp.nstu.ru***
Yushchenko Valeriy Pavlovich, full prof. ***of AICS Dep. e-mail*** ***yushhenko@corp.nstu.ru***

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Abstract – The problem of electromotive force generationin the inductor during its rotation in the earth's magnetic field is considered in the thesis.To obtain a model of this process, the ANSYS Maxwell software product was used, the simulation results were compared with the experimental results.

Keywords – Numerical methods, finite element method, inductor

УДК 004.932.72

МЕТОД КОМПИЛЯЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ

Баранова Дарья Константиновна, студент;

Борисова Ирина Валентиновна, канд. техн. наук; Гибин Игорь Сергеевич, д.т.н.

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
Баранова Д.К., e-mail da180197@yandex.ru
Борисова И.В., e-mail i.v.borisova@corp.nstu.ru
Адрес для корреспонденции: ***Борисова Ирина Валентиновна,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, 7 корпус, к. 707, тел. (383)3462623

Аннотация: Рассматривается метод слияния изображений нескольких каналов, сохраняющий основные детали всех исходных изображений. Метод основан на добавлении к опорному изображению контраста из канала с самым большим перепадом яркости в текущей окрестности. Анализ перепадов яркости выполняется с помощью градиентного оператора.

Ключевые слова: слияние изображений, многосенсорные системы, спектр Фурье, перепад яркости, обработка изображений.

1. Введение

В настоящее время широкое распространение получили комплексные многосенсорные системы наблюдения и обнаружения целей, способные работать в условиях сильных естественных и искусственных помех. Такие системы работают в условиях плохой видимости, маскировки целей и применения средств радиоэлектронного противодействия. Эффективность системы увеличивается за счет совместного использования информации, получаемой от различных каналов. В состав оптико-электронной аппаратуры включаются телевизионный, тепловизионный (в нескольких диапазонах), лазерный и другие каналы. Слияние информации из разных каналов может выполняться на различных уровнях: слияние на уровне решений, слияние признаков, слияние данных. В данной работе рассматривается слияние данных с получением интегрированного изображения наблюдаемой сцены.

Интеграция изображений (компиляция) позволяет получить информацию, которая недоступна при раздельном и последовательном анализе каждого из каналов. Главной проблемой компиляции изображений для визуального отображения является «сохранение рисунка»: на результирующем сводном изображении должны быть представлены важные детали из всех объединяемых

изображений, а сама процедура компиляции не должна вносить искажений. Визуальное качество компилированного изображения должно быть не хуже качества исходных изображений. Метод компиляции должен обеспечивать работу с любым количеством каналов наблюдения, независимо от их спектрального диапазона и сочетания.

2. Методы слияния изображений

Ранние алгоритмы получения компилированного монохромного изображения были основаны на суммировании исходных изображений с некоторыми весовыми коэффициентами. Однако процесс слияния должен не только объединять информацию различных каналов в единое выходное изображение, но и выделять наиболее существенные части изображений на основе информативных (по выбранному критерию) признаков.

В [1] предложен эвристический алгоритм, включающий объединение максимальных по модулю контрастов вдоль строки. К результату такого объединения добавляется линейная комбинация интегрированных изображений. Этот алгоритм зависит от порядка входных изображений. За первый (опорный) принимается кадр, лучший по качеству в смысле минимума среднего квадратического отклонения (СКО) шумов. Критерий выбора изображения, поставляющего дополнительный контраст - максимум отношения модуля приращения яркости к СКО шума. Контрасты, отсутствующие в опорном кадре, будут добавлены из остальных изображений. Данный алгоритм не учитывает контрасты по столбцу, что вызывает артефакты в виде полос.

Существенно лучшее качество интегрированного изображения получается при анализе двумерных окрестностей. Известные алгоритмы, формирующие компилированное изображение, основаны на выделении тем или иным методом яркостных перепадов в каждом из исходных изображений и объединении их в интегрированном изображении. Информация о средней яркости может поступать из одного (как правило, выбранного заранее) канала или собираться как среднее значение по всем каналам. Хорошие результаты дает выделение яркостных перепадов, основанное на вейвлет-анализе [2], субполосном кодировании [3] или анализе спектра Фурье.

В [4] рассмотрен метод компиляции изображений, основанный на анализе спектра Фурье локальной окрестности каждой точки. Например, для k исходных изображений анализируются локальные окрестности точки (x, y) – $u_1(x, y)$, $u_2(x, y)$, …, $u_k(x, y)$. Рассчитывается суммарная энергия спектра Фурье в четырех направлениях. Анализ отношения максимальной энергии E_m и энергии в перпендикулярном направлении E_n, позволяет определить изображение с наибольшей анизотропностью спектра. Это изображение, обозначим его $u_h(x,y)$, будет поставлять фазовую составляющую в синтезированное изображение и должно удовлетворять условию минимума отношения E_n / E_m.

Изображение $u_a(x,y)$, поставляющее амплитудную составляющую, поступает из канала, выбранного априорно. Далее производится формирование спектра окрестности компилированного изображения, выполняется обратное преобразование Фурье и выбирается одна точка с фиксированными для всего

изображения координатами. Наиболее просто восстанавливается элемент с координатами (0, 0), поскольку для его расчета нужна только нулевая частота спектров. Быстрый алгоритм компиляции имеет вид

$$u_{x,y} = \frac{1}{XY}\left(\sum_{\omega_1,\omega_2 \neq 0} \mathrm{Re}\left(F_h(\omega_1,\omega_2)\right) + F_a(0,0) \right) = u_h(x,y) + \frac{F_a(0,0) - F_h(0,0)}{XY}, \quad (1)$$

где X, Y – размеры окрестности, $u_{x,y}$ – точка (x, y) результирующего изображения, $F(\omega_1,\omega_2)$ – спектр окрестности.

3. Выделение деталей градиентным оператором

Для компиляции изображений по рассмотренному алгоритму (1) спектр Фурье требуется только на этапе выбора изображения, поставляющего детали. Как известно, анизотропность спектра окрестности говорит о наличии в этой окрестности ярко выраженного перепада яркости. Вместо энергии по направлениям будем анализировать отклики на маски градиентного оператора.

Выполним свертку текущей окрестности каждого изображения с масками пятиградационного оператора. Максимальное значение отклика покажет направление градиента яркости, будем рассматривать беззнаковый градиент:

$$\Psi_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, \Psi_2 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}, \Psi_3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \Psi_4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$G_j^i(x,y) = \left| u_i(x,y) \otimes \Psi_j \right|, \quad G_m^i(x,y) = \max_{j=1\div 4} G_j^i(x,y).$$

Анализ отклика G_m и отклика в перпендикулярном направлении G_n позволяет найти изображение с наиболее ярко выраженным перепадом яркости. Формула компиляции аналогична (1), вместо нулевой частоты спектра будем рассматривать суммарную яркость по окрестности (S):

$$h = \arg\left(\min_{i=1\div k} \frac{G_n^i}{G_m^i} \right), \; u_{x,y} = u_h(x,y) + \frac{S_a - S_h}{XY} = \frac{S_a}{XY} + \left(u_h(x,y) - \frac{S_h}{XY} \right). \quad (2)$$

Однако, исследования алгоритма по формуле (2) показали, что даже приведенные к единой средней яркости изображения, имеют в рассматриваемой окрестности разный уровень контраста. Поэтому выполняется умножение на максимальный контраст окрестности:

$$u_{x,y} = u_h(x,y) \cdot s + \frac{S_a - S_h}{XY} \cdot s, \; s = \max\left(\frac{S_h}{XY} - m_h, \frac{S_a}{XY} - m_a \right), \quad (3)$$

где m_a, m_h – глобальные средние яркости опорного изображения и изображения, поставляющего детали.

Результаты работы рассмотренного алгоритма приведены на рис. 2. Результат компиляции зависит от выбора опорного изображения $u_a(x, y)$.

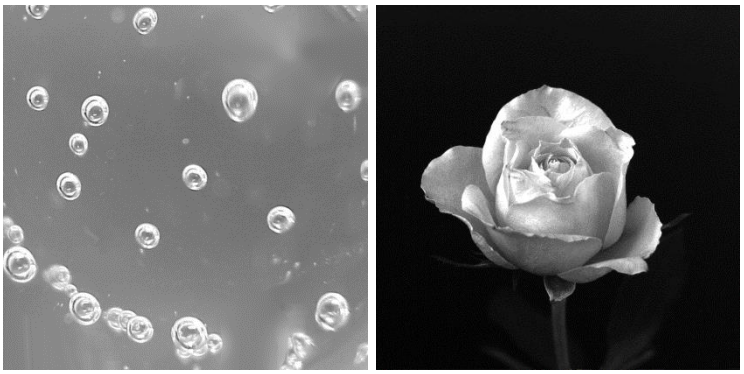


Рис. 1. Исходные изображения

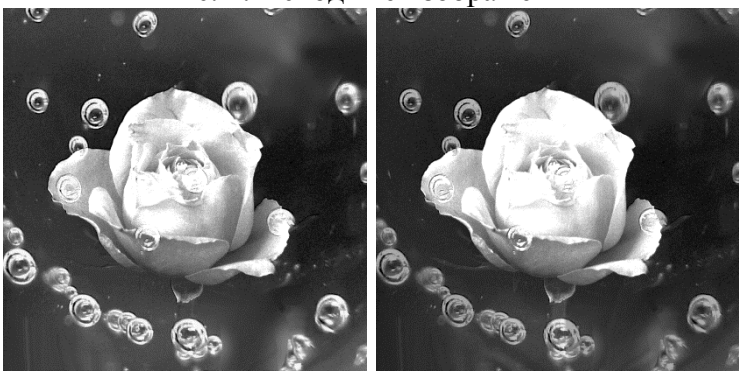


Рис. 2. Результаты компиляции с опорным изображением 1 и 2.

4. Выводы

Исследования предложенного алгоритма показали, что он не вносит искажений в формируемое изображение, на компилированном изображении присутствуют основные детали из всех исходных изображений. Алгоритм не требует задания каких-либо порогов и может использоваться при автоматической обработке изображений. Выбор канала, поставляющего опорное изображение, следует делать с учетом величины отношения сигнал/шум.

Библиографический список:

1. Шкурский Б.И. Цифровые методы обработки изображений. – М: Изд-во МЭИ, 2005.

2. Тетерин В.В., Павлова В.А., Александров В.А. Метод комплексирования информации от многоканальной системы с использованием вейвлет-спектров // Оптический журнал. – 2006. – т.73, № 10. – С.47-51.

3. Yang Y., Liu S.P., Fang S. A Local Feature Based Fusion Algorithm for Fire Detection Image // Advanced Materials Research. – 2012. – V. 588-589. – P.1081-1085.

4. Борисова И.В., Горенок В.Н., Опарин А.Н., Попов П.Г. Модуль комплексирования каналов // Прикладная физика. – 2002. – № 6. – С. 89-93.

METHOD OF IMAGE FUSION

Baranova Daria Konstantinovna, Student; Borisova Irina Valentinovna, Ph. D. ; Gibin Igor Sergeevich, Professor.

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia
Baranova D.K., e-mail da180197@yandex.ru
Borisova I.V., e-mail i.v.borisova@corp.nstu.ru

Abstract. The method of image fusion for several channels is considered. The method saves the basic details of all the original images. The brightness of the reference image is added to the contrast of the channel where the biggest brightness difference. The analysis of brightness differences is performed using the gradient operator.

Keywords: image fusion, multi-sensor systems, Fourier spectrum, brightness difference, image processing.

УДК 537.876.4

СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ БПЛА С ПРЕПЯТСТВИЕМ

Блинов Владимир Андреевич; Макарова Елена Игоревна; Дворецкий Сергей Андреевич; Легкий Владимир Николаевич, профессор кафедры АИУС

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7(383)3462623
Блинов В.А., e-mail: ***vladimir.b.a.95@yandex.ru***
Легкий В.Н., e-mail: ***sniios@mail.ru***

Адрес для корреспонденции: ***Блинов Владимир Андреевич,***
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 3462623

Аннотация: В данной работе приводятся требования к аппаратной части системы предотвращений столкновений с препятствием для небольших БПЛА типа мультикоптер, и обосновывается выбор необходимых измерительных устройств. В основе системы лежат ультразвуковые датчики.
Ключевые слова: Ультразвуковой датчик расстояния, БПЛА, Системы дистанционного управления.

Стремительное развитие малых БПЛА выявило проблему распознавание и преодоления препятствий особенно актуальна эта тема в случае автономного полёта БПЛА. Решение этой проблемы упростит создание алгоритмов анализа окружающей обстановки и автоматическое построение безопасного маршрута самим роботом.

Существующие способы ориентации БПЛА в пространстве основываются на трех принципах:

1. использование систем глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) с привязкой к карте местности;
2. использование систем машинного зрения в оптическом диапазоне электромагнитного излучения (инфракрасные камеры, стандартные камеры в видимой области спектра);
3. использование разного рода датчиков расстояния.

Системы глобального позиционирования имеют большую погрешность, которая не даёт актуальной информации об расположении объектов на пути

полёта БПЛА. Более того в закрытых помещениях или тоннелях могут вовсе не работать. А анализ множества изображений полученных от одной или нескольких камер требует высокую вычислительную мощности, которая может быть реализована на удалённой рабочей станции. Однако из-за большого расстояние до рабочей станции, появятся задержки и неточности в управлении, которые увеличивают вероятность возникновения ошибки пилотирования. Для того чтобы избежать этих проблем, БПЛАнеобходимо оборудовать специальными средствами локализации, задачей которых определить наличия препятствия на пути, и на основаниизтих данных самостоятельно принять решение о преодолении или огибании препятствия, непосредственно вмешиваясь в контур удалённого управления.

Устанавливаемая на БПЛА система определения препятствий должна соответствовать ряду требований:

1. Небольшая общая масса
2. Малое энергопотребление
3. Малое потребление вычислительных ресурсов
4. Устойчивость к ошибкам
5. Низкая стоимость

Основываясь на эти требования, осуществляется подбор необходимых элементов системы, а именно управляющей платы [1], Ультразвуковые датчики расстояния [2] и радиопередающей аппаратуры.Для оценки окружающего пространства в идеальном случае БПЛА должен контролировать полную сферу вокруг себя. Однако на практике аппарат имеет ограниченное значение ресурсов, поэтому в поле обнаружения системы технического зрения, по крайней мере, должна быть включена передняя полусфера. Выбор ультразвуковых датчиков обусловлен помимо их низкой стоимостью, простотой эксплуатации, надежностью, малымимассой итокомпотребления, также и зоной покрытия в районе 30°. Однако ультразвуковые датчики плохо обнаруживают препятствия со звукопоглощающим покрытием, поэтому целесообразно дополнить систему инфракрасным датчиком [3].У данного датчика диаметр пучка излучаемого света примерно соответствует линейным размерам излучателя.

Диаграмма направленности используемых ультразвуковых датчиковприведенана рисунке 1.

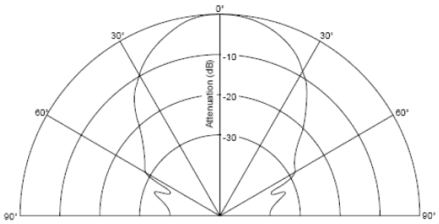


Рисунок 1.Диаграмма направленности ультразвукового дальномера

Дальномеры закрепляются на платформе таким образом, чтобы покрывать область, захватывающую несущие винты в передней полусфере мультикоптера. Таким образом достигается обнаружение препятствий в одном из самых уязвимых мест БПЛА.

Основной подход заключается в постоянном измерении расстояния до объектов в разных направлениях, и в случае достижения некоторой минимально безопасной величины, осуществляется коррекция движения аппарата.

Подля данной системы должно выполнять следующие функции

1. измерения расстояний с помощью массива ультразвуковых датчиков расстояния;
2. измерения расстояния до пола с помощью инфракрасного датчика расстояния;
3. анализ данных полученных от датчиков;
4. формирование управляющего импульса для платы стабилизации, провоцирующего движение в сторону от препятствия.

После получения данных с дальномеров, осуществляется сравнение результатов, и в случае обнаружения препятствия на расстоянии меньше минимального, управляющий контроллер в течение некоторого времени подаёт сигнал плате стабилизации, а также отключает внешний радиоканал с оператором. БПЛА корректирует свое движения, после чего внешний контур управления восстанавливает свою работу.

Литература.

1. ArduinoMega 2560 на базе микроконтроллера ATmega2560. [Электронный ресурс]. URL: https://arduinoplus.ru/arduino-mega-2560/
2. Ultra Sonic range measurement module.[Электронный ресурс].URL:https://static.chipdip.ru/lib/093/DOC001093961.pdf
1. GP2Y0A21YK0F. [Электронный ресурс].URL:http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf

THE COLLISION AVOIDANCE SYSTEM OF THE UAV WITH OBSTACLE

Blinov Vladimir Andreevich, student; Makarova Elena Igorevna, student; Dvoretskii Sergei Andreevich, student; Legkii Vladimir Nikolaevich, professor

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Blinov V. A., e-mail: vladimir.b.a.95@yandex.ru

Legkii V. N., e-mail: sniios@mail.ru

Abstract.

This paper describes hardware system for preventing collisions with an obstacle for a small type of UAV the quadcopter, and justifies the selection of the necessary measuring devices. The system is based on ultrasonic sensors.

Keywords: ultrasonic distance sensor, UAV, Remote control systems.

УДК 004.932.72

РАНГОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БОРТОВЫХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

Болотин Олег Евгеньевич, студент; Лисина Мирослава Аркадьевна, студент; Назаркина Юлия Владимировна, студент; Анцупов Эрик Эрикович, студент; Борисова Ирина Валентиновна, канд.техн.наук

Новосибирский государственный технический университет, пр. К.Маркса, 20, Новосибирск, 630073, Россия
Болотин О.Е., e-mail bolotin.95@bk.ru
Лисина М.А., e-mail mirka96@mail.ru
Назаркина Ю.В., e-mail yulya.naz11@mail.ru
Борисова И.В., e-mail i.v.borisova@corp.nstu.ru
Адрес для корреспонденции: ***Борисова Ирина Валентиновна,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, 7 корпус, к. 707, тел. (383)3462623

Аннотация: Описывается проблема отрицательного воздействия помех и шумов на восприятие и обработку различных изображений. Рассмотрены ранговые методы обработки изображений и их применение для импульсной и аддитивной модели шума. Выполнена фильтрация зашумленного изображения ранговым методом. Рассмотрено влияние выбора типа окрестности на результат фильтрации.

Ключевые слова: фильтрация шума; математическая модель; восстановление изображения; окрестность

1. Введение

В современном мире мы часто сталкиваемся с изображениями, несущими важную для нас информацию. При формировании и регистрации оптико-электронными системами изображения искажаются действием помех и шумов различного характера. Помехи и шумы затрудняют визуальный анализ изображения и его автоматическую обработку. Для того чтобы ослабить действие помех и шумов необходимо использовать различные методы фильтрации. Многообразие методов и алгоритмов фильтрации связано с большим разнообразием математических моделей сигналов и помех, а также различными критериями оптимальности.

Термин «ранговые алгоритмы» в обработке изображений появился сравнительно недавно. Однако многие давно известные алгоритмы обработки изображений фактически относятся к этому классу. Примерно с середины 70-х годов для сглаживания изображений стал использоваться алгоритм медианной фильтрации. Известны алгоритмы экстремальной фильтрации, использующие

значения минимума и максимума по окрестности. Все они являются представителями большого класса ранговых алгоритмов. В данной работе мы рассмотрим применение ранговых алгоритмов для сглаживания изображения и проанализируем влияние типа окрестности на результат фильтрации.

2. Теория

В цифровой обработке изображений широко применяются нелинейные алгоритмы на основе ранговой статистики для восстановления зашумленных изображений. Они позволяют избежать дополнительного искажения изображения при удалении шума, а также значительно улучшить результаты работы фильтров на изображениях с высокой степенью зашумленности.

Сглаживание импульсного шума требует обнаружения искаженных элементов сигнала и последующего оценивания их значений по значениям неискаженных элементов. Вообще говоря, алгоритмы сглаживания импульсных помех должны быть двухпроходовыми, с разметкой искаженных элементов на первом проходе и оценкой их сглаженных значений на втором проходе. Но для упрощения можно сделать алгоритм однопроходовым, совмещая операции обнаружения и оценивания в одном проходе [1].

Разметка элементов изображения может быть выполнена на основании проверки гипотезы о принадлежности центрального элемента окрестности той же выборке, что и большинство остальных элементов окрестности. Наиболее простым ранговым способом проверки этой гипотезы является голосование, то есть проверка попадания ранга центрального элемента в ε-окрестность медианы. Размер окрестности задается в зависимости от вероятности появления импульсных помех. Медианный фильтр является частным случаем такого подхода, основанного на предположении, что импульсная помеха, как правило, принимает экстремальные значения [2].

В отличие от импульсной, аддитивная модель шума предполагает, что наблюдаемый сигнал представляет собой сумму полезного сигнала и шума, а искажения могут быть во всех элементах. Сглаживание для аддитивной модели шума – это приведение изображения к кусочно-постоянной модели. Обычное усреднение (или взвешенное усреднение) элементов окрестности вызывает чрезмерное размытие изображение, особенно вблизи границ объектов [3]. Чтобы избежать этого, усреднение необходимо проводить по элементам только одного объекта. Таким образом, задача фильтрации шума включает в себя задачу кластеризации, как минимум в пределах рассматриваемой окрестности.

3. Виды окрестностей

Выделяется три основных типа окрестностей [1]. Окрестность по значениям, определяемая неравенством

$$c - \varepsilon_f \le f_r \le c + \varepsilon_f ,$$

окрестность по рангам, определяемая неравенством

$$r_c - \varepsilon_r \le r \le r_c + \varepsilon_r ,$$

и окрестность по K ближайшим по величине сигнала соседям, когда отбираются k+1 отсчетов в вариационном ряду, начиная с номера q

$$\min_{r_c-k\le q\le r_c}\sum_{r=q}^{q+k}\left|c-f_r\right|,$$

где f_r – вариационный ряд, построенный для текущей окрестности, r – ранг элемента, c – центральный элемент окрестности.

Рассмотрим, как влияет тип окрестности на результаты фильтрации аддитивного гауссовского шума. На рис. 1 показано исходное и зашумленное тестовое изображение, а также яркость по строке зашумленного изображения. Для тестового изображения выполнялось сглаживание путем усреднения элементов в окрестности по рангам с ε_r=3, в окрестности по значениям, ε_f было выбрано утроенному среднему квадратическому шума. Для сравнения также выполнялось усреднение элементов по окрестности 3×3. На рис. 2–4 показаны результаты сглаживания и график функции яркости по строке.

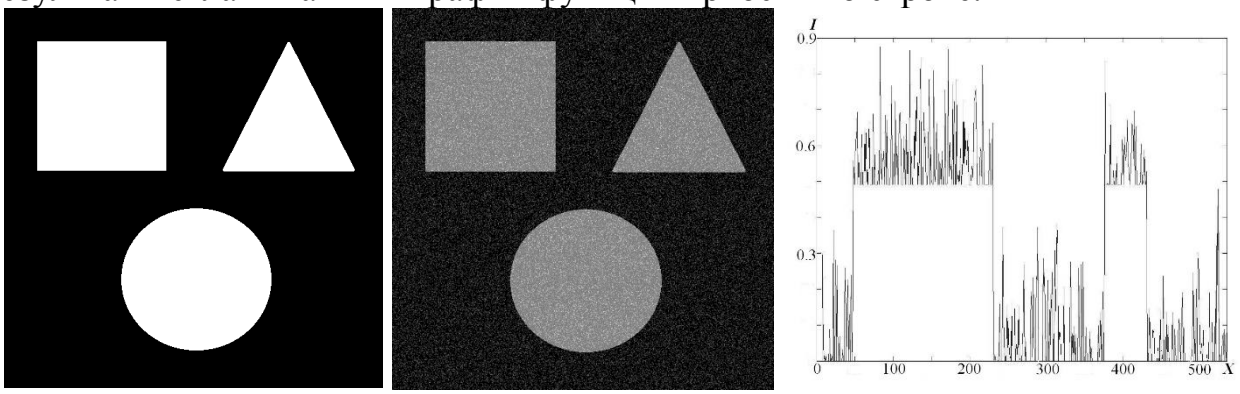


Рис. 1. Тестовое изображение

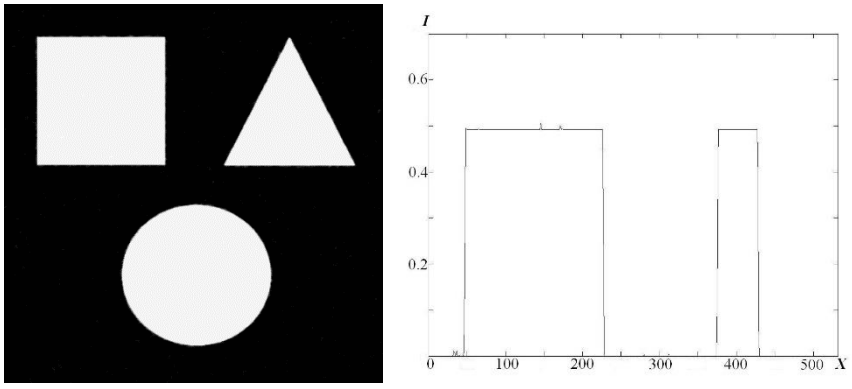


Рис.2. Сглаживание в окрестности по рангам

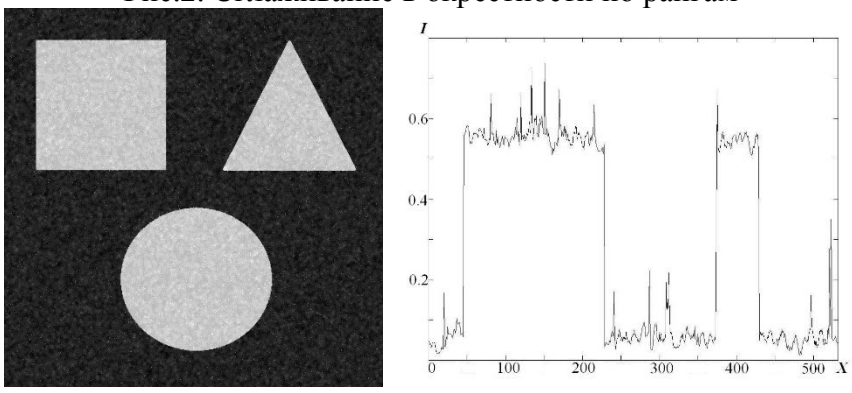


Рис.3. Сглаживание в окрестности по значениям

4. Выводы

В результате анализа сглаживания по разным типам окрестностей можно сделать вывод о том, что наиболее качественное восстановление получено при использовании окрестности по рангам. Среднее отклонение нормированной яркости (в диапазоне от 0 до 1) восстановленного изображения от исходного в этом случае было равно 0.0374 (на один элемент). Использование окрестности по значениям показало результаты на уровне усреднения по окрестности 3×3, среднее отклонение 0.1131 и 0.1350, соответственно. Для сравнения, среднее отклонение зашумленного изображения от исходного составило 0.1726.

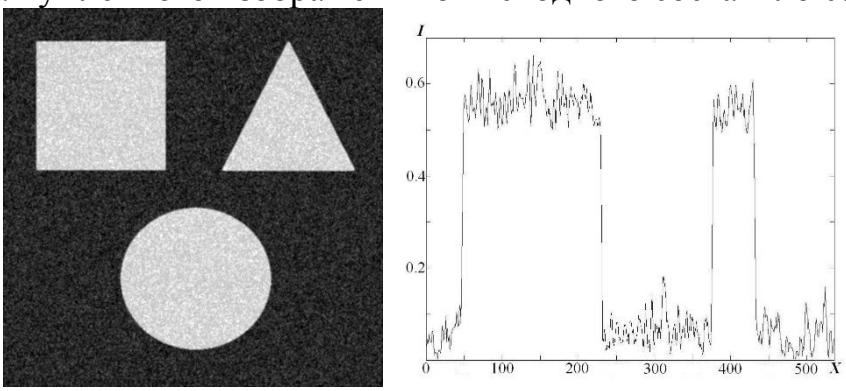


Рис.4. Сглаживание в окрестности 3×3

Библиографический список:

1. Ярославский Л.П. Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику / Л.П. Ярославский - Москва: Радио и связь, 1984.-296 с.

2. Хуанг Т. Обработка изображений и цифровая фильтрация / Т. Хуанг; пер. с англ. Е.З. Сороки и В.А. Хлебородовой -Москва: Мир, 1979 - 252 с.

3. Пространственно-временная ранговая обработка изображений в видеоинформационных системах: моногр./ М.И. Курячий, А.Г. Костевич, И.В. Гальчук. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 120 с.

RANK FILTERING OF IMAGES

Bolotin Oleg Evgenyevich, Lisina Miroslava Arkadyevna, Nazarkina Julia Vladimirovna, Antsupov Eric Erikovich, Borisova Irina Valentinovna
Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia
Bolotin O.E., Student, e-mail bolotin.95@bk.ru
Lisina M.A., Student, e-mail mirka96@mail.ru
Nazarkina J.V., Student, e-mail yulya.naz11@mail.ru
Borisova I.V., , Ph. D. e-mail i.v.borisova@corp.nstu.ru

Abstract. The problem of the negative impact of noise on the perception and processing of different images is described. The ranking methods of image processing and their application to the impulsive and additive noise models are considered. Filtration of the noisy image by a rank method is made. The influence of the neighborhood type on the filtration result is considered.

Key words: noise filtering; mathematical model; image restoration; neighborhood type

УДК 623.746.-519

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАНИРУЮЩЕГО ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Дворецкий Сергей Владимирович, магистрант, Назаркина Юлия Владимировна, магистрант, Макарова Елена Юрьевна, магистрант
Научный руководитель: к.т.н. доцент Русский Евгений Юрьевич

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса,20 тел. +7(383)3462623
Дворецкий С.В.,e-mail: sergei-dvoreckii@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Аннотация: В статье рассматривается задача управления угловым движением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в режиме стабилизации планирующего движения на примере управления по углу тангажа, во время которого существенно изменяются параметры математической модели БПЛА.

Ключевые слова: Беспилотный летательный аппарат (БПЛА), канал управления

Необходимость и целесообразность применения адаптации для решения задачи угловой стабилизации планирующего движения вызвана как нестационарностью БПЛА, так и наличием множества факторов, основные из которых: ограниченность функциональных возможностей традиционного управления в условиях существенной нестационарности параметров БПЛА; невысокая точность по угловым координатам при возникновении возмущений, действующих на БПЛА, например ветровых порывов, которые могут привести к неустойчивости движения; снижение качества переходных процессов при больших углах атаки, поскольку значительная часть сигнала управления на руль высоты расходуется на поддержание его балансировочного значения. Указанные недостатки особенно проявляются в реальных условиях при управлении БПЛА, рулевые поверхности которого используются во всех каналах управления. Дополнительное адаптивное управление формируется с помощью введения дополнительного канала управления параллельного с основным. Этот канал также является адаптивным. Он реализован по схеме непрямого адаптивного управления, содержит интегрирующее устройство с изменяющимся коэффициентом усиления. Алгоритм изменения этого коэффициента синтезируется из условия обеспечения требуемой динамической точности движения при действии внешних возмущений на БПЛА [1].

Рассмотрим на примере управления БПЛА по углу тангажа особенности

реализации дополнительного адаптивного интегрирующего канала. Базовый адаптивный алгоритм управления и стабилизации в канале тангажа БПЛА имеет вид:

$$u_{\vartheta}(t) = K_{\vartheta}(q)\big(\vartheta(t) - \vartheta_{з}(t)\big) + K_{\omega_z}(q)\omega_z(t), \qquad (1)$$

где $\vartheta_{з}$- выходной сигнал задающего устройства, $\omega_z = \frac{dQ}{dt}$–угловая скорость, $K_{\vartheta}(q)$ и $K_{\omega_z}(q)$ – коэффициенты передачи, перестраиваемые в функции от скоростного напора q, значение которых обеспечивает устойчивость процессов. Сигнал $\vartheta_{з}$ состоит из медленной и быстрой компонент: медленная компонента формируется в зависимости от изменяющегося балансировочного угла атаки и отклонения рулей высоты; текущая, быстрая компонента соответствует угловым разворотам БПЛА при выполнении им заданного маневра.Алгоритм функционирования дополнительного канала на режиме планирующего движения имеет вид:

$$u_{\text{пл}}(t) = \begin{cases} \sigma_{\text{и}}(t) \text{ при } |\sigma_{\text{и}}(t)| < A_{\text{и}}(q), \\ A_{\text{и}}(q) \text{при } |\sigma_{\text{и}}(t)| \geq A_{\text{и}}(q), \end{cases} \qquad (2)$$

где $\sigma_{\text{и}} = K_i(q) \int \Delta\vartheta(t)dt$–интегральная составляющая сигнала управления, $\Delta\vartheta = \vartheta(t) - \vartheta_{з}(t)$, $K_i(q)$ – масштабный коэффициент. Величина $A_{\text{и}}(q)$ соответствует балансировочному расчетному значению отклонения рулей в планирующем режиме. В целом уровень ограничения формируется в виде:

$$A_{\text{и}}(q) = \frac{K_{\text{м}}}{q}, \qquad (3)$$

где $K_{\text{м}}$ – коэффициент масштабирования.

Аппаратурный дополнительный канал в соответствии с алгоритмами (2) и (3) реализуется на основе интегрирующего усилителя, выходной, сигнал которого ограничивается специальным устройством - функционально-адаптивным ограничителем уровня $A_{\text{и}}(q)$. Базовый сигнал управления $u_{\vartheta}(t)$и сигнал $u_{\text{пл}}(t)$, суммируются, формируя сигнал управления $\sigma_{\text{с}}(t)$:

$$\sigma_{\text{с}}(t) = u_{\vartheta}(t) + u_{\text{пл}}(t), \qquad (4)$$

который также ограничивается по уровню. Уровень данного ограничения определяется учетом отработки этими же рулями сигналов управления смежных каналов (курса, крена).Предложенное структурное формирование адаптивного алгоритма стабилизации в виде (1) – (4) определяются спецификой и уникальностью режима стабилизации планирующего полета БПЛА. Данный алгоритм основывается на особой функции, характеризующей обеспечение

балансировочных значений угла атаки и угла отклонения. Основной момент при разработке дополнительного канала, который формирует балансировочную компоненту, заключается в следующей последовательности построения: использование в качестве входного сигнала дополнительного канала рассогласования $\Delta\vartheta(t)$; реализация алгоритмов (2) и (3) на основе интегратора, в котором существует фиксированный уровень ограничения, соответствующий расчетному балансировочному значению угла отклонения рулей; организация синхронной адаптации, при которой одновременно перестраиваемые параметры основного и дополнительного каналов [2,3]. Структурная схема системы управления по тангажу, в которой реализованы алгоритмы (1) - (4), представлены на рисунке 1, где f_w - возмущение, возникающее в результате порыва ветра, турбулентности атмосферы и прочих внешних воздействий на БПЛА.

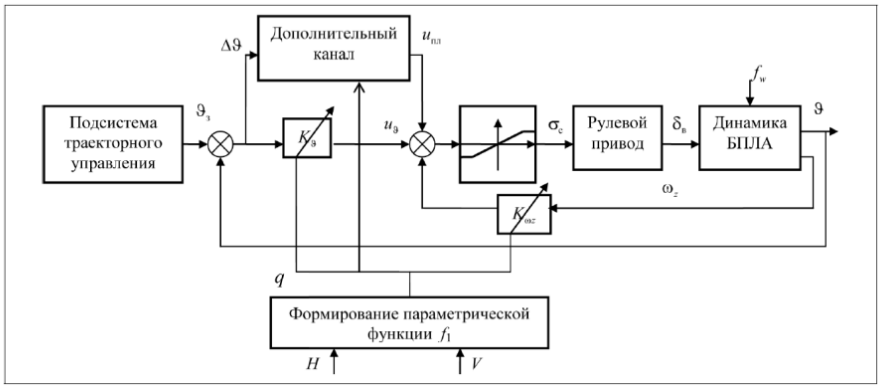


Рисунок 1. Структурная схема канала тангажа системы управления БПЛА на режимах планирующего движения

Результаты исследования гипотетической системы управления с двумя видами структур (без дополнительного канала и при его введении) свидетельствуют, что при вертикальных возмущениях f_w типа порывов ветра, турбулентностей и других возмущающих факторов дополнительный сигнал $u_{\text{пл}}(t)$, соответствующий балансировочному значению рулей, в том числе в зоне ограничения, обеспечивает устойчивость балансировочного угла атаки [3]. Предлагаемый подход к построению управления БПЛА применяется в разработках систем управления ФГУП МОКБ «Марс» для новых современных летательных аппаратов, предназначенных для полетов в существенно расширенной области траекторий в условиях действия возмущений.

Библиографический список

1.Глумов В.М., Земляков С.Д., Пучков А.М., Рутковский В.Ю., Управление угловым положением нестационарного космического аппарата с переменной эффективностью управляющих моментов // Известия РАН. Теория и системы управления.–2000.-№1.–С.120-134.

2. Пучков А.М., Карева Е.М., Глумов В.М., Синтез и цифровая реализация

адаптивного алгоритма управления летательным аппаратом // Труды IXмеждунар. научн.-техн. конф. «Идентификация систем и задачи управления». –М.,2012–С.896-906.
3. Патент 2459744 РФ, кл. G05D 1/08.Способ формирования интегрального сигнала стабилизации планирующего движения беспилотного летательного аппарата и устройство для его осуществления / А.С. Сыров, А.М. Пучков, Б.Н. Попов и др. // Опубл. 27.08.2012, Бюл. №24.

STUDY OF THE STABILIZATION ALGORITHM OF MOTION PLANNING OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

Dvoretsky Sergey Vladimirovich, master's degree student, Nazarkina JuliaVladimirovna, master's degree student, Makarova Elena Yurievna, master's degree student, e-mail: sergei-dvoreckii@mail.ru;
Supervisor: Russky Evgeniy Yurievich, associate Professor

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Abstract: the problem of controlling the angular motion of unmanned aerial vehicles (UAV) in the mode of stabilizing the planning motion is considered on the example of controlling the pitch angle, during which the parameters of the mathematical model of the UAV are significantly changed.

Keywords: Unmanned aerial vehicle (UAV), control channel

УДК 621.453/.457

ПРОБЛЕМЫ БОРТОВЫХ ЛОКАТОРОВ НА ГИПЕРЗВУКОВЫХ РАКЕТАХ

Дворецкий Сергей Владимирович, магистрант;

научный руководитель: Ющенко Валерий Павлович, д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Дворецкий С.В., sergei-dvoreckii@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Аннотация: в работе рассматриваются проблемы, возникающие при проектировании и запуске гиперзвуковых ракет на воздушно-реактивном двигатели.

Ключевые слова: гиперзвуковая ракета, воздушно-реактивный двигатель (ВРД), число Маха.

При проектировании бортовой аппаратуры летательных аппаратов на гиперзвуковых ракетах одной из наиболее сложных задач является задача создания конструктивных и программно-математических модулей, стыкуемых в специально создаваемой стендово-имитационной среде, используемой для проектирования и испытания, как отдельных модулей, так и всего комплекта бортового оборудования в целом.

Задача создания стендово-имитационной среды по сложности сравнима с задачей создания самого оборудования летательного аппарата.

Стендовая отработка реактивного двигателя на земле невозможна. Для того чтобы двигатель вышел на режим в несколько махов, его нужно разогнать до скорости в несколько раз превышающую скорость звука. В этом случае стендовая оптимизация при неподвижно-закреплённом двигателе, увешанном датчиками и измерительными приборами, исключена. В связи с этим возникает задача по оптимизации работы реактивного двигателя в полёте. Для этого необходим канал телеконтроля и телеуправления. То есть надо непрерывно измерять и контролировать рабочие параметры двигателя в полёте и с помощью телекоманд управлять режимом его работы. Задача усложняется тем, что радиоканалу, осуществляющему телеизмерение и телеуправление препятствует плазма, окутывающая сверхзвуковую ракету. Поэтому очень результативным приёмом при отработке гиперзвукового реактивного двигателя является математическое моделирование потоков горения в двигателе и пост полётный анализ отработанных образцов ракеты [1].

Одним из важнейших аспектов создаваемой среды проектирования является разработка математических моделей и алгоритмов моделирования внешних сигналов, поступающих на входы приемных устройств бортовых локаторов. Главной задачей современной гиперзвуковой ракеты является выполнение боевой задачи с высокой эффективностью в условиях сильного противодействия противника.

Рассмотрим проблемы гиперзвуковой ракеты на воздушно-реактивном двигатели (ВРД), он функционирует на больших скоростях. Двигатель гиперзвуковой ракеты работает без применения окислителя, для работы двигателя используется атмосферный воздух. Летательные аппараты с прямоточными (ПВРД), турбореактивными (ТРД), двухконтурными турбовентиляторными (ДТВД) и турбовинтовыми (ТВД) двигателями обладают свойством использовать атмосферный воздух, однако их применение ограничено дозвуковыми и сверхзвуковыми скоростями. Наиболее простой вариант гиперзвукового ВРД выглядит как пара воронок, соединенных друг с другом узкими отверстиями. Первая воронка используется как воздухозаборник, в ее наиболее узкой части происходит сжатие входящего воздуха. Добавление в воздухозаборник горючего приведет к сжиганию смеси, тем самым значительно поднимется температура и давление газа. Вторая воронка образовывает сопло, через которое происходит расширение продуктов сгорания и создание тяги. Данная схема исключает в ВРД влияние сильного трения, благодаря чему, обеспечивается высокая эффективность сгорания при его использовании на скоростях свыше 8М, что достигается путём сохранения практически неизменной скорости проходящего через весь двигатель воздуха (рисунок 1) [2].

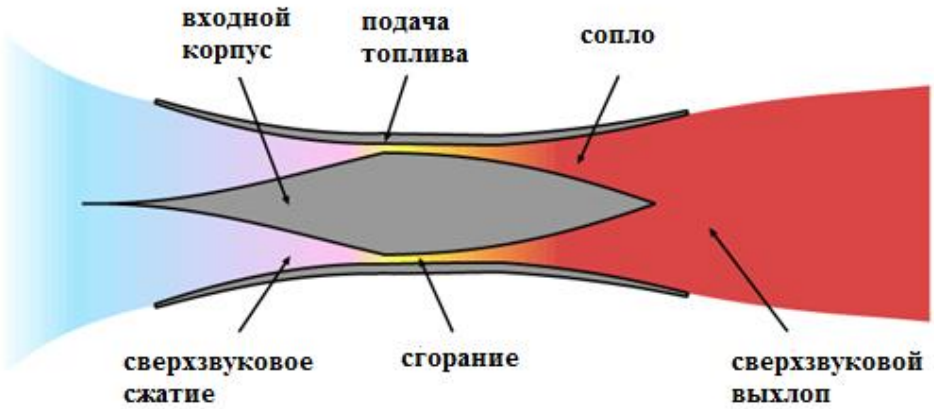


Рис. 1 – Схема гиперзвукового ВРД

Основная проблема данной схемы (рисунок 1) заключается в том, что горючее должно быть смешано с воздухом и израсходовано за очень короткое время. Из этого следует, что любое нарушение геометрии двигателя приведёт к большому трению. Расположение ВРД под фюзеляжем предназначено для конвертирования силы трения в подъёмную силу и создания дополнительной

подъёмной силы, используя выхлоп двигателя. Это формирует подъёмную силу при гиперзвуковом полете и определяет дизайн гиперзвуковых ракет.

Также в гиперзвуковых ракетах происходят турбулентные обтекания, завихрения и тряска ракеты. Меняются режимы теплонапряженности в зависимости от того, ламинарный (гладкий) поток на поверхности или со срывами. Достаточно много трудностей и проблем в бортовых локаторах на гиперзвуковых ракетах. Например, резко нарастает тепловая нагрузка. Если полет осуществляется со скоростью 3 Маха, то нагрев обшивки гиперзвуковой ракеты примерно достигает 150 градусов в атмосфере в зависимости от высоты. Чем выше высота полета, тем меньше нагрев. Но при этом, если со скорость полета ракеты в два раза выше, нагрев будет гораздо больший. Поэтому нужно применять новые углеродные материалы. На ядерных боеголовках, которые стоят на межконтинентальных «сотках» (баллистические ракеты УР-100 разработки НПО машиностроения), применяются даже стеклопластики. При гиперзвуке температура — многие тысячи градусов. А сталь держит всего 1200 градусов Цельсия. Гиперзвуковые температуры уносят так называемый «жертвенный слой» (слой покрытия, который расходуется во время полета летательного аппарата). Поэтому оболочка ядерных боеголовок рассчитана так, что большая ее часть будет «съедена» гиперзвуком, а внутренняя начинка сохранится. Но у гиперзвуковой ракеты не может быть «жертвенного слоя». Если полет ракеты осуществляется на управляемом изделии, то должна сохраниться аэродинамическая форма. В качестве теплозащиты можно использовать графитовые материалы [2].

В отличие от реактивных и ракетных двигательных систем, испытания которых возможно выполнить на земле, тестирование гиперзвуковых ракет требуют очень дорогих экспериментальных установок или стартовых комплексов, которые ведут к большим затратам при разработке. Экспериментальные модели данного вида летательных аппаратов обычно разрушаются в ходе или после завершения испытаний, что исключает их повторное использование.

Плазма, окутывающая ракету, создаст трудности в работе радиолокационным и радионавигационным бортовым системам. Плазма является проводником, а в проводящей среде антенны не работают. Поэтому управлять ракетой для наведения на цель чрезвычайно сложно. В настоящее время невозможно использовать на борту сверхзвуковой ракеты системы спутникового позиционирования для навигационных целей. Пока нет решения обозначенных проблем. Поэтому создание высокоточного оружия на гиперскоростях является актуальной задачей.

Библиографический список

1. Андросов В.А., Епатко И.В. Задачи и принципы построения стендово-имитационной среды для отработки интегрированных комплексов бортового оборудования // Радиотехника. № 9. 1996. С. 120–123.

2."Гиперзвуковой двигатель" ГПВРД [Электронный ресурс] https://vuzlit.ru/986664/giperzvukovoy_dvigatel_gpvrd

PROBLEMS OF SIDE LOCATORS FOR HYPERSONIC MISSILES

DvoretskySergeyVladimirovich, master's degree student,
e-mail: sergei-dvoreckii@mail.ru;
Supervisor: Yushchenko Valery Pavlovich, doctor of technical Sciences, Professor

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Abstract.
The paper deals with the problems arising in the design and launch of hypersonic missiles on air-jet engines.
Keywords: hypersonic missile, air-jet engine (WFD), Mach number.

УДК 621.396.6(08)

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕГУЛИРОВКИ РАДИОЧАСТОТНЫХ БОРТОВЫХ СБЛ

Делова Надежда Игоревна, студент; Мосейчук Руслан Александрович, студент; Шебалкова Любовь Васильевна, старший преподаватель

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23
Делова Н. И., e-mail: nad.delova@yandex.ru
Мосейчук Р. А., e-mail: moseichuk-ruslan@mail.ru
Шебалкова Л.В., e-mail: shebalkova@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: **Делова Надежда Игоревна**, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23

Аннотация: В статье приведено описание СВЧ измерительного комплекса, который объединяет в себе функции импульсного векторного анализатора цепей, измерителя коэффициента шума и измерителя уровня интермодуляционных искажений.
Ключевые слова: фазированные антенные решетки, зондирующий сигнал, приемо-передающий модуль.

Технология активных фазированных антенных решеток (АФАР) на сегодня является доминирующей при построении радиоэлектронных систем различного назначения. Ключевым элементом АФАР является встроенный в элементарный излучатель антенны приемо-передающий модуль (ППМ), использующий арсенидогаллиевые монолитно-интегральных схемы (МИС СВЧ) [3].

Отличительной чертой АФАР является перераспределение усиления из группового тракта приема и передачи в апертуру антенны за счет добавления нового элемента – приемопередающего модуля. В результате появляются новые возможности системы в сравнении с ФАР, такие как амплитудно-фазовое формирование лучей; улучшаются технические параметры: меньший шум-фактор приемника, меньшая мощность основного передатчика (становится возможным его твердотельное исполнение), в итоге - повышенный ресурс и надежность бортовой радиолокационной станции [1].

Обобщая требования по измерению параметров ППМ можно выделить два основных типа прибора, необходимых для измерительного комплекса – шумовой и векторный анализатор цепей. Принцип действия указанных приборов основан на измерении и сравнении априорно известного

зондирующего сигнала с прошедшим через исследуемое устройство. Принципиальные отличия заключаются в виде зондирующего сигнала и алгоритме измерения. Для векторного анализатора зондирующим сигналом может являться синусоида; для шумового, в зависимости от метода измерения, собственно шум с определенной спектральной мощностью [1, 2].

В разработанном комплексе зондирующий сигнал формируется цифровым способом на промежуточной частоте 15МГц. Благодаря такому решению удалось объединить формирователь зондирующего сигнала (ФЗС) в один узел для обоих типов измерений. Необходимая форма зондирующего сигнала может быть загружена с ПЭВМ в память узла. В состав ФЗС входит блок синтезаторов частот и преобразователь для однополосного конвертирования зондирующего сигнала на СВЧ (рис. 1). Диапазон перестройки комплекса составляет 8-12 ГГц с минимальным шагом 100 МГц. Дополнительно блок синтезаторов частот синтезирует сигнал гетеродина для преобразователей измерительных приемников стенда, который синхронен с зондирующим сигналом и сдвинут на 15 МГц по частоте [2].

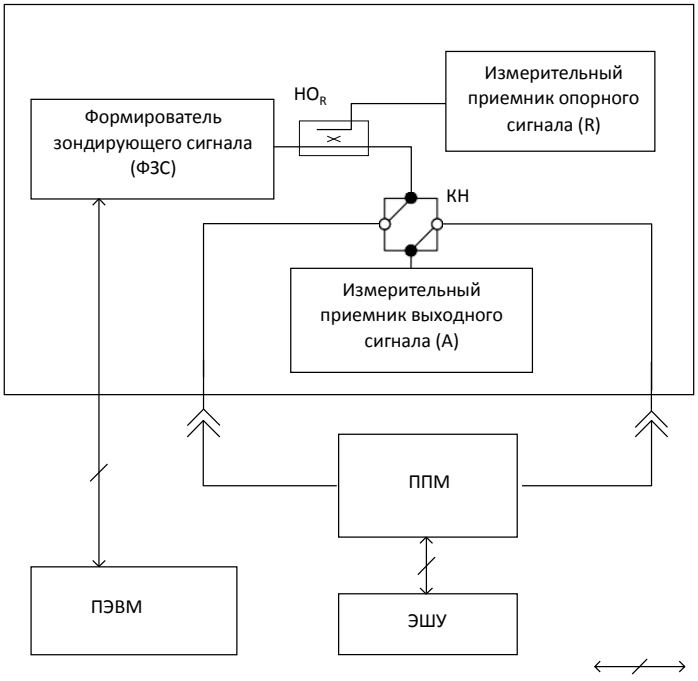


Рис. 1 — Структурная схема измерительного комплеса.

СВЧ коммутатор направления (КН) осуществляет изменение направления измерений ППМ по командам от внутреннего контроллера измерительного стенда. Роль контроллера выполняет программируемый цифровой автомат, расположенный в ФЗС. Алгоритм измерений на один цикл развертки по частоте задается в памяти контроллера внешней управляющей программой с ПЭВМ [2].

В качестве измерительных приемников стенда используются одноканальные цифровые приемники, состоящие из СВЧ преобразователя на промежуточную частоту 15 МГц и блока АЦП. Оцифрованный сигнал подвергается предварительной обработке и сохраняется во внутренней памяти

измерительного приемника. Алгоритм обработки данных зависит от типа измерения. После завершения цикла измерения по развертке полученные данные передаются в ПЭВМ.

Приведенный измерительный комплекс является оптимизированным измерительным прибором контроля параметров ППМ АФАР. Простота подключения узлов и гибкость в конфигурировании, широкие возможности формирования зондирующих сигналов позволяют использовать комплекс для решения других задач, таких как измерение параметров антенн и СВЧ тракта радиолокационной станции [2].

Библиографический список:

1. Синани А.И., Алесеев О.С., Винярский В.Ф. Активные ФАР. Концепция разработки и опыт разработки. – Антенны, 2005, №2(93). С.64-68.

2. Бахрах Л.Д., Зайцев Д.Ф. Фазированные антенные решетки на основе распределенных оптических антенных модулей // Доклады АН. 2004. Т. 394. № 4. С. 465–468.

3. Воскресенский Д.И. Бортовые цифровые антенные решетки и их элементы. – М.: Радиотехника, 2013. С. 208-209.

OPTIMIZATION OF THE REGULATORY TECHNIQUE RADIO FREQUENCY SBL

Delova Nadezhda Igorevna, Student, e-mail nad.delova@yandex.ru
Mosejchuk Ruslan Aleksandrovich, **Student, e-mail** moseichuk-ruslan@mail.ru
Shebalkova Lyubov Vasilievna, Senior Lecturer, e-mail shebalkova@corp.nstu.ru
Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, 630073, Russia

Annotation – The article describes the microwave measuring complex, which combines the functions of a pulsed vector network analyzer, noise figure meter and intermodulation distortion level meter.

Keywords – phased antenna arrays, probing signal, transceiver module.

УДК 621.389

МОДУЛЬ ДЛЯ ТАРИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ БОРТОВОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Денисова Ольга Владимировна; Белецкий Иван Тимофеевич

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19
Денисова О.В.,emailolia_98-1998@mail.ru
Белецкий И.Т.,emailbeleczkij@eandex.ru
Адрес для корреспонденции: ***Денисова Ольга Владимировна,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация

В работе представлено описание модуля подготовки аналогового сигнала к обработке аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Основной проблемой использования АЦП является неспособность модуля производить анализ сигналов с отрицательным напряжением. С проблемой справляется ряд каскадов построенных на операционных усилителях, каждый из которых выполняет свою функцию.

Ключевые слова

Операционный усилитель, аналого-цифровой преобразователь, повторитель напряжения, масштабирующий усилитель, не инвертирующий сумматор.

Введение

При разработке авиационных систем и ракетной техники уделяется внимание оптимизации бортовых радиоэлектронных систем по следующим параметрам:

- повышение качественных показателей;
- повышение технических возможностей;
- уменьшение габаритно-массовых характеристик.

Применение современной элементной базы позволяет достичь высоких результатов, но это потребует схемотехнической и конструкторской проработки, что может быть решено применением полупроводниковых элементов - операционных усилителей, АЦП, ЦАП, микроконтроллеров. Применение такого рода модулей и элементов позволяет отработать технические решения и сэкономить время на разработке. Преобразование аналогового сигнала в цифру позволяет систематизировать и анализировать сигналы от аналоговых сенсоров.

В качестве опытного образца разрабатывается устройство сбора данных и передачи их на компьютер, аналогичное по функционалу NIUSB-6009, но

реализованное самостоятельно на доступной элементной базе. Проектируемое устройство должно осуществлять перевод аналоговых сигналов любой формы и полярности в цифровое представление с дальнейшей обработкой на компьютере для решения таких задач, как простая регистрация данных, измерения с помощью переносных устройств и постановка учебных экспериментов в лаборатории.

Выполнение проекта содержит следующие этапы:

- разработка концепции устройства, и реализация преобразователя аналоговых сигналов заданным входным параметрам АЦП;
- разработка опытной версии устройства и программной среды.

Состав и принцип работы устройства

При разработке концепции устройства аналоговую часть разделили на несколько блоков, преобразующих сигнал к заданным параметрам. В состав блоков вошли каскады повторителя, усилителя, сумматора. Каждый из каскадов моделировался средствами математического моделирования в среде автоматизированного проектирования для повышения эффективности работы. Исходя из результатов моделирования, уточняется схемотехническое решение блока и номиналы элементов. Основной задачей преобразователя аналоговых сигналов является возможность вести обработку сигналов, как с положительной, так и отрицательной полярностью в диапазоне напряжений от -10 до +10 В.

Повторитель напряжения на базе операционного усилителя (ОУ), пожалуй, самый простой, но при этом, очень важный каскад. ОУ используется для повышения характеристики цепи. Как видно из рисунка 1, при таком включении ОУ старается обеспечить на выходе точную копию сигнала приходящего на его вход.

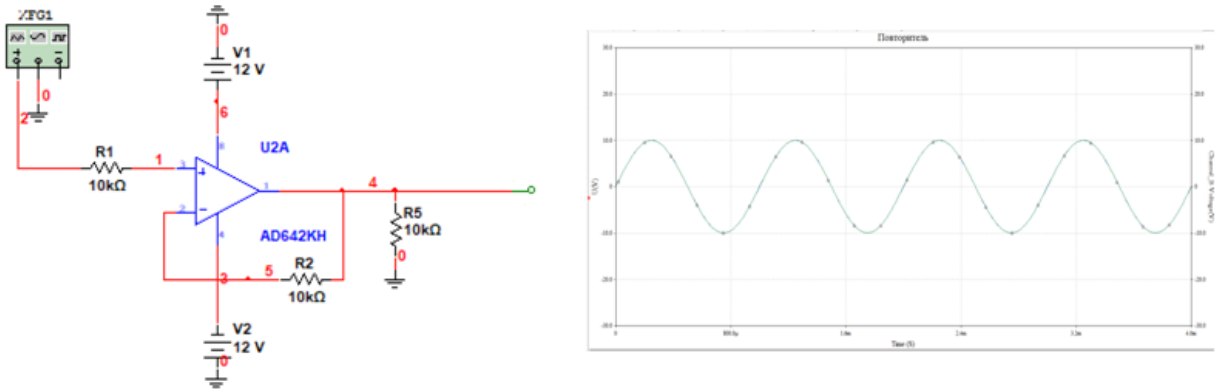


Рис. 1. Схема повторителя и сигнал на входе (выходе)

В каждый момент времени $U_{вых}=U_{вх}$, поэтому коэффициент усиления равен единице, а описываемая схема называется повторителем, Усилитель с единичным коэффициентом усиления называют также буфером или буферным каскадом. Обладая большим входным и малым выходным импедансами, повторитель, как нельзя лучше, подходит для согласования каскадов по сопротивлению.

Масштабирующий усилитель (рис.2), используемый в первом блоке, инвертирует входной сигнал и применяется самостоятельно, или в составе сложных усилителей, когда требуется иметь повышенное входное сопротивление при значительном коэффициенте усиления по напряжению.

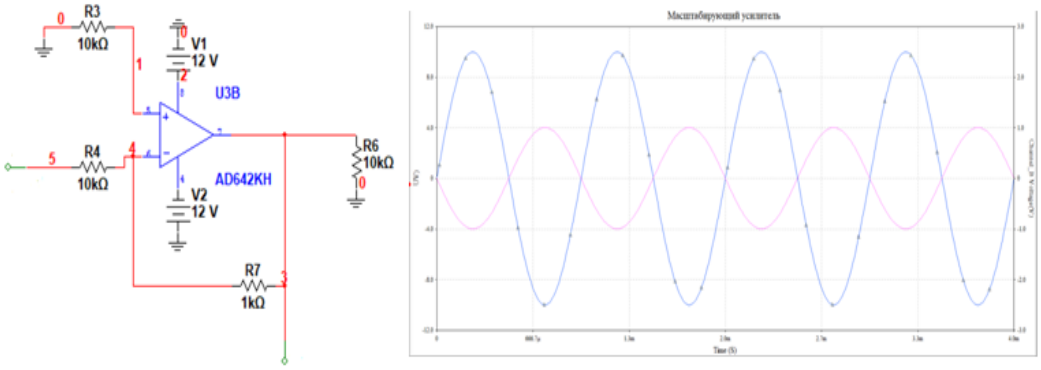


Рис. 2. Схема масштабирующего усилителя и сигнал на входе (выходе)

Не инвертирующий сумматор (рис.3) необходим для преобразования в схеме положительного и отрицательного напряжения и искусственного вывода средней точки для АЦП. К достоинствам сумматора можно отнести относительно большое входное сопротивление, но токи отдельных сигналов не нормируются. К недостаткам - схема позволяет суммировать сигналы с одинаковыми весовыми коэффициентами.

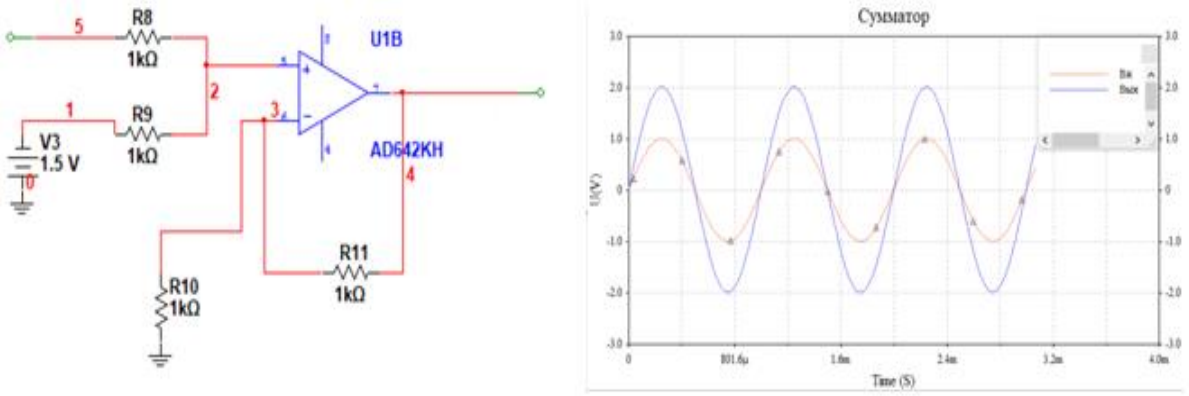


Рис. 3. Схема сумматора и сигнала на входе (выходе)

На рисунке 4 изображена схема первого блока устройства, в состав которого вошли каскады повторителя, усилителя, сумматора.

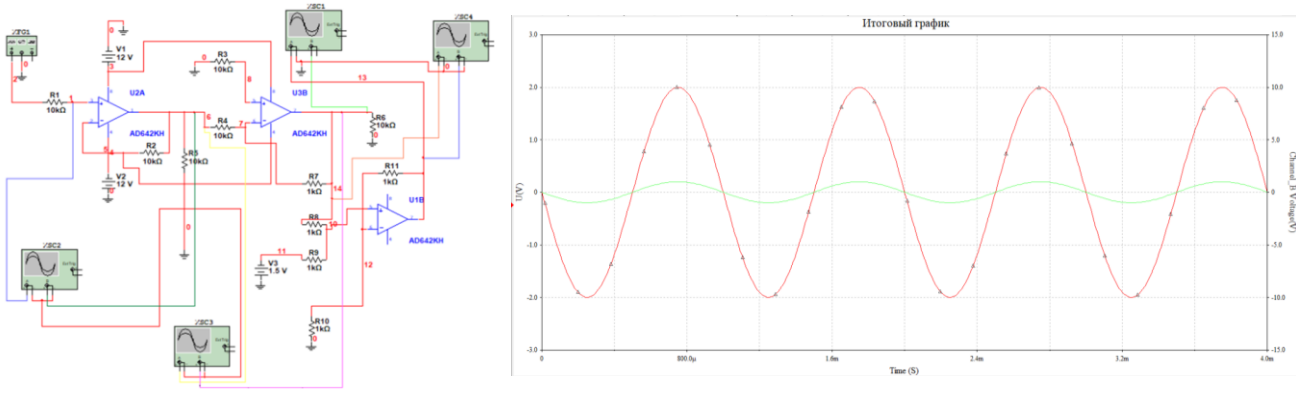


Рис. 4. Принципиальная схема цепи и сигнал на входе (выходе)

Вывод

Представленный блок каскадов на базе операционных усилителях решает проблему подготовки аналогового сигнала для анализа посредством АЦП. Компоненты использованные в схеме являются простыми и универсальными, и имеют не высокую стоимость. Таким образом реализация данного проекта не влечет за собой особых технологических и экономических затрат. Применение данного устройства имеет место быть как для анализа сигналов в лабораторных условиях, так и в производственных. Также применение устройства возможно и в составе бортовой системы, где необходимо решение подобных задач.

Библиографический список

1. http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf
2. http://www.ni.com/ru-ru/support/downloads/software-products/download.multisim.html
3. Галочкин В.А.«Схемотехника аналоговых и цифровых устройств». Учебное пособие. Под редакцией д.т.н., профессора Елисеева С.Н. - Самара: ФГОБУ ВПО ПГУТИ 2016г- 441с. (перевести анотоцию и шапку)

MODULE FOR TARING SIGNALS OF ONBOARD RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

Denisova Olga Vladimirovna; Beletsky Ivan Timofeevich
Novosibirsk State Technical University, Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (913) 005-48-19
Denisova OV, email
Beletsky I.T., e-mail
Address for correspondence: Denisova Olga Vladimirovna, Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, tel. (913) 005-48-19

Annotation

This paper presents a description of the analog signal preparation module for processing by the analog-digital converter (ADC). The main problem of using the ADC is the inability of the module to analyze signals with negative voltage. The problem is handled by a series of cascades built on operational amplifiers, each of which performs its own function.

Keywords

Operational amplifier, analog-to-digital converter, voltage follower, scaling amplifier, non-inverting adder.

УДК 616-71, 621.452:004

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АВИАСТРОЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Евтушенко Семён Викторович, студент; Легкий Владимир Николаевич, д.т.н.; Ющенко Валерий Павлович, д.т.н.

Новосибирский государственный технический университет,
Евтушенко С.В . evtyshenkosemen@mail.ru
Легкий В.Н. sniios@mail.ru
Адрес для корреспонденции: ***Легкий Владимир Николаевич,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20,
тел. (383)3462623, (913)005-48-19

Аннотация

В нашей стране существует огромная потребность в системах механической поддержки сердца, однако приобретение зарубежных систем связано с чрезмерными финансовыми затратами. Кроме этого, на сегодняшний день не существует ни одной системы, которая на 100% отвечает всем медико-техническим требованиям и обладает высокой безопасностью для пациента. Поэтому, исследования в области разработки систем вспомогательного кровообращения, являются актуальными и востребованными в нашей стране.

Ключевые слова: технологии авиастроения, системы поддержки сердца, импортозамещение.

Введение

На определенном этапе течения большинства заболеваний сердца развивается сердечная недостаточность. Она является прогрессирующим процессом, сопровождающимся высокой инвалидизацией и смертностью. Распространенность терминальной СН в России достигает 2.4 млн. человек [1]. Ежегодно до 20% пациентов из листа ожидания погибают так и не дождавшись донорского сердца [2].

Альтернативным методом лечения может выступать использование систем вспомогательного кровообращения, получивших название искусственных желудочков сердца [3]. Данные системы могут быть использованы и как “мост к трансплантации” сердца, так и в качестве длительной терапии у пациентов с противопоказаниями к трансплантации сердца.

Опыт авиастроения в медицине

Опыт учёных в области авиастроения находит свое применение в медицине. При разработке аппаратов вспомогательного кровообращения используются технологии и методы многоуровневого компьютерного моделирования, применяемые при проектировании и испытаниях авиационной техники [4].

Многоуровневые системы компьютерного моделирования, позволяют проводить уникальные расчеты рабочих процессов во всем тракте газотурбинных (далее – ГТД) авиационных двигателей. В расчетах применяются математические модели, базирующиеся на законах сохранения массы, импульса и энергии (нестационарные уравнения Эйлера и Навье – Стокса), учитываются реальные эффекты, сопровождающие рабочий процесс в ГТД: вязкость, турбулентность и теплопроводность, горение, отборы и выдувы охлаждающего воздуха, утечки и др.

Применение компьютерного моделирования ГТД позволяет:

- проектировать высокоэффективные проточные части, обеспечивающие достижение максимального КПД (Рис. 1);
- проводить модернизацию существующих узлов с целью повышения их эффективности;
- моделировать и сопровождать процесс испытания агрегата и его узлов на стендах;
- изучать основные и пониженные (дроссельные) режимы работы;
- исследовать переходные режимы работы (запуск, изменение режима, останов);
- моделировать различные законы регулирования.

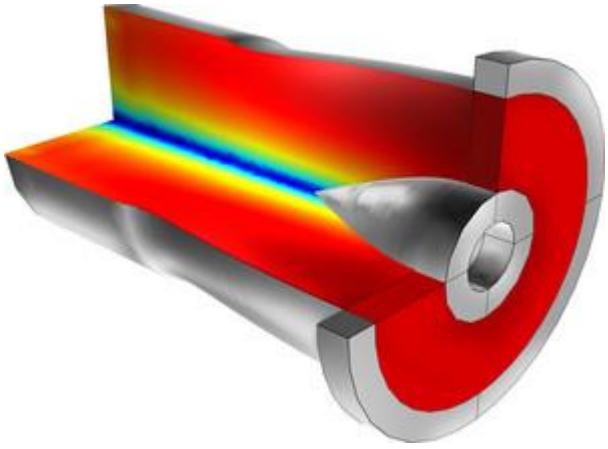


Рис. 1. Компьютерная модель течения газов ГТД

Командой российских ученых и разработчиков АО ЗИТЦ, опираясь на опыт в области авиастроения был создан первый отечественный носимый аппарат вспомогательного кровообращения «Спутник» (Рис.2) [5].

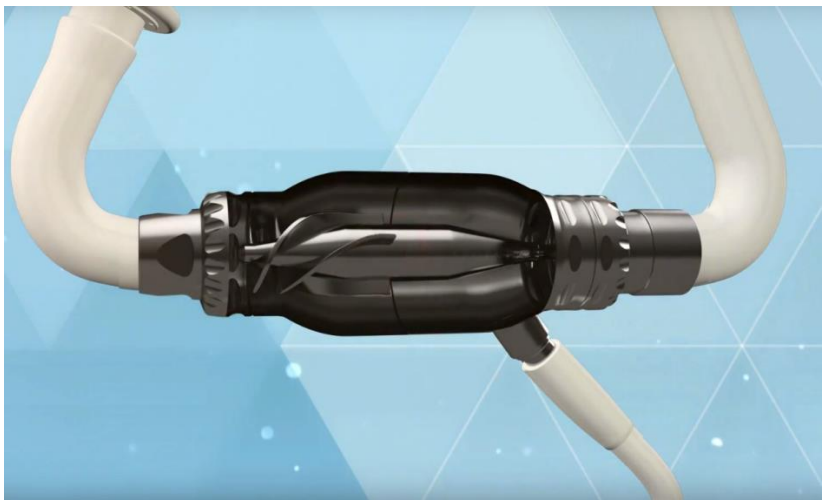


Рис. 2. Носимый аппарат вспомогательного кровообращения «Спутник»

«Спутник» в 2 раза дешевле заграничных аналогов, при этом он не уступает им в качестве и надежности.

Выводы

Опыт учёных в области авиастроения нашел свое применение в медицине. При разработке аппаратов вспомогательного кровообращения успешно используются технологии и методы многоуровневого компьютерного моделирования, применяемые при проектировании и испытаниях авиационной техники с учетом стратегии импортозамещения.

В дальнейшем планируется контролировать кровоток портативными томографическими приборами на основе анализа поверхностных волн от движущегося потока вспомогательного кровообращения с обработкой его изображения методом апертурного синтеза [6].

Библиографический список:

1. В. В. Тонкошкурова, «Предикторы эффективности бивентрикулярной электрокардиостимуляции у пациентов с хронической сердечной недостаточностью: дисс. канд. мед. наук» 2013.

2. J. Garbade and H. Bittner, "Current Trends in Implantable Left Ventricular Assist Devices," Cardiology Research and Practice, 2011, С. 9.

3. А. М. Чернявский, «Экспериментальная модель дискового насоса для механической поддержки кровообращения» Вестник трансплантологии и искусственных органов, 2016, .№ 18(4), С. 93-101.

4. И. А. Кривошеев, «Модели, методы и средства развития и использования информационных ресурсов в области авиационных двигателей и энергоустановок » Вестник УГАТУ, 2006, т. 7, № 3, С. 115-126.

5. С.Ю. Шемакин, Е.В. Родионова, «Аппарат вспомогательного кровообращения левого желудочка сердца АВК-Н "Спутник"» Главный врач, 2014, № 2(39), С. 12-13.

6. В.П. Ющенко, В.Н. Легкий, С.А. Литвиненко, С.А. Буднов. Анализ влияния поверхностных волн от движущегося объекта при реконструкции его изображения с использованием апертурного синтеза
Автометрия. - 2018. Т. 54, №3. С.70-77.

APPLICATION OF AIRCRAFT TECHNOLOGY IN MEDICAL INSTRUMENTATION

Evtushenko Semyon Viktorovich student;
Legkij Vladimir Nikolaevich, Grand PhD in (Engineering) sciences. of AICS Department;
Yushchenko Valeriy Pavlovich, full prof. of AICS Dep.

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, (383)3462623, (905)955-96-69
Evtushenko S.M. evtyshenkosemen@mail.ru
Legkij V.N. sniios@mail.ru
Yushchenko V. P. ***yushhenko@corp.nstu.ru***

Abstract.

In our country there is a huge need for heart support systems, but the acquisition of foreign systems is associated with excessive financial costs. In addition, today there is no one single system that 100% meets all medical and technical requirements and has a high level of safety for the patient. Therefore, research in the field of development of circulatory support systems is relevant in our country.

Keywords: aviation technology, heart support systems, import substitution.

УДК 537.876.4

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ УСТРОЙСТВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ В СРЕДЕ ANSYS HFSS

Иванов Никита Вячеславович, студент; Курина Юлия Дмитриевна, студент; Кондрашова Анастасия Александровна, студент

Научный руководитель: Шебалкова Любовь Васильевна, старший преподаватель

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7(383)3462623
Иванов Н.В.,e-mail: *nikiz2017@mail.ru*
Курина Ю.Д., e-mail: *ulya-kuriina@mail.ru*

Адрес для корреспонденции: **ИвановНикита Вячеславович,**
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 3462623

Аннотация.
В статье рассмотрен процесс электродинамического моделирования антенны высотомера летательного аппарата с помощью программного обеспечения ANSYSHFSS, показаны его основные возможности, приведены результаты моделирования

Ключевые слова: Численные методы, метод конечных элементов, антенная решетка

В современных системах электродинамического моделирования реализуются многие численные методы, основные из них метод конечных элементов (МКЭ), метод моментов, метод конечных разностей во временной области,методы геометрической и физической оптики.

МКЭ реализован в программном продукте High Frequency System Simulator (HFSS) компании ANSYS, который предназначен для анализа трехмерных СВЧ структур. Использование метода конечных элементов оказываются весьма эффективными для широкого круга задач от анализа волноводных и полосковых структур до моделирования антенн и сложных СВЧ устройств летательных аппаратов . Этот метод относится к универсальным методам и позволяет моделировать любые задачи, единственным ограничением является целесообразность применения в тех задачах, где лучше использовать геометрическую или физическую оптику [1].

Также в последних версиях HFSS добавлен метод конечных интегралов (или метод моментов). Этим методом в HFSS можно выполнитьрасчет эффективной поверхности рассеяния, расчет антенны, расположенной на большом объекте, расчет коэффициента связи между удаленными антеннами, расчет электромагнитной совместимости, расчет многопортовых СВЧ структур и антенн.

На основе ANSYS HFSS удалось:

- извлечь матричные параметры СВЧ структуры (S, Y, Z – матрицы);
- рассчитать коэффициент стоячей волны (КСВ);
- получить параметры излучения и рассеяния (диаграммы направленности, коэффициенты направленного действия, реализуемое усиление антенн, ЭПР, и т.п.);
- отобразить в 3D распределение токов, векторов плотности потока мощности, распределений электромагнитных полей (в ближней и дальней зонах) [3].

Процесс проектирования с помощью HFSS включил в себя ряд стандартных шагов:

1. Создание модели анализируемой структуры:
- создание трехмерной графической модели структуры;
- задание параметров материалов, из которых состоит структура.
2. Определение электродинамических параметров структуры:
- задание граничных условий на поверхностях, формирующих анализируемый объект;
- определение и калибровка портов;
- задание параметров решения, центральной частоты, полосы частот.
3. Электродинамический анализ исследуемого объекта:
- анализ объекта в полосе частот;
- параметрический анализ объекта;
- параметрическая оптимизация объекта.
4. Визуализация результатов электродинамического анализа:
- построение графиков в декартовых, полярных координатах, диаграмм Смита, диаграмм направленности и т.д.;
- анимация распределений электромагнитного поля и электрического тока;
- сохранение результатов анализа в файлах данных.

После построения модели определяются критерии сходимости расчета по S-параметрам, параметры сетки и запускается расчет, сначала происходит разбиение структуры на конечные элементы-тетраэдры программой Mesher.

Размер тетраэдра должен быть достаточно мал для того, чтобы поле в его пределах можно было описать простой функцией или набором функций с неизвестными коэффициентами. Эти коэффициенты ищутся из уравнений

Максвелла и граничных условий. В результате электродинамическая задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно этих коэффициентов.

Отметим, что в ходе разбиения форма отдельных элементов структуры искажается. Это относится, в первую очередь, к элементам, имеющим искривленную поверхность. Поэтому ограничения на размер тетраэдра накладывает не только точность определения поля, но и точность аппроксимации исходной структуры новой структурой, составленной из тетраэдров. Пример тетраэдров показан на рисунке 1.

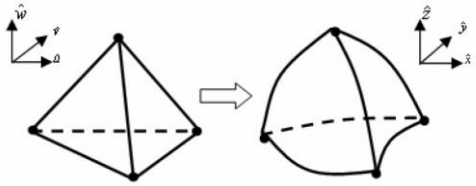


Рис. 1

При решении задач на плоскости или двумерных задач (например, на волновом порте) в качестве элемента разбиения используется двумерный аналог тетраэдра – треугольник.

Точность решения зависит от того, насколько мала величина каждого из отдельных элементов сетки. Решения, которые используют большое количество элементов, более точны, чем решения, выполненные с помощью крупных ячейках, использующих относительно немного элементов.

На рисунке 2 показано построение сетки на микрополосковом излучателе – видно, что, когда решатель достиг условия сходимости (или заданной точности) плотность генерации сетки вблизи кромок излучателя высока [2].

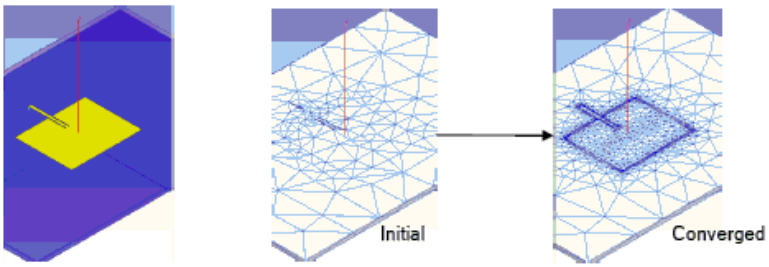


Рис.2

Рассмотрен пример моделирования антенны для высотомера: антенна представляет собой решетку из двух элементов, расположенных на фольгированном диэлектрике МИ1222 толщиной 4 мм и соединенных делителем мощности, волновое сопротивление на входе (порту) составляет 50 Ом, на крайних кромках излучателей предусмотрены шлейфы для подстройки КВСН антенны при необходимости, которая может возникнуть вследствие разброса диэлектрической проницаемости диэлектрика для разных партий материала.

Ширины фидерных микрополосковых линий, длина четвертьволнового трансформатора и габаритные размеры излучателей определяются в процессе

электродинамичекого моделирования. Трехмерная модель и результаты моделирования показаны на рисунках 3 – 5. Оптимальные размеры излучателя составили 27х30 мм, размеры шлейфов 4х4.5 мм, ширины микрополосковых линий 0,8 и 2,7 мм, длина трансформатора сопротивлений 16,2 мм.

Вывод:

Разработана методика моделирования бортовых радиочастотных систем для летательных аппаратов (БПЛА и малая авиация), которая позволяет оптимизировать пространственные и энергетические параметры бортовых антенн [4].

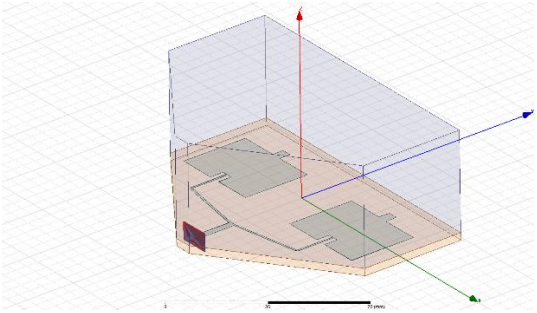


Рис. 3. 3D модель микрополосковой антенны

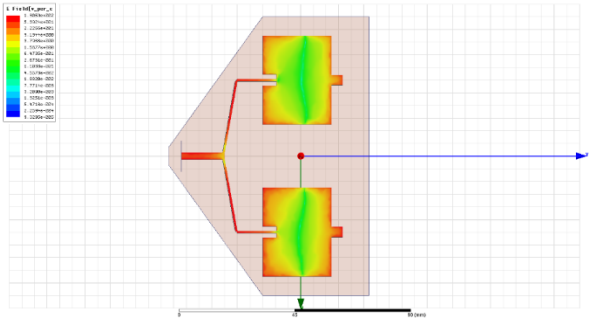


Рис. 4. Распределение амплитуды поля в решетке

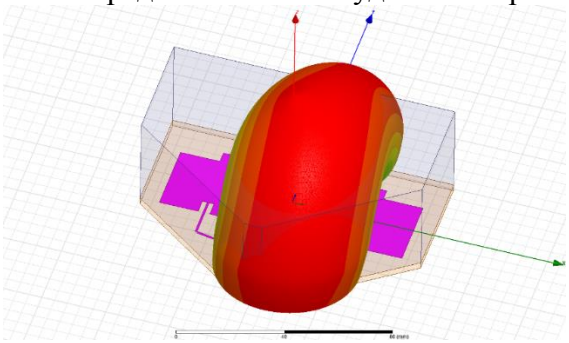


Рис. 5. Трехмерная диаграмма направленности

Библиографический список:

3. Банков С.Е., Гутцайт Э.М., Курушин А.А. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS – М., ООО «Оркада», 2012
4. ANSYS Electromagnetics Suite 19.0. HFSS online Help
5. https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/electronics/hfss/

6. Уфимцев Д.В., Шебалкова Л.В., Сюткин К.Ю. Проектирование, моделирование и оптимизация устройств СВЧ диапазона. Учебное пособие. - Новосибирск: Издательство НГТУ, 2010. – 163с.

ONBOARD RF DEVICES OF SHORT-RANGE RADIOLOCATION SYSTEMSELECTROMAGNETIC SIMULATION IN ANSYS HFSS

Ivanov Nikita Vyacheslavovich, Student, e-mail nikiz2017@mail.ru
KurinaYuliyaDmitrievna, Student, e-mail ulya-kurina@mail.ru
KondrashevaAnastasiya Alexandrovna, Student
Scientificadviser:*ShebalkovaLubovVasilevna*,assist. prof. of AICS Department

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Abstract – The article describes the electrodynamic simulation process of altimeter microstripantenna array by ANSYS HFSS software, shows its main features, the results of modeling

Keywords – Numerical methods, finite element method, antenna array

УДК 62.7

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ

Ильюк Кирилл Игоревич, студент; Петрова Анастасия Александровна, студентка; Эдвабник Валерий Григорьевич, профессор

[1] Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19
Петрова А. А. , e-mail: fl41petrova@gmail.com
Ильюк К.И. , e-mail: k.iljuk@yandex.ru
Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
(996) 376-50-83

Аннотация

Существует необходимость в очистке и контроле состояния артиллерийской системы авиационных комплексов.

Взятая за основу контрольно-проверочная машина 1И41Э будет модернизирована под нужды авиационных комплексов.

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

Ключевые слова

Контрольно-проверочная машина, техническое обслуживание, аппаратно-программный комплекс.

В настоящее время техническое обслуживание, техническая и баллистическая подготовка являются составной частью боевой подготовки, поддержание артиллерийского вооружения авиационных комплексов в состоянии боевой готовности осуществляется специалистами аэродрома. При этом возникают значительные трудности, связанные с большой номенклатурой объектов, находящихся в эксплуатации, сложностью узлов и систем, большим количеством проверок элементов комплекса и их высокой трудоемкостью, отсутствием необходимого оборудования и методик определения отдельных поправок [2].

На сегодняшний день существует контрольно-проверочная машина (КПМ) 1И41, которая обеспечивает проверку и обслуживание: артиллерийского

вооружения, механизмов подачи и заряжания боеприпасов, систем управления наведением, элементов комплекса управляемого вооружения, прицельных, визирных устройств и наблюдательных приборов, систем топопривязки и навигации, средств разведки и целеуказания и средств связи.

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

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

При проведении технической подготовки КПМ обеспечивает:

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

При проведении баллистической подготовки КПМ обеспечивает определение:

- удлинения зарядной каморы орудия;
- начальной скорости снаряда.

Состав КПМ:

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

БИУС является многофункциональным аппаратно-программным комплексом, под управлением и участием которого проводятся все виды работ контрольно-проверочной машиной 1И41Э.

Специальные контрольно-измерительные приборы и аппаратура, приспособления для проведения ТО, а также стандартные приборы и оборудование, входящие в состав КПМ 1И41Э, позволяют проводить все операции технического обслуживания орудий, механизмов заряжания, зенитно-пулеметных установок, систем защиты от ОМП, систем навигации, метеорологических комплектов, приборов наблюдения, разведки и целеуказания [1].

Авиационные комплексы также нуждаются в своевременном техническом обслуживании и контроле на базе аэродромов.

В качестве базового шасси предлагается использование УАЗ-452Д, т.к. его высота 2064 мм, что позволяет ему без затруднений подъехать к любому авиационному комплексу на достаточное расстояние.

Также предлагается уменьшить габариты механизма чистки ствола и контрольно-измерительного прибора до необходимых размеров.

Предложенные модернизации предоставляют возможность обслуживания авиационных комплексов на базе аэродромов за малое время.

В настоящее время техническое обслуживание, техническая и баллистическая подготовка являются составной частью боевой подготовки, поддержание артиллерийского вооружения авиационных комплексов в состоянии боевой готовности осуществляется специалиста-ми аэродрома. При этом возникают значительные трудности, связанные с большой номенклатурой объектов, находящихся в эксплуатации, сложностью узлов и систем, большим количеством проверок элементов комплекса и их высокой трудоемкостью, отсутствием необходимого оборудования и методик определения отдельных поправок [2].

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

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

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

При проведении технической подготовки КПМ обеспечивает:

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

При проведении баллистической подготовки КПМ обеспечивает определение:

- удлинения зарядной каморы орудия;
- начальной скорости снаряда.

Состав КПМ:

- бортовая информационно-измерительная управляющая система (БИУС);
- механизм для чистки канала ствола с компрессорной установкой;
- специальные контрольно-измерительные приборы и аппаратура;
- комплект стандартного оборудования и приборов;
- комплекты приспособлений для проведения технического обслуживания САО, БАО и КАУО;
- системы электропитания, связи и жизнеобеспечения;

- одиночный комплект ЗИП, шанцевый инструмент, комплект съемников, огнетушители и пр.

БИУС является многофунцкциональным аппаратно-программным комплексом, под управлением и участием которого проводятся все виды работ контрольно-проверочной машиной 1И41Э.

Специальные контрольно-измерительные приборы и аппаратура, приспособления для проведения ТО, а также стандартные приборы и оборудование, входящие в состав КПМ 1И41Э, позволяют проводить все операции технического обслуживания орудий, механизмов заряжания, зенитно-пулеметных установок, систем защиты от ОМП, систем навигации, метеорологических комплектов, приборов наблюдения, разведки и целеуказания [1].

Авиационные комплексы также нуждаются в своевременном техническом обслуживании и контроле на базе аэродромов.

В качестве базового шасси предлагается использование УАЗ-452Д, т.к. его высота 2064 мм, что позволяет ему без затруднений подъехать к любому авиационному комплексу на достаточное расстояние.

Также предлагается уменьшить габариты механизма чистки ствола и контрольно-измерительного прибора до необходимых размеров.

Предложенные модернизации предоставляют возможность обслуживания авиационных комплексов на базе аэродромов за малое время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. УРЛ: http://www.burevestnik.com/products/1i41e.html (дата обращения 17.11.18)

2. УРЛ: http://bankpatentov.ru/node/364974 (дата обращения 17.11.18)

MODERNIZATION OF CONTROL AND TESTING EQUIPMENT FOR AVIATION ARTILLERY SYSTEMS

Ilyyuk Kirill I. , student; Petrova Anastasia A. , student;
Edvabnik Valery G., Professor
[1]Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx Ave., 20, tel. (913)005-48-19
Petrova A. A. , e-mail: fl41petrova@gmail.com
Ilyuk K.I. , e-mail: k.iljuk@yandex.ru
Address for correspondence: Novosibirsk State Technical University, 6300 Karl Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russia
(996) 376-50-83

Annotation

There is a need for cleaning and monitoring the state of the artil-lery system of aviation complexes.

The 1И41Э control and testing machine taken as a basis will be upgraded to meet the needs of aviation complexes.

This type of maintenance provides the use of the high potential of modern artillery armament complexes to maintain effective fire laid down by the design of the product.

Keywords

Testing machine, maintenance, reconciliation, hardware and soft-ware complex.

УДК 621.3.044.3

СОВРЕМЕННЫЕ БОРТОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ САМОЛЕТА

Кондратьев Александр Владимирович, студент;

Петров Владислав Владимирович, студент; Анцупов Эрик Эрикович, студент;

Русский Евгений Юрьевич, доцент кафедры АИУС ФЛА

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23

Кондратьев А.В., e-mail sana_kondratev@mail.ru

Петров В.В., e-mail **swimmervladislav@mail.ru**

АнцуповЭ.Э., e-mail **antsupoverik@yandex.ru**

Русский Е. Ю., e-mail **russkij@corp.nstu.ru**

Адрес для корреспонденции: ***Кондратьев Александр Владимирович***, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23

Аннотация: В материалах работы рассматриваются бортовые вычислительные системы, устанавливаемые на современных воздушных суднах и работающие в составе с бортовыми базами аэронавигационных данных, а также данных рельефа местности.

Ключевые слова: спутниковая навигационная система (СНС), бортовая многофункциональная система (БМС), вычислительная система самолетовождения (ВСС).

Современные воздушные суда оборудуются бортовыми цифровыми вычислительными устройства- ми отечественного и зарубежного производства. Бортовое оборудование способно обеспечить автоматизированный полет на всех этапах: взлет, набор высоты, маршрут на эшелоне, снижение, посадка и руление до места стоянки. Вся нагрузка по автоматизированной навигации полёта ложится на цифровую авионику: вычислительную систему самолётовождения (ВСС), спутниковую навигационную систему (СНС), а также систему предупреждения приближения земли (СППЗ).

СНС – обеспечивает пилота и другие системы навигационными данными, полученными путем измерения сигналов от навигационных искусственных спутников Земли. В настоящее время действует две спутниковых навигационных системы – ГЛОНАСС (Россия), и GPS (США)

Спутниковая навигационная система – бортовая многофункциональная система (БМС) используется в авиации для обеспечения максимальной безопасности полетов.

Бортовая многофункциональная система (БМС) новое поколение спутниковых навигационных систем, которые существенно повышает эффективность и безопасность полетов воздушных судов и обеспечивает точную зональную навигацию (P-RNAV).

БМС позволяет не только оборудовать перспективные воздушные суда, но и заменить эксплуатируемые спутниковые навигационные системы предыдущего поколения: СНС-3, KLN-90B, TNL-2000 App+, Garmin 155/165.

Обеспечивает точный заход на посадку по системе спутниковой навигации с использованием информации от бортовой аппаратуры приема дифференциальных данных (АПДД) в стандарте ICAO (RTCA).

Содержит мировую, периодически обновляемую, топографическую и аэронавигационную базу данных со схемами стандартных процедур. Позволяет производить ручной ввод или выбор требуемого плана полета.

БМС без дополнительных блоков сопряжения может обмениваться информацией с датчиками навигационных и посадочных систем в цифровой и аналоговой форме. Резервы вычислительных ресурсов и каналов информационного обмена позволяют наращивать функциональные возможности системы. БМС создает вертикальный профиль полета и осуществляет навигацию в вертикальной плоскости.

БМС автоматически контролирует вертикальный профиль полета с учетом:

- ограничения на высоту полета воздушных трасс,
- минимальной высоты полета вне трасс,
- минимальной безопасной высоты. Аэронавигационная база данных БМС обновляется в соответствии с циклом AIRAC каждые 28 дней и содержит информацию о следующих типах объектов:
- аэропорты и взлетно-посадочные полосы;
- радиотехнические средства навигации и посадки;
- точки маршрута;
- именованные точки, принадлежащие терминальным процедурам вылета (SID), прилета (STAR) и захода на посадку (APPROACH);
- трассы (AIRWAYS);
- взлетно-посадочные полосы (RUNWAYS);
- минимальные безопасные высоты (MSA);

СППЗ – предупреждает экипаж об опасности столкновения ЛА с земной поверхностью. Система непрерывно анализирует положение ЛА относительно земли с целью выявления опасной тенденции и заблаговременного предупреждения экипажа в следующих случаях:

– когда ЛА приближается к поверхности земли слишком близко или слишком быстро;

– при потери высоты на взлете или при уходе на второй круг;

– при полете вблизи земной поверхности в непосадочной конфигурации (не выпущено шасси, закрылки не в посадочном положении);

– при отклонении вниз от глиссады на этапе захода на посадку

Система раннего предупреждения близости земли СРПБЗ используется на самолетах гражданской авиации.

Система раннего предупреждения близости земли (СРПБЗ) в соответствии с требованиями ИКАО обязательна на борту каждого самолета.

Установка СРПБЗ на любой самолет не требует дополнительного блока сопряжения и дополнительных настроек. После подсоединения к навигационным системам и датчикам СРПБЗ сама распознает тип конфигурации самолетного оборудования и автоматически выбирает нужные сигналы.

СРПБЗ одинаково надежно работает с современным цифровым бортовым оборудованием и с традиционным аналоговым. Это подтверждает ее успешная эксплуатация на следующих самолетах: Ту-154М, Ту-204, Ту-214, Ту-334, Ил-62М, Ил-76МД, Ил-76ТД, Ил-86, Ил-114, Як-40, Як-42, С-80, Бе-200.

По цифровым или аналоговым линиям связи система обменивается информацией с бортовыми датчиками высоты и скорости, навигационными посадочными и радиолокационными системами, бортовыми приемоизмерителями спутниковых навигационных систем, бортовыми переговорным устройствами, светосигнальными устройствами и бортовыми индикаторами.

Если воздушное судно не имеет штатных приемоизмерителей спутниковых навигационных систем, СРПБЗ поставляться со встроенным приемоизмерителем СНС нового поколения (GPS/ГЛОНАСС).

Для отображения рельефа местности могут быть использованы любые бортовые многофункциональные индикаторы, имеющие интерфейс ARINC-429 или ARINC-453 (708), в том числе специализированный индикатор СРПБЗ (СРПБЗ-М) и бортовая многофункциональная система БМС.

СРПБЗ существенно повышает безопасность по- лета, даёт экипажу полную информацию о текущей ситуации и обеспечивает возможность уйти от на- земного препятствия, не нарушая комфорт пассажи- ров воздушного судна.

ТТА-12S (система раннего предупреждения приближения к земле (со встроенным приемоизмерителем СНС). Система выполнена в виде малогабаритного блока, внутри которого размещен вычислительный сменный носитель базы данных, необходимые органы управления и индикации, а также

плата приемоизмерителя Глонасс/GPS. Этим обеспечивается простота установки, сокращение линий связи, удобство эксплуатации и обслуживания системы.

Использование современной элементной базы и операционной системы реального времени обеспечивает высокое быстродействие. Время готовности к работе 6 секунд. В системе реализованы все режимы систем класса СППЗ (GPWS), функция оценки местности в направлении полета (FLTA), предупреждение о преждевременном снижении (PDA), режимы речевого уведомления о проходе предопределенных высот, функция формирования изображения подстилающей поверхности. Помимо требуемых, реализованы дополнительные режимы и алгоритмы, повышающие безопасность полета и осведомленность экипажа о текущей ситуации, снижающие количество ложных срабатываний.

Вычислительная система самолетовождения ВСС-95-1В. Вычислительная система самолетовождения ВСС-95 предназначена для решения задач навигации. Она обеспечивает:

– прием от загрузчика данных (ЗД) и упаковку навигационной базы данных (НБД);

– планирование предстоящего полета путем выбора из базы данных соответствующего маршрута и ввода исходных данных для полета;

– инициализацию активного плана полета;

– модификацию плана полета на земле и в воздухе по необходимости;

– вычисление текущих координат местоположения самолета по данным навигационных систем;

– непрерывную и разовую коррекцию координат по данным спутниковой навигационной системы (СНС) и/или радиотехнических систем;

– вычисление навигационных параметров и формирование информационных сигналов для контроля за выдерживанием заданного плана полета;

– формирование управляющих сигналов для выдерживания заданного маршрута полета в горизонтальной плоскости;

– прогноз определенных параметров вертикального профиля полета;

– оперативные изменения плана полета;

– автоматическую и ручную настройку, а также управление режимами работы радиотехнических средств (РТС) навигации, посадки и связи;

– управление и контроль при начальной выставке инерциальных систем (ИНС);

– индикацию режимов навигации и выходных параметров СНС и ИНС;

– автоматический непрерывный контроль собственной работоспособности, а также исправности сопрягаемых с БСС систем.

На самолете установлено два вычислителя БСС- 95-1В (БСС1 и БСС2). Данные современные вычислительные системы повышают уровень надежности, удовлетворяют современным требованиям точности. Обеспечивают автоматизированное пилотирование воздушным судном, тем самым снижая физическую и психическую нагрузку экипажа. В данный момент развитие вычислительной техники является одним из перспективных развитий авиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиационные приборы и системы: Клюев Г.И., Ульяновск, УлГТУ, 2000
2. Бортовые информационные системы: Курс лекций Кучерявый А. А.
3. Радионавигационное оборудование самолетов. Устройство и эксплуатация: Голяк А.Н., Плоткин С.И., Москва, 1981

MODERN ON-BOARD COMPUTER SYSTEMS OF THE AIRCRAFT

Petrov Vladislav Vladimirovich, Student, e-mail **swimmervladislav@mail.ru**
Kondratyev Alexandr Vladimirovich., e-mail sana_kondratev@mail.ru
Petrov Vladislav Vladimirovich., e-mail swimmervladislav@mail.ru
Antsupov Eric Erikovich, Student, e-mail antsupoverik@yandex.ru
Russkiy Evgeny Yuryevich, *Ph. D.*, e-mail russkij@corp.nstu.ru

Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, 630073, Russia

Abstract: The materials of the work are considered on-Board computer systems installed on modern aircraft and working as part of the on-Board databases of air navigation data, as well as terrain data.

Keywords: satellite navigation system (SNS), on-Board multifunction system (BMS), navigation computing system (VSS).

УДК 537.876.4

СПОСОБЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ БПЛА

Мариниченко Назар Михайлович; Шлепп Илья Сергеевич; Дрючин Никита Алексеевич, студенты; Легкий Владимир Николаевич, д.т.н. заведующий кафедрой АИУС

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7(383)3462623

Мариниченко Н.М., e-mail: nazar.marinichenko@mail.ru

Шлепп И.С., e-mail: shlepp@mail.ru

Дрючин Н.А., e-mail: mv-71@rambler.ru

Легкий В.Н., e-mail: sniios@mail.ru

Адрес для корреспонденции: ***Мариниченко Назар Михайлович,***
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 3462623

Аннотация.

В статье рассматриваются виды противодействий дронов для защиты стратегических объектов.

Ключевые слова: дроны, инциденты с дронами, противодействие дронам

Квадрокоптеры актуальны для различных видов деятельности: развлечение, видеонаблюдение, научные исследования, охота, доставка и т.д.

Квадрокоптер представляет собой беспилотный летательный аппарат, оснащенный четырьмя винтовыми пропеллерами, управление которого осуществляется с помощью RC-пульта (Пульта дистанционного управления) с земли. Так же они могут оснащаться видеокамерами с большим разрешением. Компоновка «4 пропеллера с видеокамерой» считается классической, она позволяет БПЛА быть устойчивым во время полета, а так же есть возможность зависать на одном месте для более качественной видеосъемки. Принцип управления и полета идентичен обыкновенным вертолетам. На (Рис 1.) представлен классическая компоновка квадрокоптера.

Рис. 1 «Классическая компоновка»

С появлением квадрокоптеров участились случаи их применения не по назначению.

Так в конце декабря 2018 года, была полностью остановлена работоспособность аэропорта Гатвик (Gatwick) в Великобритании, на 32 часа. Воздушное пространство над аэропортом было закрыто, из-за риска столкновения самолетов с дронами. Предположительно некоторые источники утверждают, что БПЛА действовал не один, а несколько. Пока один дрон кружил над ВВП, другие находились на подзарядке, после израсходования заряда аккумулятора, дрон спокойно уходил на подзарядку, а другой его заменял. По словам свидетелей, в один день дроны над аэропортом были замечены 50 раз. Операторы и место базирования БПЛА не были обнаружены [1].

Так же были зафиксированы случаи столкновений ГА (Гражданской Авиации) с БПЛА. Так в апреле 2016 года произошло столкновение самолёта с дроном, во время посадки лайнер А320 авиакомпании «BritishAirways» столкнулся с БПЛА. Удар пришелся в носовую часть лайнера, что позволило избежать трагических последствий [2].

Стоит отметить, что квадрокоптеры можно считать обыкновенным управляемым оружием, с помощью которого можно совершать террористические акты, т.к. некоторые дроны способны перевозить полезную нагрузку. Полезной нагрузкой может быть: взрывчатые вещества, устройства постановки помех радиосвязи и т.д. Как показывает практика, во время операции ВКС России, террористы различных группировок осуществляли налеты на авиабазу Хмеймим, с помощью БПЛА, которые были вооружены. Таким образом обыкновенный человек, приобретя квадрокоптер, способен

переоборудовать его, и сделать универсальную машину для совершения террористических актов и выведения из строя каких-либо стратегических объектов. Как пример, квадрокоптер с подвесными неуправляемыми снарядами представлен на (Рис. 2)

Рис 2 «Квадрокоптер с подвесными снарядами»

Рабочая частота квадрокоптеров — 2,4 ГГц. Более низкие частоты так же используются (27 МГц, 72 МГц, 433 МГц, 900 МГц и 1,3 МГц), но для квадрокоптеров принято считать рабочую частоту в 2.44 ГГц.

2,4 ГГц — новое поколение систем, в настоящее время это самая перспективная и часто используемая частота для управления устройствами как летающими в небе, так и ездящими по земле. С появлением алгоритмов с автоматической перестройкой рабочей частоты, благодаря которым нет надобности вручную выбирать и перестраиваться на другие частоты и каналы, эта частота стала стандартной для радиоуправляемых моделей. Антенна с малыми габаритами позволяет конструкции RC-пульта иметь небольшую массу, но радиус приема на частоте в 2.44 ГГЦ меньше, чем у 27/72 МГц.

Частоты в 1,3 ГГц, 868/900 МГц, 433 МГц, предназначены повышенной дальности БПЛА больших размеров.

Ведущие производители устройств, которые передают и принимают сигнал, используют алгоритмы с автоматической перестройкой рабочей частоты, что позволило упростить работу с управлением квадрокоптера. Программное обеспечение постоянно сканирует эфир для поиска наилучшей частоты, отслеживает помехи, и автоматически переходит на свободные каналы. Это происходит множество раз в секунду, так что вы не сможете засечь паузу или

сбой в управлении квадрокоптера, как это было раньше. Еще одним из достоинств этих алгоритмов, является возможность совместного использования 2 и более разных видов квадрокоптеров, без нарушения приема и передачи сигнала другого дрона [3].

На данный момент существуют различные виды борьбы с малогабаритными нарушителями воздушного пространства такие как: постановка помех, уничтожение дрона с помощью другого, использование специальных ловушек [4]. На (Рис. 3) показано использование специальной ловушки для дрона. На (Рис. 4) показана отечественная разработка ружья радио-помех, предусматривающая визуальный контакт с квадрокоптером «Ступор»

Рис. 3 «Специальная ловушка для дрона»

Рис. 4 «Ступор»

Простейшие подавители спутниковых сигналов обычно воздействуют на один (L1) или сразу три (L1-L3) частотных диапазона GPS. Разработаны и более дорогие модели, способные противодействовать всем существующим навигационным системам (GPS, ГЛОНАСС, Galileo и т.д.). Универсальные приборы дают полную гарантию безопасности, но они очень дороги. Стоит учесть, что приемники большинства оснащенных системой GPS современных малоразмерных дронов работают в диапазоне L1. Одним из вариантов устройств постановки помех представлен на (Рис.5).

Рис. 5 «Устройство постановки помех вариант 1»

Второй вид блокираторов засоряет помехами каналы связи дрона с пультом управления. Оператор теряет контроль над летательным аппаратом, а на экране его FPV монитора полностью пропадает изображение. Дальнейшее поведение БПЛА зависит от алгоритма, заложенного в его программное обеспечение. Дрон либо приземляется, либо пытается вернуться в исходную точку. В обоих случаях его миссия прерывается, а охраняемый объект остается неприступным. Стандартная дальность действия таких приборов помех достигает 500-600 метров, самые мощные из них поражают цель на удалении до 3-х километров. Они могут использовать как направленные, так и всенаправленные антенны [5]. Второй вариант устройства постановки помех представлен на (Рис.6).

Рис. 6 «Устройство постановки помех вариант 2»

Выводы

Проведенный анализ состояния технологий по борьбе с малогабаритными БПЛА показал следующие тенденции:

Технологии по борьбе с малогабаритными БПЛА в РФ слабо развиты, т.к. большая часть систем борьбы предусматривают визуальный контакт с квадрокоптером для его поражения, а это негативно сказывается на работоспособности в ночное время суток. Соответственно данная проблема будет актуальна, т.к. стратегические объекты РФ будут уязвимы перед малогабаритными БПЛА.

Список использованных источников

1. https://news.ru/v-mire/bezopasnost-aeroportov-drony-bespilotnik-huligany-policiya-gatvik-london/

2. http://droneflyers.ru/2016/04/19/samolyot-british-airways-stolknulsya-s-dronom-na-podlyote- k-aeroportu-hitrou/

3. https://blog.rcdetails.info/kak-vybrat-apparaturu-upravleniya-kvadrokopterom/#frequency

4. https://m.habr.com/ru/company/makeitlab/blog/397833/

5. https://mykvadrocopter.ru/sovremennye-sredstva-borby-s-dronami/

DRONE SUPPRESSION METHODS

Marinichenko Nazar Michailovich, Student, e-mail nazar.marinichenko@mail.ru
Slepp Ilya Sergeevich, Stedent, e-mail Slepp@mail.ru
Dryuchin Nikita Alekseevich, Student, e-mail mv-71@rambler.ru
Scientificadviser: Legkij Vladimir Nikolaevich, Grand PhD in (Engineering) sciences. of AICS Department
Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Abstract.

The article discusses the types of drones counteraction to protect strategic objects.

Keywords: drones, incidentals with drones, counteracting drones

УДК 621.391.812.7

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Мосейчук Руслан Александрович, студент; Делова Надежда Игоревна, студент; Анцупов Эрик Эрикович, студент; Ромодин Валерий Борисович, канд. техн. наук, доцент

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23
Мосейчук Р. А., e-mail: moseichuk-ruslan@mail.ru
Делова Н. И., e-mail: nad.delova@yandex.ru
Анцупов Э.Э., e-mail: antsupoverik@yandex.ru
Ромодин В.Б., e-mail: romodin@ngs.ru

Адрес для корреспонденции: **Мосейчук Руслан Александрович**,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23

Аннотация: В статье приведён метод расчёта угловой зависимости коэффициента отражения пирамидального радиопоглощающего материала, используемого в безэховых камерах, путем его упрощенного представления в виде плоскослоистой структуры с некоторыми усреднёнными параметрами.

Ключевые слова: коэффициент отражения, пирамидальные поглотители, радиопоглощающий материал, безэховые камеры.

Безэховой камерой (БЭК) называют помещение, покрытое внутри радиопоглощающим материалом для поглощения электромагнитных волн и предотвращение их отражения от стен и создания в некоторой области пространства камеры безэховой зоны, которая обладает требуемым малым коэффициентом отражения близким к “свободному пространству” [1].

Чаще всего в качестве радиопоглощающих покрытий в безэховых камерах применяют пирамидальные поглотители (рис. 1). Их форма способствует согласование панелей со свободным пространством, что позволяет уменьшить отражение от их поверхности. Для хорошего поглощения угол при вершине пирамиды выбирают достаточно малого значения (<30-60°) (рис. 2) [3, 4].

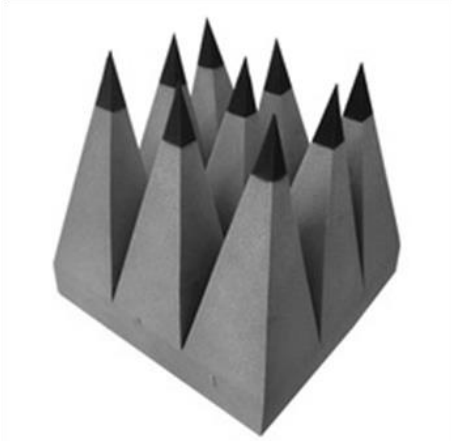


Рис. 1 — Внешний вид пирамидальных поглотителей.

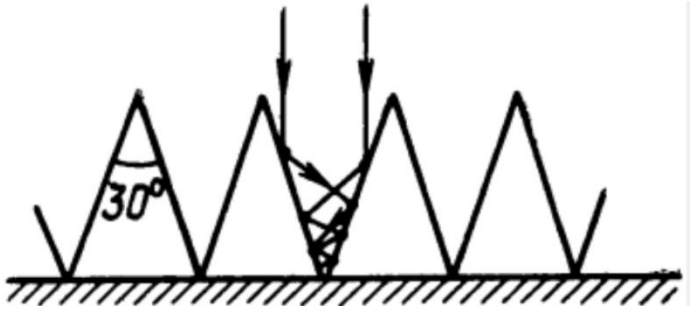


Рис. 2 — Отражение радиоволн от элементов пирамидального поглотителя.

В качестве радиопоглощающих материалов для пирамидальных поглотителей чаще всего применяются углеродосодержащие композиционные материалы или материалы, которые содержат добавки из оксидов металлов (например, из мелкодисперсного карбонильного железа). Такого рода включения позволяют добиться необходимой величины тангенса угла диэлектрических потерь материала. Более малых значений отражений можно добиться, если применять вспененные материалы, которые обладают малыми значениями относительной диэлектрической проницаемости [1].

При выпуске радиопоглощающие панели аттестуются по модулю коэффициента отражения электромагнитных волн от поверхности панели при нормальном падении в диапазоне рабочих частот. Угловая зависимость модуля коэффициента отражения может быть получена экспериментальным путём, за счёт дополнительных испытаний.

В большинстве случаев такую угловую зависимость удобней получить расчётным путём. Из-за того что размеры стен безэховых камер много больше длинны волны, то удобнее использовать усреднённую величину коэффициента отражения от стенки, чем реальную форму поля, которая рассеивается от панели. Панель можно упрощённо представить в виде плоскослоистой структуры с некоторыми средними величинами комплексной относительной диэлектрической проницаемости в каждом слое [4]. Средняя комплексная диэлектрическая проницаемость i-ого слоя может быть найдена с помощью формулы Лихтенекера для смеси веществ:

$$\varepsilon_{i\sum} = \varepsilon_{i1}^{y}\varepsilon_{i2}^{(1-y)},$$

где y – объёмная часть первого вещества в i-ом слое, ε_{i1} и ε_{i2} – комплексные относительные диэлектрические проницаемости первого и второго вещества в i-ом слое, соответственно.

Слой плоскослойной среды обладает собственной характеристической матрицей, вид которой различается для разных поляризаций [2]:

$$[M_{i\parallel}] = \begin{bmatrix} \operatorname{ch} j\,\beta_i & \dfrac{W_0 \cos\phi_1}{W_i \cos\phi_i}\operatorname{sh} j\,\beta_i \\ \dfrac{W_i \cos\phi_i}{W_0 \cos\phi_1}\operatorname{sh} j\,\beta_i & \operatorname{ch} j\,\beta_i \end{bmatrix}$$

$$[M_{i\perp}] = \begin{bmatrix} \operatorname{ch} j\,\beta_i & \dfrac{W_i \cos\phi_i}{W_0 \cos\phi_1}\operatorname{sh} j\,\beta_i \\ \dfrac{W_0 \cos\phi_1}{W_i \cos\phi_i}\operatorname{sh} j\,\beta_i & \operatorname{ch} j\,\beta_i \end{bmatrix},$$

где $\beta_i = \frac{2\pi d_i}{\lambda_0}\sqrt{\varepsilon_i'(1 - j\operatorname{tg}\delta_i)}\cos\phi_i$; $\arcsin\left(\dfrac{\sin\phi_i}{\operatorname{Re}\left\{\sqrt{\varepsilon_i'(1-j\operatorname{tg}\delta_i)}\right\}}\right)$.

Характеристическая матрица всей плоскослоистой среды $M_\sum$ может быть найдена следующим образом:

$$M_\sum = M_1 \cdot M_2 \cdot \ldots \cdot M_i \cdot \ldots \cdot M_N = \prod_{i=1}^{N} M_i = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix}.$$

Из элементов суммарной матрицы для элементов плоскослоистой среды может быть найден коэффициент отражения плоской волны:

$$\Gamma_\sum = \frac{(m_{11} + m_{12}) - (m_{21} + m_{22})}{m_{11} + m_{12} + m_{21} + m_{22}}.$$

Данный подход помогает найти параметры поглощающих панелей для любых поляризаций падающей волны, на начальных этапах проектирования, ещё до выбора конкретного типа материала [4].

Также данным методом даёт возможность подобрать высоту и форму пирамидальных или призматических выступов. Следует отметить, что при использовании поглощающих панелей с формой отличной от линейной (позволяет добиться однотипных зависимостей коэффициента отражения от угла падения), например, экспоненциальной формы образующей, позволяет

увеличить диапазон углов падения, при которых коэффициент отражения не превосходит заданной при проектировании величины и, следовательно, увеличить коэффициент безэховости.

Приведённый метод может использоваться для нахождения комплексной относительной диэлектрической проницаемости материала радиопоглощающей панели при условии, что известны геометрическая форма её стенки и величина коэффициента отражения от панели при падении электромагнитной волны по нормали к её поверхности при заданной частоте [4].

Библиографический список:

1. Мицмахер М.Ю., Торгованов В.А. Безэховые камеры СВЧ. - М.: Радио и связь, 1982. - 128 с.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1973. - 721 с.
3. Козлов С. В. Разработка безэховой камеры с постоянным поперечным сечением/ С. В. Козлов, 2012 г. – 4 с.
4. Моделирование поверхности стенки безэховой камеры: Материалы Международной научно-технической конференции, 2-6 декабря 2013 г./ Москва, 2013. – 3 с.

THE SIMPLE CHARACTERISTICS CALCULATION OF RADAR ABSORBING MATERIALS FOR ANECHOIC CHAMBERS

Mosejchuk Ruslan Aleksandrovich, **Student, e-mail** moseichuk-ruslan@mail.ru
Delova Nadezhda Igorevna, Student, e-mail nad.delova@yandex.ru
Antsupov Eric Erikovich Student, e-mail antsupoverik@yandex.ru
Romodin Valery Borisovich Associate Professor, Ph.D., e-mail romodin@ngs.ru

Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, 630073, Russia

Annotation – The article presents the angular dependence calculation method of the reflectivity pyramid absorber used in anechoic chambers by its simplified representation in the form of a plane-layer structure with averaged parameters.

Keywords – reflectivity, pyramid absorber, microwave absorbers, anechoic chamber.

УДК: 623.1/.3

ФОРМЫ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БРОНЕТЕХНИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Непомнящая Виктория Владимировна, студент; Шиндряев Егор Михайлович, студент; Шебалкова Любовь Васильевна, старший преподаватель кафедры АИУС; Ющенко Валерий Павлович, профессор кафедры АИУС

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7(383)3462623
Непомнящая В.В.,e-mail: nepomnyashchayav@inbox.ru
ШиндряевЕ.М., e-mail:sgm35@yandex.ru
ШебалковаЛ.В., e-mail:shebalkova@corp.nstu.ru
Ющенко В.П., e-mail:yushhenko@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: ***Непомнящая Виктория Владимировна,***
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 3462623

Аннтотация: В данной статье рассматриваются, формы наружной поверхности бронетехники и радиопоглощающие материалы, связанные с активной защитой бронетехники. Для эффективной маскировки бронетехники от активной атаки, с использованием метаматериалов. Технологии снижения заметности являются самостоятельным разделом военно-научной дисциплины электронных средств противодействия, охватывают диапазон техники и технологий изготовления военной техники.

Ключевые слова:Средства снижения заметности, радиопоглощающие материалы, радиолокационный диапазон.

В данной статье рассматриваются, формы наружной поверхности бронетехники и как эффективно можно применять радиопоглощающие материалы, связанные с активной защитой бронетехники.

Рост пробивной способности бронебойных снарядов вынуждает непрерывно изыскивать пути повышения защитных характеристик брони. Одним из путей создания комплексной зашиты от различных снарядов при жестких ограничениях веса является разработка броневых преград, состоящих из двух, трех и большего количества слоев с различными физико-механическими характеристиками[3].

Практическая реализация данного способа сводится к формированию поверхности танка, преимущественно, из плоских протяженных наклонных листов, развернутых так, чтобы отражать луч локатора в сторону от него. Башня, корпуса наружных агрегатов и ствол пушки выполняются не закругленными, а имеют форму ограненной поверхности, как это выполнено, на базе танка AMX-30, изготовленного фирмой GIAT. Например, на демонстраторе «STEALTH-технологий» – комплекс способов снижения заметности боевых машин в радиолокационном, инфракрасном и других областях спектра обнаружения посредством специально разработанных геометрических форм и использования радиопоглощающих материалов и покрытий, что заметно уменьшает радиус обнаружения и тем самым повышает выживаемость боевой машины. Технологии снижения заметности являются самостоятельным разделом военно-научной дисциплины электронных средств противодействия, охватывают диапазон техники и технологий изготовления военной техники. Представители фирмы полагают, что наиболее удачные конструктивные решения. К числу уже реализованных мероприятий маскировки следует отнести установку на башню плоских наружных броневых листов и размещение наружного оборудования под этими листами. Выигрыш в скрытии танка от обнаружения РЛС, которого можно достичь за счет рационального выбора формы наружной поверхности.[1]

Особо надо отметить, что исключение широконаправленных отражателей из архитектуры внешнего контура приводит при движении танка к увеличению скорости флуктуаций отраженного сигнала (увеличению дисперсии величины

σ), а в конечном итоге, способствует снижению вероятности обнаружения танка.

Вопрос о маскировки бронетехники встал сразу же с её появлением. Ведь эффект маскировки зависит от «показателя преломления» материала или его способности влиять на направление света, проходящего через него. Свет предпочитает короткий путь между двумя точками, который обычно является прямой линией. Однако с метаматериалами самый быстрый путь может быть таким, который огибает объект. Речь идет о том, что такой материал должен создавать видимость пространства и в этом пространстве можно изгибать свет, а значит, не будет отражения.

Действительно, современные материалы способны перенаправлять всего лишь микроволны, что означает, что маскирующее устройство, будет работать только против радаров или других микроволновых излучателей. Метаматериалыимеют отрицательный показатель преломления, они неуязвимы для маскировки объектов, так как их невозможно обнаружить средствами радиоразведки. Тем не менее, существующие метаматериалы только в первом приближении имеют отрицательный показатель преломления, что приводит к значительным вторичным переизлучениям.

Для создания эффекта маскировки субструктуры метаматериалов должны быть меньше, чем длина волны перенаправляемого света. Это возможно для микроволн, длина волны которых составляет около трех сантиметров. Но для перенаправления видимого света, длина волны которого составляет около половины микрометра или полмиллионной доли метра, потребуются метаматериалы со структурами, разработанными на молекулярном уровне. Применение метаматериалов в технике состоит в компенсации высокой реактивной емкости ЭМА-диполя индуктивностью окружающей его метаоболочки. При этом толщина метаоболочки может быть меньше сотых

долей длины волны в свободном пространстве, что не приводит к заметным затуханиям электромагнитного поля.[2]

В заключение отметим, что анализ известных направленийисследований в теории метаматериалов позволяет спрогнозировать появление антенных конструкций на основе активных и нелинейных метаструктур, теорию и технологии которых еще предстоит разработать. Вполне вероятно, что в этотпроцесс могут быть вовлечены также хиральныеметасреды, материалы с искусственным магнитным и квадрупольным откликом, метаматериалы с сильной пространственнойдисперсией, с помощью которых уже пытаются создавать оптические приборы с разрешением, превышающим дифракционный предел. Учитывая успешное начало эры метаматериалов в антенной технике, сопровождавшееся открытием целого ряда замечательных эффектов, есть основания надеяться,что ее продолжение станет не менее впечатляющим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. http://btvt.narod.ru/4/armor.htm
2. http://armor.kiev.ua/Tank/komp/komp1/
3. Евдокимов В.И., Гуменюк Г.А., Андрющенко М.С. Е15 Неконтактная защита боевой техники / В.И. Евдокимов, Г.А. Гуменюк, М.С.Андрющенко. — СПб.: Реноме, 2009. — 176 с.,

FORMS OF THE EXTERNAL SURFACE OF ARMS AND APPLICATION OF RADIO-ABSORBING MATERIALS

NepomnyashchayaVictoriyaVladimirovna, Student, e-mail nepomnyashchayav@inbox.ru
ShindryaevEgor Mikhailovich, Student. e-mailsgm35@yandex.ru
ShebalkovaLyubovVasilevna,* assist. prof. *of AICS Dep. e-mail shebalkova@corp.nstu.ru
YushchenkoValeriy Pavlovich, full prof. of AICS Dep. e-mail yushhenko@corp.nstu.ru

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Abstract.

The article is devoted to forms of the outer surface of armored vehicles and radio-absorbing materials associated with active protective armored vehicles can be used. For effective masking of armored vehicles from active attack, using met-materials. Technologies for reducing visibility are an independent section of the military-scientific discipline of electronic countermeasures, covering a range of equipment and technologies for the manufacture of military equipment.

Keywords: Means of reducing visibility, radio-absorbing materials, radio range.

УДК 681.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Новосёлова А.П., Ларин С.В, Белова Е.И, Чугреев А.С

Научный руководитель:
старший преподаватель кафедры АИУС Шумейко В.А.
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск,
Новосёлова А.П., email Novosyolovaa@gmail.com
Адрес для корреспонденции: Новосёлова Александра Павловна, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)462-72-80

Аннотация

Изложены результаты комплексной проработки облика высокоинформативных оптико-локационных систем. Описан экспериментальный образец сканирующего высотомера. Представлены результаты экспериментальных исследований трехмерных изображений реальных объектов. Предложен алгоритм и программное обеспечение для распознавания наземных (надводных) объектов по геометрическим признакам в условиях сложного рельефа.

Ключевые слова

Трехмерная лазерная локация, помехоустойчивость, наносекундные импульсы, высокоинформативные оптико-локационные системы, распознавание объектов по геометрическим признакам.

1.Введение

В данной работе рассматриваются импульсные лазерные системы для обнаружения, определения координат и распознавания объектов путем измерения профиля рельефа и многократного измерения расстояния в заданном угловом секторе [1,2,3,4].

Техническая реализация локационной системы (ЛС) предполагает либо применение узконаправленных излучателя и фотоприемника в сочетании с двухкоординатным сканером (или бортовым однокоординатным сканером на подвижном носителе), либо зондирование лазерным импульсом всего заданного углового сектора.В перспективе предлагается применение

многоэлементного дальномерного фотоприемного устройства для получения трехмерного кадра за минимальное время.

Интервал измерения расстояния составляет от десятков метров (полупроводниковый излучатель) до сотен метров (твердотельный или волоконный лазер) при погрешности доли – единицы метров в угловом секторе от 0,02 мрад до 0,15 мрад.

2. Результаты НИР

На кафедре ПИУС разработан экспериментальный четырехканальный сканирующий высотомер с частотой импульсов 50 кГц (см. Рис.1), определяющий облик ЛС с электромеханическим сканером (перед оптическими системами излучателя и фотоприемника вращаются две сдвинутые по углу трехгранные зеркальные призмы).

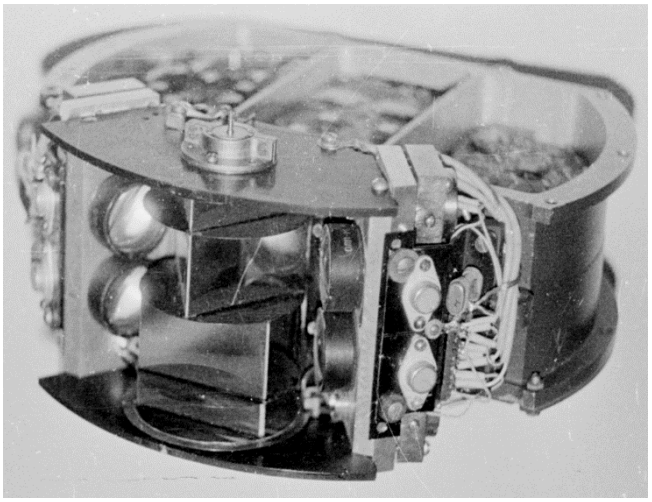


Рис. 1 – Четырехканальный сканирующий высотомер с частотой импульсов 50 кГц

Примеры трехмерных кадров, полученных с помощью, установленной на мачте сканирующей ЛС, показаны на Рис.2 [1].

Трехмерные кадры (наборы строк, полученные при движении носителя ЛС с дискретностью строк 0,2-1,0 м) для технических объектов имеют характерные форму и размеры.

Строки кадров для кроны дерева значительно варьируются по форме.

С учетом структуры отраженных от водной поверхности оптических импульсных сигналов («изрезанность» последовательности сигналов, когда в области волновых наклонных поверхностей волн отсутствуют принимаемые импульсы) обнаружение и классификация технических надводных объектов возможны с достаточной достоверностью. Необходимо переходить на современную элементную базу.

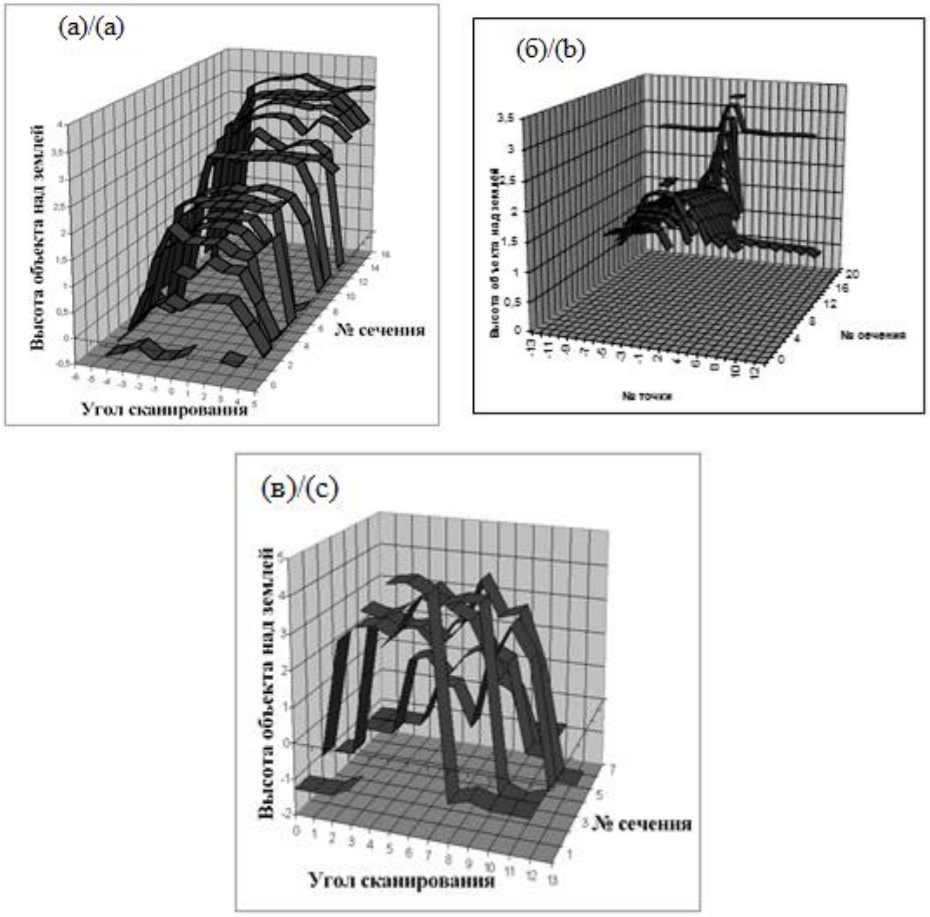


Рис 2 – Трехмерные кадры от разных объектов:
(а) – автомобиль Урал-375; (б) – самолет МИГ-17, (в) – крона лиственного дерева

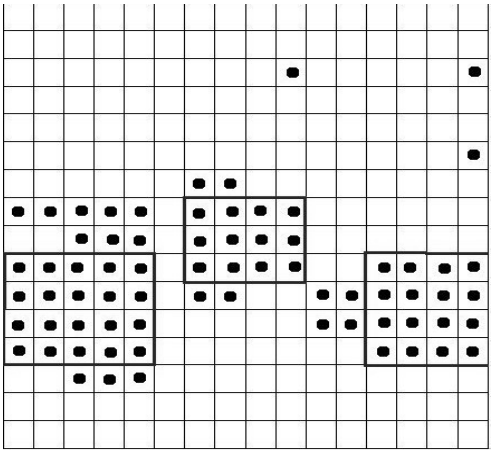


Рис. 5 – Единичная матрица для кадров трехмерных изображений объектов техники, окруженных деревьями и кустарником, точками обозначены единичные области, прямоугольниками обозначены области выявленных заданных объектов путем оконтуривания найденных единичных областей

Процесс обработки полученной матрицы заключается в нахождении одинаковых по высоте областей для какой-либо плоской поверхности в

сканируемом участке пространства. Классические алгоритмы с построчным перебором двоичной матрицы с установкой маркеров на плоских участках, требуют значительное время обработки.

Предложено [4-6]применить алгоритм построчного перебора изображений малоформатной скоростной матрицы, что дает выигрыш по времени обработки при некотором снижении точности определения границ равно-высотных областей[6].

Основные затраты времени приходятся на перебор нулевых строк (содержащих только нули, назовем их «нулевыми»), а также на выделение отдельно расположенных единиц, обусловленных случайными ошибками измерения. Интерес представляют только области единиц, соответствующие плоскости в секторе сканирования[6].

Для сокращения затрат времени следует применить предварительный перебор матрицы, при котором, обработка матрицы разбивается на несколько этапов:

1. Предварительный перебор матрицы – для предварительного обнаружения равновысотных (единичных) областей.
2. Аппроксимация областей, например, по условию заданной формы и максимальной площади.
3. Распознавание изображения объекта и принятие решения.

Согласно предложенному алгоритму используется параллельный перебор нескольких строк. Чем больше количество одновременно перебираемых строк, тем выше точность обнаружения единичных областей, при больших вычислительных ресурсах.

3. Перспективы

В работе предложено практическое решение задачи создания системы с повышенной достоверностью определения дальности до заданных объектов за счет селекции объектов по конкретным признакам (движение с определенной скоростью, размеры, форма и т. д.), т. е. с применением технологии распознавания трехмерного рельефа наблюдаемой сцены[1, 4-7]..

В основе построения системы лежит анализ трехмерного импульсного отклика, принятого многоэлементным дальномерном фотоприемным устройством, при зондировании пространства наносекундным лазерным импульсом.

Заключение

Предложенные решения и полученные результаты позволяют разрабатывать оптико-локационные системы нового поколения: высокоинформативные дальномеры, измерители реальной высоты до неровных поверхностей, импульсные системы для обнаружения и распознавания объектов, системы управления полетом и коррекции траектории летательных аппаратов. Специализированное программное обеспечение для ПЛИС или сигнальных процессоров дает возможность моделировать и реализовывать алгоритмы распознавания объектов по геометрическим признакам и скорости с селекцией по дальности на фоне сложного рельефа.

При разработке бортовых системраспознавания необходимо учитывать дестабилизирующие помеховые факторы [1,4-7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазерные системы ближней локации. Оптоэлектронные датчики / В.Н.Легкий, В.Д.Топорков, под ред. В.Н. Легкого. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 179 с.
2. Использование ультракоротких импульсов в лазерных локационных системах для задач распознавания / Е.В.Бурый, С.А.Зубцов, С.Б.Савельев – М.: ГОНТИ МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1990. – 61с.
3. Легкий, В.Н. Моделирование алгоритма измерения профиля рельефа и распознавания объектов в бортовых сканирующих импульсных лазерных дальномерах / В.Н.Легкий, В.А.Шумейко, И.Ю. Баласов и др. // Международная конференция-семинар по микро/нанотехнологиям и электронным приборам EDM'2010. Секция 5. «Оптико-электронные приборы и системы: физика, электроника, применения». -Новосибирск: НГТУ, 2010. – С. 390-392.
4. Легкий, В.Н. Высокоинформативный распознающий дальномер / В.Н.Легкий, Е.В.Плешакова // Патент РФ № 22545457 от 20.06.05 г.
5. Легкий, В.Н., Галун Б.В., Санков О.В. // Оптоэлектронные элементы и устройства систем специального назначения Учебник. Изд-во НГТУ, 2011. – 455 с.
6. В.Н. Легкий, В.П. Ющенко, В.А. Шумейко, О.В. Санков, В.Г. Эдвабник, С.А.Буднов.Высокоинформативные оптико-локационные системы с обработкой трехмерных изображений Доклады АН ВШ РФ (Перечень2017, №3 (36). - Новосибирск, НГТУ,), С. 64-73.
7. Семенов В.Т., Легкий В.Н., Санков О.В., Эдвабник В.Г.Метрология на предприятиях оборонно-промышленного комплекса: обеспечение единства измерений. Учебник. Изд-во НГТУ, 2019. – 178 с.

DESIGNING DYNAMIC OBJECT MANAGEMENT DEVICES

Novosyolova Alexandra Pavlovna, e-mail novossyolovaa@gmail.com
Larin Sergei Viktorovich, student
Belova Elena Igorevna, student
Chugreev Alexander, student
Scientificadviser**: *Shumeiko Alexander Vladimirovich,* Senior Lecturer of AICS Department**
Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Abstract.
The results of a comprehensive study of the appearance of highly informative optical location systems are presented. An experimental sample of a scanning altimeter is described.

Keywords: Three-dimensional laser location, noise immunity, nanosecond pulses, high-informative optical location systems.

УДК621.3.044.3

ЛАЗЕРНЫЕ ЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ВЕРТОЛЕТОВ

Петров Владислав Владимирович, студент;Анцупов Эрик Эрикович, студент;Борисова Ирина Валентиновна, старший преподаватель

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23
Петров В.В., e-mail **swimmervladislav@mail.ru**
АнцуповЭ.Э., e-mail **antsupoverik@yandex.ru**
Борисова И.В., e-mail **rene_sans@mail.ru**
Адрес для корреспонденции: ***Петров Владислав Владимирович,*** Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. +7 (383) 346-26-23

Аннотация: В материалах работы рассмотрены условия и способы применения лазерных локационных систем в составе комплексов бортового оборудования вертолетов. Для обеспечения безопасности выполнения полетов на малых высотах в условиях низкой освещенности и недостаточной видимости была использована система HELLAS-W фирмы EADS (Германия) и система LOAM фирмы SELEX Communications S.p.A (Италия).

Ключевые слова: принцип лазерной дальнометрии, ЛЛС, HELLAS-W фирмы EADS (Германия) и система LOAM фирмы SELEX Communications S.p.A (Италия).

Нормы эксплуатации вертолетной техники общегражданского и специального назначения требуют обеспечения безопасности полетов на малой высоте в ночных условиях и в условиях плохой видимости. При полетах на малой высоте опасным препятствием для вертолетов могут стать провода и опоры линий электропередач (ЛЭП), высокие дымовые трубы, мачты, башни и отдельно стоящие деревья. Они достаточно плохо визуализируются в ночных условиях и в условиях недостаточной видимости (дождь, снег, туман, задымленность, запыленность и т.п.). Поэтому в состав пилотажнонавигационных комплексов вертолетов должны быть включены лазерно-локационные (лидарные) системы, которые должны визуализировать препятствие и предупредить экипаж вертолета о возможности опасного приближения к нему.

Лазерно-локационные системы (лазерные лидары), включенные в структуру обзорно-пилотажных комплексов (ОПК), позволят контролировать полет вертолета на малой высоте и предупреждать столкновения. Круглосуточный обзор закабинного пространства передней полусферы с

визуализацией проводов и опор линий электропередач, дымовых труб, мачт и других высоких объектов в условиях низкой освещенности или недостаточной видимости можно отнести к ключевым условиям применения лазерных локационных систем в составе ОПК.

Известно, что лидарные системы (с импульсной лазерной подсветкой и пространственным выделением объектов) относятся к активным системам видения. Они способны обнаружить и визуализовать "интегрально невидимые" объекты (провода и опоры ЛЭП, трубы, мачты и т.д.) в условиях, когда системы технического зрения (телевизионные или тепловизионные камеры) не могут получить изображение удовлетворительного качества. Предназначение таких систем – наблюдение объектов в ночных условиях, в условиях тумана, задымленности и сильной запыленности.

Типовой состав лазерного лидара – передающий канал (лазерный излучатель, формирующий короткие импульсы, и оптическая система) и приемный канала (оптическая система и быстродействующее фотоприемное устройство), а также сканер и устройство обработки сигнала. При этом импульсный источник света с формирующей оптикой обеспечивает импульсную подсветку окружающего пространства.

Зондирующие свойства лидара основаны на том, что поверхность объектов, расположенных на пути распространения лазерного луча, отражают падающее излучение. В результате от такого объекта начинает распространяться вторичная волна, часть энергии которой возвращается в точку излучения и фиксируется приемником. При этом время, затраченное на распространение от источника к объекту и обратно к приемнику, позволяет однозначно определить дальность расстояния от локатора до объекта (рис. 1).(известный принцип лазерной дальнометрии).

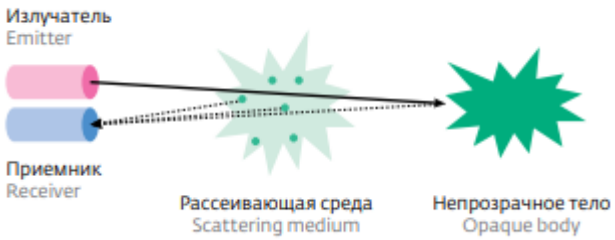


Рис.1 – Принцип лазерной дальнометрии

При этом при выполнении лазерной локационной съемки необходимо обеспечить безопасность использования лазеров в составе лидаров. Например, для аэросъемочных лидаров безопасность, как правило, определяется минимально допустимой высотой полета и может составлять несколько сот метров. Это ограничение существенно, так как дальность (высота) является одним из главных параметров, прямо влияющих на детальность (плотность сканирования), а также на точность и ширину полосы захвата.

Использование лидаров с рабочей длиной волны 1,5 мкм предпочтительно из-за практически полной безопасности этого излучения.

Стекловидное тело человеческого глаза почти полностью состоит из воды, поэтому оно оказывается почти непрозрачным (так как вода поглощает электромагнитное излучение) на длине волны 1,5 мкм.

Многие типы современных зарубежных летательных аппаратов (ЛА) (в том числе вертолетная техника) оснащены оптико-электронными лазерными локационными системами (лазерными радарами). Отметим известные зарубежные лазерные локационные системы, построенные на оптиковолоконных лазерах, применяемые на вертолетах для обеспечения безопасности выполнения полетов на малых высотах в условиях низкой освещенности и недостаточной видимости (как опция). Это системы HELLAS-W фирмы EADS (Германия) и система LOAM фирмы SELEX Communications S.p.A (Италия) (рис.2).

Рис.2 – Лазерные локационные системы LOAM (слева) и HELLAS-W (справа)

В этих системах используется лазерный импульсный передатчик с высокой частотой повторения импульсов излучения и оптико-механическая система развертки, построенная на оптоволокне. Эта система обеспечивает формирование строки из 128 волокон, при этом в каждый момент времени лазерное излучение поступает только с одного волокна. Прием импульса лазерного излучения, отраженного от препятствия, осуществляется также с использованием оптоволокна и одноэлементного быстродействующего фотоприемника. Качающееся зеркало сканирует пространство по вертикали. Таким образом, осуществляется последовательное сканирование (просмотр) пространства, и после обработки эхо-сигналов от препятствий формируется синтезированное (электронное) изображение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

4. Якушенков Ю.Г. Современное состояние и тенденции развития оптико-электронных систем с матричными приемниками излучения. – Изв. ВУЗов. Сер. Приборостроение, 2005.– 47с.
5. Техническое описание системы HELLAS-W. Материал фирмы EADS (Германия), 2010.-4с.
6. Техническое описание системы LOAM. – Материал фирмы SELEX Communications S.p.A (Италия), 2008.-8с.

LASER LOCATION SYSTEMS FOR INCREASING SAFETY OF HELICOPTER FLIGHTS

Petrov Vladislav Vladimirovich, Student, e-mail **swimmervladislav@mail.ru**
Antsupov Eric Erikovich, Student, e-mail antsupoverik@yandex.ru
Borisova Irina Valentinovna, Senior Lecturer, e-mail rene_sans@mail.ru

Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, 630073, Russia

Abstract: The materials considered the conditions and methods of application of laser radar systems as part of helicopter avionics equipment systems. To ensure the safety of operations at low altitudes in low light conditions and insufficient visibility, the HELLAS-W system from EADS (Germany) and the LOAM system from SELEX Communications S.p.A (Italy) were used.

Keywords: the principle of laser ranging, LLS, HELLAS-W by EADS (Germany) and LOAM system from SELEX Communications S.p.A (Italy).

УДК 681.2.085

ОЧИСТКА СКОРОСТРЕЛЬНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ УСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Федоров Павел Михайлович, студент; Петрова Анастасия Александровна, студент; Легкий Владимир Николаевич, д. т. н., заведующий кафедрой АИУС

Новосибирский Государственный Технический Университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
Федоров П. М. pavel.fedorov241@gmail.com
Адрес для корреспонденции: ***Федоров Павел Михайлович***, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (923)178-27-07

Аннотация

При использовании артиллерийских установок на летательных аппаратах возникает проблема загрязненности канала ствола. Для принятия решения о необходимости чистки канала предлагается сначала провести диагностику ствола при помощи специального устройства, работа которого основана на принципе поглощения и отражения излучения веществами нагара и копоти.

Ключевые слова

Артиллерийская установка летательного аппарата, лазерное излучение, коэффициент поглощения, оптическая система.

1. Введение

Артиллерийские установки на летательных аппаратах при выполнении боевых задач сталкиваются с проблемой загрязненности канала ствола. Так же в процессе стрельбы ствол подвергается износу. В данной статье мы предлагаем решение проблемы возможного износа в результате воздействий химического характера.

2. Теория

В результате причин химического характера в канале ствола образуется нагар, который оказывает большое влияние на износ канала ствола. Нагар состоит из растворимых и нерастворимых веществ. Растворимые вещества представляют собой соли, образующиеся при взрыве ударного состава капсюля (в основном - хлористый калий). Растворимые соли, впитывая влагу из воздуха, образуют раствор, вызывающий ржавление. Нерастворимыми веществами нагара являются: зола, образовавшаяся при сгорании порохового заряда; томпак, сорванный с оболочки пули; медь, латунь, оплавленные из гильзы;

свинец, выплавленный из дна пули; железо, оплавленное из ствола и сорванное с пули. Если после стрельбы не удалить весь пороховой нагар, то канал ствола в течении короткого времени в местах скола хрома покроется ржавчиной, после удаления которой остаются следы. При повторении таких случаев степень поражения ствола будет повышаться и может дойти до появления раковин, т.е. значительных углублений в стенках канала ствола [1].

Для принятия решения о необходимости чистки ствола предлагается следующее устройство – устройство лазерной оценки состояния канала ствола – β-УЛОСК-1. Внешне данное устройство напоминает фонарь, размеры которого не превышают размеров обычного ручного фонаря. В основе работы устройства лежит лазерный излучатель и приемник лазерного излучения. На фронтальной части устройства находятся два окна – одно для генерации излучения, другое – для принятия излучения. Устройство производит коротковолновое излучение в полость канала ствола, которое, в свою очередь, отражается от стенок канала и передается на приемник излучения. По принятому излучению можно сделать вывод о поглощённой части излучения, сравнивая его с изначальным излучением, что даст нам информацию о степени загрязненности канала ствола. На корпусе устройства находятся 5 светодиодов, каждый из которых обозначает поглощение излучения в размере 0,2 от изначального.

Если горит один светодиод - это значит, что доля поглощенного излучения от 0 до 0,2 от изначального, если два – от 0,2 до 0,4, если 3 – от 0,4 до 0,6, если 4 – от 0,6 до 0,8, если 5 – от 0,8 до 1,0. Коэффициент поглощения пламенной сажи - 0,98 [2]. Соответственно, при наличии в канале ствола пламенной сажи, количество загоревшихся светодиодов на устройстве будет равно 5.

Принятие решения о необходимости чистки ствола должно быть принято при трех и больше загоревшихся светодиодах.

3. Вывод

Предполагается, что данное устройство будет портативным, малогабаритным, удобным в использовании, быстрым и дающим понимание о состоянии канала артиллерийского орудия. Данные характеристики необходимы для использования устройства на летательных аппаратах.

Список литературы

1. Причины износа ствола [Электронный ресурс].URL: https://studfiles.net/preview/4294366/page:2/ (дата обращения 17.11.2018)
2. Коэффициенты излучения и поглощения материалов [Электронный ресурс].URL: http://www.mensh.ru/articles/koefficienty-izlucheniya-pogloshcheniya-materialov (дата обращения: 17.11.2018)

CLEANING OF FAST ARTILLERY INSTALLATIONS AIRCRAFT

Fedorov Pavel Mikhailovich, student; Petrova Anastasia Alexandrovna, student; Legky Vladimir Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Head of department of AIOS

Novosibirsk State Technical University,
630073, Russia, Novosibirsk, Prospect Karla Marksa, 20
Fedorov P.M. pavel.fedorov241@gmail.com
Address for correspondence: ***Fedorov Pavel Mikhailovich***,
Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Prospect Karla Marksa, 20, tel. (923) 178-27-07

Annotation.

When using artillery installations on aircraft, there is the problem of contamination of the barrel. To make a decision on the need to clean the canal, we suggest that you first diagnose the trunk with a special device, whose work is based on the principle of absorption and reflection - extraction of carbon and soot.

Keywords: artillery installation of the aircraft, laser radiation, absorption coefficient, optical system.

УДК 378.162.33

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И БАЗОВЫХ СХЕМ НА ИХ ОСНОВЕ

Щербатенко Николай Константинович, студент;

Литвиненко Сергей Алексеевич, ассистент кафедры АИУС.

Новосибирский Государственный Технический Университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса 20, тел. (913)005-48-19
Щербатенко Н.К., e-mail franklinisgood5@gmail.com
Литвиненко С.А., e-mail llitvinenko@corp.nstu.ru
Адрес для корреспонденции: **Щербатенко Николай Константинович**, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация:

В статье рассматривается универсальный стенд для углубленного изучения характеристик и методик применения элементной базы электронных систем.

Ключевые слова: микроконтроллер, операционный усилитель, АЦП, преобразователь питания, преобразователь интерфейса, оцифровка данных.

В настоящее время существует масса комплексов, представляющих собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для проведения лабораторных работ по общетехническим и специальным дисциплинам, например, NIElvisI и NIUSB-6009. Однако стоимость указанных продуктов значительная, поэтому возникает потребность в разработке экономичного, но не менее функционального лабораторного комплекса (стенда). Объединение аппаратных средств и ПО, созданного в среде разработки LabVIEW, позволит сделать разрабатываемые стенды измерительными приборами с широкими функциональными возможностями.

Аппаратная часть стенда включает в себя:

- операционный усилитель;
- АЦП;
- микроконтроллер I2C;
- источник питания;
- цифровые аналоговые входы/выходы.

Программное обеспечение стенда состоит из набора виртуальных инструментов, выполняющих функции измерительных приборов и устройств. Набор виртуальных измерительных средств содержит:

- осциллограф;
- анализатор спектров;
- цифровой мультиметр;
- генератор сигналов;
- построитель Вольт-Амперных и Амплитудно-Частотных характеристик;
- анализатор входных/выходных сопротивлений и напряжений.

Основными рабочими кнопками приборов являются кнопки запуска выполнения виртуального прибора и сохранения данных измерений и/или анализа данных в файл. Настройка и регулировка приборов осуществляется виртуальными рычагами управления, которые управляются либо с помощью компьютерной мыши, либо клавиатуры. Клавиатура является вспомогательным элементом, позволяя вводить значения регулируемых параметров непосредственно на цифровые панели (рисунок 1).

Рисунок 1. Программное обеспечение стенда в среде LabVIEW

Исследуемая цепь собирается на макетной плате и подключается к измерительному стенду. Для анализа двухполюсных и трехполюсных цепей в программном обеспечении содержаться специальные измерители комплексных сопротивлений, построителей ВАХ двухполюсных и трехполюсных элементов. Собранную исследуемую цепь необходимо подключить к стенду, далее через USB стенд подключается к компьютеру и после этого производим анализ данных.

В подготовке грамотных специалистов для ракетно-космической отрасли микроконтроллерные комплексы разработчика имеют большое значение. В процессе работы с комплексами студенты получают дополнительные знания и навыки, в частности пользование программой LabVIEW, развитие логического мышления, а также получают базовый опыт ведения разработок и внедрения.

Библиографический список:

1. http://www.ni.com/ru-ru/support/model.usb-6009.html
2. http://www.ni.com/ru-ru/support/model.ni-elvis-ii.html

THE DEVELOPMENT OF A TEST BENCH TO STUDY THE CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR ELEMENTS AND BASIC CIRCUITS BASED ON THEM

Sherbachenko Nicholas Konstantinovich e-mail franklinisgood5@gmail.com, student; Litvinenko Sergey Alekseevich, the assistant of the Department AICS
e-mail llitvinenko@corp.nstu.ru

Abstract.

The article deals with a universal stand for in-depth study of the characteristics and methods of application of the element base of electronic systems.

Keywords: microcontroller, operational amplifier, ADC, power converter, data digitization.

УДК 681.5

НАВИГАЦИЯ МАЛЫХ БПЛА НА ОСНОВЕ ВИДЕОСИСТЕМ

Ямшанов Константин Леонидович, студент; Киселев Александр Олегович, студент; Легкий Владимир Николаевич, д.т.н., зав. кафедрой АИУС;

Гибин Игорь Сергеевич, д.т.н., профессор кафедры ОИТ

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)346-26-23
Ямшанов К.Л. email kostyayamshanov@gmail.com
Киселев А.О. email sashakiselev@gmail.com
Легкий В.Н. email sniios@mail.ru
Адрес для корреспонденции: ***Ямшанов Константин Леонидович,***
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (999)469-90-76

Аннотация: В данной работе рассмотрены различные системы отслеживания. Обоснован выбор оптимальной для проектирования системы навигации с помощью видеосистемы, реализуемой на платформе беспилотного летательного аппарата, созданного в НГТУ. Объяснена схема совместной работы камеры с двухосевым видеоподвесом для слежения за объектом

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, БПЛА, малые БПЛА, навигационные системы, видеосистемы

Введение

Разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – одно из наиболее перспективных направлений развития современной военной авиации. Высокие скорости компьютерных вычислений и компактность бортовых компьютеров позволяют создавать и реализовывать методы локализации летательного аппарата на новых принципах.Одной из основных причин растущего интереса к малым летательным аппаратам является то, что они предоставляют недорогую платформу для электрооптических (ЭО) и инфракрасных (ИК) камер. Почти все малые и миниатюрные воздушные аппараты, которые используются в настоящее время, имеют на борту ЭО- или ИК-камеру. Несмотря на то, что камера прежде всего используется для передачи информации оператору, имеет смысл попытаться ее использовать для навигационных целей, а именно для ориентации и управления полетом.[1] Малые БПЛА являются хорошим решением таких задач, как отслеживание цели, разведка, благодаря способности точно определить местоположение наземных объектов.

В рамках проектно-ориентированного обучения, мы столкнулись с задачей создания видеосистемы, для задач отслеживания и мониторинга целей,

корректировки курса БПЛА, безопасного взлета и посадки. Нами было принято решение: модернизировать существующий алгоритм отслеживание объектов, создать алгоритм управления положением подвеса для видеокамеры.

1. Выбор алгоритма отслеживания объектов (Трекера)

Отслеживание объектов играет важную роль во многих разработках.Отслеживание представляет собой более сложную проблему, чем классификация, которая также может распознавать объекты, но не сообщает точно, где находится объект на изображении.Надежное отслеживание объектов требует знанийи понимание отслеживаемого объекта: его внешний вид, его движение и как он меняет свое положение со временем. Система отслеживания, чтобы быть универсальной, должна уметьизменить свою базовую модель и адаптироваться к новым объектам для наблюдения [1].

1.1. Преимущества в сравнении с системой обнаружения.

Обычно алгоритмы отслеживания работают быстрее, чем алгоритмы обнаружения. Причина проста, когда система отслеживает объект, который был обнаружен в предыдущем кадре, она много знаете о внешнем виде объекта. Также известно местоположение в предыдущем кадре, направление и скорость его движения. Таким образом, в следующем кадре возможно использование всей этой информации для прогнозирования местоположения объекта в следующем кадре и выполнить небольшой поиск ожидаемого местоположения объекта, чтобы точно определить местоположение. Хороший алгоритм отслеживания будет использовать всю имеющуюся информацию об объекте до этого момента, в то время как алгоритм обнаружения всегда начинается «с нуля» [4].

1.2. Обзор алгоритмов отслеживания

Для правильного отслеживания цели и выполнения поставленных целей, требуется найти и выбрать, готовый алгоритм, с открытым исходным кодом, легко изменяется под различные цели.

1.2.1. Boosting tracker

Этот трекер основан на Ada Boost – алгоритме классификаторе, который используется как детектор лиц. Этот классификатор должен быть обучен во время выполнения, с положительными и отрицательными примерами объекта. Начальный ограничивающий прямоугольник, предоставленный пользователем (или другим алгоритмом обнаружения объекта), взят в качестве положительного примера для объекта, и многие другие участки изображения за пределами ограничивающего прямоугольника рассматриваются как фон. Учитывая новый кадр, классификатор запускается на каждом пикселе в окрестности предыдущего местоположения и записывается оценка классификатора. Новое местоположение объекта - то, где оценка максимальна.

Итак, теперь у нас есть еще один положительный пример для классификатора. По мере поступления большего количества кадров алгоритм обновляется с учетом этих дополнительных данных [4,5].

1.2.2. MIL Tracker

Этот трекер по принципу работу похож на трекер BOOSTING, описанный выше. Большая разница в том, что вместо того, чтобы рассматривать только текущее местоположение объекта в качестве положительного примера, он просматривает небольшую окрестность вокруг текущего местоположения, чтобы сгенерировать несколько потенциальных положительных примеров. Можно подумать, что это плохая идея, потому что в большинстве этих «положительных» примеров объект не центрирован. В MIL вы указываете не положительные и отрицательные примеры, а положительные и отрицательные «пакеты» Коллекция изображений в положительном пакете - это еще не все положительные примеры. Вместо этого, только одно изображение в положительном пакете должно быть положительным примером. В нашем примере положительный пакет содержит участок с центром в текущем местоположении объекта, а также участки в небольшом районе вокруг него. Даже если текущее местоположение отслеживаемого объекта не является точным, когда образцы из окрестности текущего местоположения помещаются к положительным пакетам, существует высокая вероятность того, что в этих пакетах данных содержится хотя бы одно изображение, в котором объект находится в центре [4,5].

1.2.3. Обоснование выбора алгоритма

Нами был выбран алгоритм MIL, так как он находится в открытом доступе, имеет открытый исходный код, реализован на языках программирования C++ и Python 3.5, легко изменяется и модернизируется под различное оборудование и цели. Мы дополнили функционал алгоритма MIL, добавив функцию записи и сохранения координат пикселей ограничивающей рамки, для дальнейшего взаимодействия с координатным подвесом.

2. Система поворота камеры

Блок схема работы системы приведена на рисунке 1

Рис. 1. Блок схема работы системы поворота камеры

Кардиналы пикселей, ограничивающие цель, поступают на дальнейшую обработку в микропроцессор. Затем формируем вектор соединяющий центральные пикселы ограничивающей рамки (расположение цели), с центрам матрицы камеры. Раскладываем вектор на две проекции X и Y. Затем рассчитывается количество шагов пропорциональное величине проекций. После этого формируются управляющие импульсы, импульсы являются ШИМ сигналом, который подается на обмотки двигателя [1].

2.1 Управлявший сигнал для шаговых двигателей. (ШИМ)

Широтно-импульсная модуляция, называемая ШИМ, является частотно-зависимой прямоугольной волной. ШИМ прямоугольная волна ограничен состоянием ВКЛ и ВЫКЛ, часто описывается как высокий или низкий. Рабочий цикл сигнала ШИМ описывает отношение между тем, как долго сигнал высокий или низкий и может быть установлен от 0 до 100%, где 100 - максимальная выходная мощность. Прямоугольная ШИМ будет модулироваться с помощью бортового контроллера, который может манипулировать рабочим циклом с помощью программного обеспечения или интегральной схемы [2]. Пример ШИМ сигнала представлен на рисунке 2.

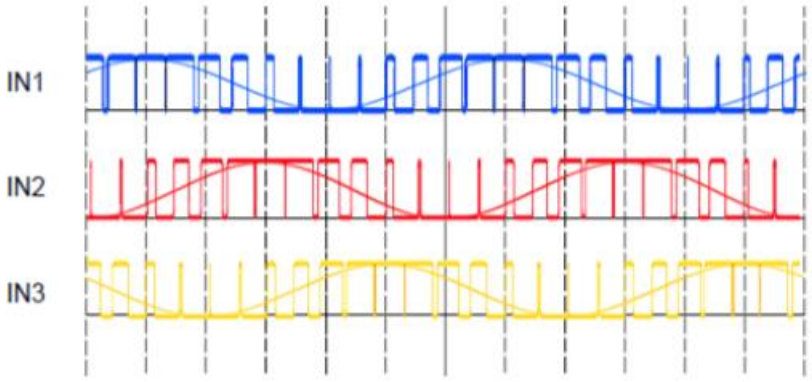


Рис. 2. Сигнал ШИМ с рабочим циклом 0, 25 и 100%

2.2. Трехфазный бесщеточный двигатель постоянного тока

Трехфазный бесщеточный двигатель постоянного тока, называемый двигателем BLDC. Преимущества двигателя BLDC – это эффективность и постоянный выходной крутящий момент, высокий уровень контроля, который он предлагает. Долговечность и низкий вес двигателя BLDC также являются преимуществами над другими типами двигателей.Благодаря этим характеристикам мы выбрали именно такие двигатели для нашей системы.

Ротор двигателя BLDC представляет собой постоянный магнит, а статор состоит из нескольких катушек. (Рис. 3)

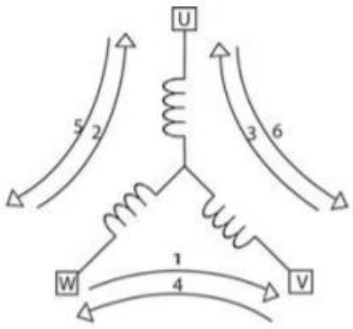


Рис. 3. Последовательность подачи питания для трехфазного двигателя BLDC

Для контроля последовательности подачи питания используем систему обратной связи для определения положения ротор. Введение трех датчиков Холла в систему является популярным способом контроля положения ротор. Датчики Холла могут воспринимать изменения в магнитном поле и предвидеть, когда различные полярности ротора проходят мимо датчика. Сигнал, генерируемый датчиками Холла, сообщает бортовому компьютеру, информацию о положение двигателей.

3. **Вывод**

В данной работе рассмотрены системы отслеживания. Выбрана оптимальная для создания системы навигации с помощью видео камеры, реализуемая на платформе беспилотного летательного аппарата. Предложен вариант системы поворота камеры за объектом отслеживание. Данная система будет испытываться на платформе беспилотного летательного аппарата созданного в НГТУ. Планируется добавить функционал изменения траектории полета, в зависимости от движения цели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. – 312 с. ISBN 978-5-94836-393-6

2. D. Blake Barber · Joshua D. Redding, Timothy W. McLain, RandalW. Beard, Clark N. Taylor “Vision-based Target Geo-location using a Fixed-wing Miniature Air Vehicle”
3. Danil Gordon, Ali Farhadi “Re3: Real-Time Recurrent Regression Networks for Visual Tracking of Generic Objects”
4. Object Tracking using OpenCV (C++/Python) [электронныйресурс] - https://www.learnopencv.com/object-tracking-using-opencv-cpp-python/ (датаобращения 14.03.19)
6. Open CV TrackingAPI [электронный ресурс] - https://docs.opencv.org/4.0.0/d9/df8/group__tracking.html (дата обращения 16.03.19).

VIDEO SYSTEMS FOR SMALL UAV NAVIGATION

Yashmanov Konstantin Leonidovich, Student, *kostyayamshanov@gmail.com*
Kyselev Alexander Olegovich, Student, e-mail *sashakiselev@gmail.com*
Legkij Vladimir Nikolaevich, Doctor in Engineering Sciences, Head of AICS Department, *e-mail* sniios@mail.ru
Gibin Igor Sergeevich, full prof. of OIT Dep. e-mail gibin@corp.nstu.ru

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone number +7(383)3462623

Abstract.

In this paper various tracking systems are discussed. The choice of the optimal design of the navigation system using a video system implemented on the platform of an unmanned aerial vehicle created in NSTU is justified. Scheme explained the joint work of the camera with the biaxial suspension for the tracking an object

Keywords: unmanned aerial vehicles, UAVs, Small UAVs, navigation systems, video systems

Содержание

СЕКЦИЯ: ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯТОРОВ, СФОРМИРОВАННЫХ ДЕТОНАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

Ахмедов Таджиб Хейрудинович; Попов Александр Геннадьевич; Нурмухаметов Андрей Тагирович; Рогожин Павел Викторович 5

О ФИЗИКЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РАЗРЫВНОГО ЗАРЯДА К ИНЕРЦИОННЫМ НАГРУЗКАМ ВЫСТРЕЛА

Ахмоева Екатерина Васильевна; Прохоренко Наталья Олеговна; Попов Александр Геннадьевич; Нурмухаметов Андрей Тагирович; Рогожин Павел Викторович 10

СИСТЕМА ФИКСАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ПЫЛЕВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

Бобиков Кирилл Владимирович; Нечаев Александр Сергеевич..... 15

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ БЛОК ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К ВЫСОКОМОЩНОМУ ТЕПЛОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА

Богачева Ольга Александровна; Нечаев Александр Сергеевич 19

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АГЛОМЕРАЦИИ АЛЮМИНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ

Корчемкина Полина Геннадьевна; Глотов Олег Григорьевич 23

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАЖИГАНИЯ, НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Макарова Кристина Николаевна; Зарко Владимир Егорович..... 27

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В РФ: ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ

Митрошина Полина Алексеевна; Кондратенко Павел Константинович; Нурмухаметов Андрей Тагирович..... 32

ПОВЫШЕНИЕ ЗАПРЕГРАДНОГО ДЕЙСТВИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ МАЛОГО КАЛИБРА

Плотников Олег Петрович; Ковалева Ксения Васильевна; Попов Александр Геннадьевич; Нурмухаметов Андрей Тагирович 37

ФИЗИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ШТАТНЫХ РАЗРЫВНЫХ ЗАРЯДОВ ПРИ АРКТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ХРАНЕНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УДАРНИКА

Прохоренко Наталья Олеговна; Ахмоева Екатерина Васильевна; Попов Александр Геннадьевич; Нурмухаметов Андрей Тагирович; Рогожин Павел Викторович. 42

КУМУЛЯТИВНАЯ ОБЛИЦОВКА С МОЛИБДЕНОВЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ ПЕРФОРАТОРНОГО ЗАРЯДА ПОВЫШЕННОЙ ПРОБИВНОЙ СПОСОБНОСТИ

Ткаченко Екатерина Витальевна; Попов Александр Геннадьевич; Нурмухаметов Андрей Тагирович,; Рогожин Павел Викторович 55

СЕКЦИЯ: КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

РАСЧЁТЫ НА ПРОЧНОСТЬ БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Алымов Александр Владимирович;Родионов Андрей Иванович.....59

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В ОБУЧЕНИИ КУРСАНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ОГНЕВОЙ ПОДГОТОВКЕ

Горовой Сергей Алексеевич.....65

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОЙ КУМУЛЯТИВНОЙ СКВАЖИННОЙ ПЕРФОРАЦИИ

Гриф Екатерина Михайловна; Гуськов Анатолий Васильевич; Милевский Константин Евгеньевич 71

ВЛИЯНИЕ КУМУЛЯТИВНОГО ЭФФЕКТА НА СОЗДАНИЕ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАБРОНЕВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Ефимов Антон Павлович; Милевский Константин Евгеньевич.....75

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВЕДУЩИХ ПОЯСКАХ ДВУХ ТИПОВ

Зубашевский Константин Михайлович, Гуськов Анатолий Васильевич 84

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФТОРОПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОРАЖЕНИЯ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ И ЛЕГКОУЯЗВИМЫХ ЦЕЛЕЙ

Ильин Семен Сергеевич; Хмельников Евгений Александрович,Смагин Константин Владимирович, Заводова Татьяна Евгеньевна 89

РОЛЬ РАЗВИТИЯ АРТИЛЛЕРИИ В НАУКЕ

Квашнёв Александр Андреевич; Егоров Роман Игоревич; Милевский Константин Евгеньевич; Гуськов Анатолий Васильевич. 97

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ НА ПОЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРЕЛОВИДНЫХ ПУЛЬ

Кислин Михаил Александрович, Герман Александр Александрович, Гуськов Анатолий Васильевич, Милевский Константин Евгеньевич, Шашков Виктор Иванович, Лавров Алексей Станиславович. 103

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ БЕЗЫНИЦИАТОРНОГО КАПСЮЛЯ-ДЕТОНАТОРА ПОВЫШЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ИНИЦИИРОВАНИЕМ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТРУБКОЙ

Кожевников Евгений Александрович; Гидаспов Александр Александрович; Янзин Семен Александрович; Игошин Дмитрий Станиславович.....111

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ВАКУУМИРОВАНИЕМ КАНАЛЬНЫХ ПИРОКСИЛИНОВЫХ ПОРОХОВ В МАСЛЕ

Козлов Владислав Валериевич; Ганигин Сергей Юрьевич; Гречухина Мария Сергеевна; Кадигроб А.П......116

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АГЛОМЕРАЦИИ АЛЮМИНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ МОДЕЛЬНЫХ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ

Корчемкина Полина Геннадьевна; Глотов Олег Григорьевич 120

РАЗРАБОТКА КАР С ЛАЗЕРНОЙ ГСН НА БАЗЕ НАР С-13 С ПОВЫШЕННОЙ ДАЛЬНОСТЬЮ ДЕЙСТВИЯ

Кравец Марк Вадимович; Кузнецов Егор Алексеевич; Брагунцов Егор Яковлевич 124

АНАЛИЗ СПОСОБОВ МОДЕРНИЗАЦИИ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ АВИАЦИОННЫХ БОЕПРИПАСОВ

Кузнецов Егор Алексеевич; Кравец Марк Вадимович 127

МОДУЛЬНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Левицкий Марк Андреевич; Семашко Марина Юрьевна; Кувшинова Наталья Львовна 130

ИРРИТАНТЫ – КАК СРЕДСТВА СНАРЯЖЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ НЕЛЕТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Мезенцев Никита Владимирович, Милевский Константин Евгеньевич 135

РАЗРАБОТКА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО БРОНЕБОЙНОГО БОЕПРИПАСА КАЛИБРА 40 мм

Мусихин Илья Николаевич; Чванов Александр Евгеньевич; Хмельников Евгений Александрович.....141

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЛИНЕЙНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ

Нестеренко Александр Николаевич; Горошко Виктор Владимирович 148

РАСЧЕТ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАССЕТНОГО СНАРЯДА ПОВЫШЕННОЙ ДАЛЬНОСТИ С УСТРОЙСТВОМ ДОРАЗГОНА НА ТРАЕКТОРИИ

Кэрт Борис Эвальдович; Панченко Антон Вадимович.....153

АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ ОТ ПРОТИВОТАНКОВЫХ СРЕДСТВ

Шелгинский Александр Юрьевич.....158

МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ГРАНИПОРА-ФМ НА УДАРНОЕ ОБЪЕМНОЕ СЖАТИЕ В ЖИДКОСТИ

Сидорчев Андрей Владимирович; Альдебенев Николай Сергеевич; Письменный Павел Владимирович; Веревкин Денис Васильевич.....164

РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАПСЮЛЯ-ВОСПЛАМЕНИТЕЛЯ ДЛЯ СТРЕЛКОВОГО ПАТРОНА

Ставицкий Андрей Юрьевич; Кэрт Борис Эвальдович.....168

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ

Тюрин Ярослав Васильевич; *Хмельников Евгений Александрович; Заводова Татьяна Евгеньевна; Смагин Константин Владимирович; Семашко Мария Юрьевна*.....178

ИМПУЛЬСНОЕ ПЕРЕКРЫТИЕ СТАЛЬНЫХ ТРУБ, ЗАПОЛНЕННЫХ ЖИДКОСТЬЮ

Утев Дмитрий Андреевич;Лисина Мирослава Аркадьевна;Балаганский Игорь Андреевич. 184

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БРОНЕБОЙНО ОПЕРЕННОГО ПОДКАЛИБЕРНОГО СНАРЯДА (БОПС) С ЭЛЛИПСОЙДНОЙ ПОЛОСТЬЮ ОБЛИЦОВАННОЙ МЕДЬЮ С ГОМОГЕНОЙ БРОНЕЙ

Милевский Константин Евгеньевич;Халеменчук Вячеслав Павлович.....190

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТРАНСМИССИЙ В БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКЕ

Шадрин Иван Дмитриевич; Юдинцев Дмитрий Владимирович; Хмельников Евгений Александрович.....195

РАЗРАБОТКА БРОНЕБОЙНО-ЗАЖИГАТЕЛЬНОГО СНАРЯДА ПОВЫШЕННОГО МОГУЩЕСТВА К АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ СИСТЕМЕ КАЛИБРА 57 мм

Ильин Семен Сергеевич, Ширяева Вероника Юрьевна; Хмельников Евгений Александрович; Смагин Константин Владимирович, Литус Игорь Борисович 202

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОБИТИЯ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН УДАРНИКОМ С ОЖИВАЛЬНОЙ ГОЛОВНОЙ ЧАСТЬЮ ПР НИЗКИХ СКОРОСТЯХ (315 М/С)

Фызылов Т. В., Пристай А. М…… ……208

СЕКЦИЯ: РАДИОЛОКАЦИЯ, РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВХОДНОГО ИМПЕДАНСА СИСТЕМЫ ИЗ ДВУХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДИПОЛЬНОГО ВИДА С КОНЦЕВЫМ ПИТАНИЕМ

Алексейцев Сергей Александрович *214*

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕГУЛИРОВИ РАДИОЧАСТОТНЫХ СБЛ

Делова Надежда Игоревна;Мосейчук Руслан Александрович;Шебалкова Любовь Васильевна.....*219*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА НАМОТКИ КАТУШЕК СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Добрынин Вячеслав Юрьевич; Сырецкий Геннадий Александрович.....*223*

КЛАССИФИКАЦИЯ БПЛА МАЛЫХ РАЗМЕРОВ НА ОСНОВЕ МИКРО-ДОПЛЕРОВСКОГО АНАЛИЗА И СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Белоруцкий Роман Юрьевич; Житник Сергей Владимирович 229

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ RFID ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Захарчук Андрей Игоревич; Степанов Максим Андреевич.....*235*

МОЩНЫЙ СВЧ АТТЕНЮАТОР ДЛЯ DVB-T2 ПЕРЕДАТЧИКОВ

Митьков Александр Сергеевич *239*

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ВИРТУЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Науршин Сергей Евгеньевич; Никулин Андрей Викторович *244*

НЕРАВЕНСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БИФОКАЛЬНОЙ ЛИНЗОВОЙ АНТЕННЫ

Никулина Юлия Сергеевна *249*

ТРЕБОВАНИЯ К ПОДРОБНОСТИ ЗАДАНИЯ ОТРАЖЕНИЙ ОТ ЗЕМЛИ С УЧЕТОМ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ РЛС

Орешкина Маргарита Валерьевна *255*

4-ЛУЧЕВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ БАТЛЕРА 4Х4 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОВРАЩАТЕЛЕЙ ШИФФМАНА

Паршин Юрий Николаевич.....*259*

ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ЧЕТЫРЕХТОЧЕЧНОЙ ЧАСТИЧНО КОГЕРЕНТНОЙ И ПЯТИТОЧЕЧНОЙ НЕКОГЕРЕНТНОЙ МОДЕЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ОБЪЕКТА

Подкопаев Артемий Олегович; Степанов Максим Андреевич.....*264*

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Прокопчук Дарья Игоревна; Степанов Максим Андреевич.....*270*

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ VOIP ТРАФИКА В СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Проскуряков Анатолий Сергеевич; Никулин Андрей Викторович.....*276*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОВМЕСТНОЙ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВЫХ ШУМОВ КООРДИНАТ

Степанов Максим Андреевич; Сабитов Тимур Ильясович; Киселев Алексей Васильевич....*281*

АППРОКСИМАЦИЯ ЗНАЧЕНИЯ ОТСЧЕТА В ПОЛОСЕ ПЕРЕХОДА ДЛЯ МЕТОДА ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ

Савиных Иван Сергеевич; Орынбекова Нургул Аскербековна.....*287*

СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ КИХ-ФИЛЬТРА МЕТОДОМ ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ

Савиных Иван Сергеевич; Орынбекова Нургул Аскербековна.....*290*

ИМИТАЦИЯ ЭХОСИГНАЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВАРИАНТНЫХ ОТСЧЕТОВ

Чан Суан Хай; А.В. Киселев.....*294*

СЕКЦИЯ: РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРАЩЕНИЯ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ В ANSYSMAXWELL

Эрик Эрикович Анцупов; Любовь Васильевна Шебалкова; Валерий Павлович Ющенко.....299

МЕТОД КОМПИЛЯЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ

Баранова Дарья Константиновна;Борисова Ирина Валентиновна;Гибин Игорь Сергеевич.....303

СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ БПЛА С ПРЕПЯТСТВИЕМ

Блинов Владимир Андреевич, Макарова Елена Игоревна, Дворецкий Сергей Андреевич; Легкий Владимир Николаевич.....308

РАНГОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В БОРТОВЫХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

Болотин Олег Евгеньевич; Лисина Мирослава Аркадьевна; Назаркина Юлия Владимировна; Анцупов Эрик Эрикович; Борисова Ирина Валентиновна.....312

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАНИРУЮЩЕГО ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Дворецкий Сергей Владимирович; Назаркина Юлия Владимировна; Макарова Елена Юрьевна; Русский Евгений Юрьевич.....317

ПРОБЛЕМЫ БОРТОВЫХ ЛОКАТОРОВ НА ГИПЕРЗВУКОВЫХ РАКЕТАХ

Дворецкий Сергей Владимирович; Ющенко Валерий Павлович.....321

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕГУЛИРОВКИ РАДИОЧАСТОТНЫХ БОРТОВЫХ СБЛ

Делова Надежда Игоревна; Мосейчук Руслан Александрович; Шебалкова Любовь Васильевна.....325

МОДУЛЬ ДЛЯ ТАРИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ БОРТОВОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Денисова Ольга Владимировна; Белецкий Иван Тимофеевич 328

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ АВИАСТРОЕНИЯ В МЕДИЦИНСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

*Евтушенко Семён Викторович;Легкий Владимир Николаевич;Ющенко Валерий Павлович*333

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ УСТРОЙСТВ БОРТОВЫХ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ В СРЕДЕ ANSYS HFSS

Иванов Никита Вячеславович; Курина Юлия Дмитриевна; Кондрашова Анастасия Александровна 337

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ

Ильюк Кирилл Игоревич; Петрова Анастасия Александровна; Эдвабник Валерий Григорьевич 342

СОВРЕМЕННЫЕ БОРТОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ САМОЛЕТА

Кондратьев Александр Владимирович; Петров Владислав Владимирович; Анцупов Эрик Эрикович; Русский Евгений Юрьевич.....347

СПОСОБЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ БПЛА

Мариниченко Назар Михайлович; Шлепп Илья Сергеевич; Дрючин Никита Алексеевич; Легкий Владимир Николаевич 352

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Мосейчук Руслан Александрович; Делова Надежда Игоревна; Анцупов Эрик Эрикович; Ромодин Валерий Борисович 359

ФОРМЫ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ БРОНЕТЕХНИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Непомнящая Виктория Владимировна; Шиндряев Егор Михайлович; Шебалкова Любовь Васильевна; Ющенко Валерий Павлович.....363

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Новосёлова А.П.; Ларин С.В.; Белова Е.И.; Чугреев А.С.....368

ЛАЗЕРНЫЕ ЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ВЕРТОЛЕТОВ

Петров Владислав Владимирович;Анцупов Эрик Эрикович;Борисова Ирина Валентиновна 374

ОЧИСТКА СКОРОСТРЕЛЬНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ УСТАНОВОК ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Федоров Павел Михайлович; Петрова Анастасия Александровна; Легкий Владимир Николаевич .378

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И БАЗОВЫХ СХЕМ НА ИХ ОСНОВЕ
Щербатенко Николай Константинович; Литвиненко Сергей Алексеевич 381

НАВИГАЦИЯ МАЛЫХ БПЛА НА ОСНОВЕ ВИДЕОСИСТЕМ

Ямшанов Константин Леонидович; Киселев Александр Олегович; Легкий Владимир Николаевич; Гибин Игорь Сергеевич.....384

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Наука Промышленность Оборона

Труды XX ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Новосибирск, 17-19 апреля 2019 г.

Том 2

Под редакцией *С.Д. Саленко*

Компьютерная верстка: *К.М. Зубашевский*

Подписано в печать 26.06.2019 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная
Тираж 55 экз. Уч.-изд.л. 23,02. Печ.л. 24,75. Заказ 1030

Отпечатано в типографии
Новосибирского Государственного Технического Университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса,20
Тел: (383)-346-31-87