

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

НАУКА ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ОБОРОНА

**ТРУДЫ
XVIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Новосибирск, 19-21 апреля 2017 г.

Том II

СЕКЦИИ:

КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

*РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ
АППАРАТАМИ*

РАДИОЛОКАЦИЯ. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Новосибирск
2017

УДК 62+623](063)

ББК 72я431

Н 34

Н 34 **Наука Промышленность Оборона:** труды XVIII Всероссийской научно-технической конференции: в 4 т. / коллектив авторов; под редакцией С.Д. Саленко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.

ISBN 978-5-7782-3217-4

Том 2: - 305 с.

ISBN 978-5-7782-3219-8

Редакторы тома:

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

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

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

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

Представлены труды XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов «Наука Промышленность Оборона – 2017». Материалы представлены по следующим секциям:

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

УДК 62+623](063)

ISBN 978-5-7782-3219-8 (Том 2)

ISBN 978-5-7782-3217-4

© Коллектив авторов, 2017

© Новосибирский государственный
технический университет, 2017

СОСТАВ ОРГКОМИТЕТА

Председатель оргкомитета:

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

Сопредседатели:

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

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

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

Пегашкин В.Ф., д.т.н., профессор, директор Нижнетагильского технологического института (филиала) Уральского федерального университета имени первого президента России Б.Н. Ельцина, член-корреспондент АВН;

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

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

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

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

Разгонов В.Л., полковник, начальник ВУНЦ СВ «Общевойсковой академии Вооруженных сил Российской Федерации» (филиал г. Новосибирск);

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

Члены Оргкомитета:

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

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

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

Киселёв А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой 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» (АИУС) НГТУ;
Левин В.Е., д.т.н., профессор, заместитель заведующего кафедрой ПЛА НГТУ;
Милевский К.Е., к.т.н., доцент кафедры ГДУ НГТУ, член-корреспондент АВН;
Немировский Ю.В., д.ф.-м.н., профессор, главный научный сотрудник ИТПМ СО РАН, действительный член АВН;
Обуховский А.Д., к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой АГД;
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;
Хмельников Е.А., д.т.н., профессор, Нижнетагильского технологического института (филиала) Уральского федерального университета имени первого президента России Б.Н. Ельцина, ученый секретарь РУСЦ РАН, член-корреспондент РАН, действительный член АВН;
Чичиндаев А.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технической теплофизики» (ТТФ) НГТУ.

Редакционная коллегия сборника трудов научно-технической конференции «НПО-2017»

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
Карпович А.И., д.э.н., профессор
Коробейников С.М., д.ф.-м.н., профессор
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
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: КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ

УДК 623.4.011

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОБИТИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ПРЕГРАДЫ КУМУЛЯТИВНЫМИ ЗАРЯДАМИ МАЛОГО КАЛИБРА

*Бакиров Альберт Ревальевич, студент; Попов Александр Геннадьевич,
к.т.н., Нурмухаметов Андрей Тагирович, к.т.н.*

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Бакиров А.Р., email bartrodriguez@list.ru

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: Проведено моделирование процесса пробития комбинированной преграды кумулятивными зарядами калибром до 40 мм. Определены оптимальные параметры конструкций предлагаемых кумулятивных зарядов.

Ключевые слова: кумуляция, эффективность, бронепробитие, математическое моделирование, ВВ.

В настоящее время кумулятивные боеприпасы являются одним из основных средств борьбы с бронетехникой противника, эффективность которых принято оценивать как величиной бронепробития, так и возможным запреградным действием. Таким образом, научные разработки в области кумуляции ведутся, в основном, с целью достижения максимальной эффективности действия кумулятивных зарядов (КЗ) при их ограниченном калибре и массе [1].

В зависимости от вида бронетехники применяются те или иные кумулятивные боеприпасы. Так, например, для поражения легкобронированной техники применяются ручные противотанковые гранатометы, достоинством которых являются: простота применения, надежность, высокая пробивная способность. В качестве недостатков такого вида вооружения следует отнести: наличие реактивной струи, способной нанести повреждения объектам, находящихся за стрелком; а также большую массу выстрелов и пусковой трубки, вследствие чего солдат, вооруженный РПГ, в бою может использоваться только в качестве гранатометчика [2].

В Самарском государственном техническом университете предлагалось

использовать кумулятивный заряд малого калибра на базе изделий ВОГ-25 [3], схема которого представлена на рисунке 1.

Заряд, представленной конструкции, можно использовать для поражения легкобронированной техники, вместе с живой силой, передвигающейся как снаружи, так и внутри; для снятия динамической и активной защиты танка при помощи штатного вооружения, а также в качестве элементов тандемных и кассетных боеприпасов.

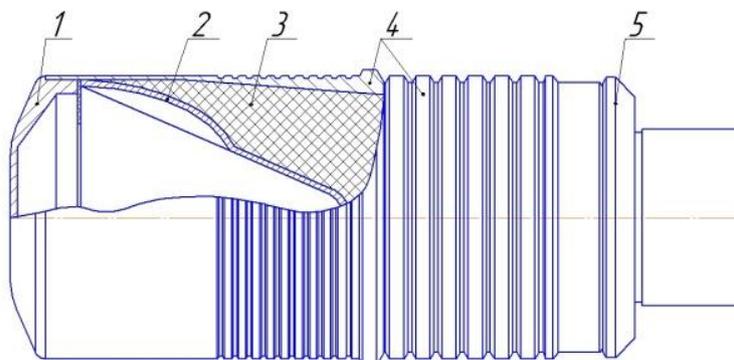


Рис. 1. Схема кумулятивно-осколочного боеприпаса предлагаемой конструкции: 1 – головная часть; 2 – кумулятивная облицовка; 3 – заряд ВВ; 4 – корпус; 5 – донная часть

В связи с тем, что ведущие мировые страны повышают эффективность защиты легкобронированной техники, путем сочетания многослойных конструкций брони, было проведено математическое моделирование процесса пробития комбинированной преграды, представляющей собой бронесталь толщиной 30 мм и неметаллический материал толщиной 10 мм, имитирующий противооткольную защиту, кумулятивными зарядами калибром до 40 мм.

При проведении моделирования варьировались тип облицовки, применяемое ВВ (тип 1 – флегматизированное гексогенсодержащее ВВ; тип 2 – флегматизированное октогенсодержащее ВВ) и фокусное расстояние. Основные результаты проведенных испытаний представлены в таблице 1 и на рисунках 1-3.

Таблица 1 – Результаты математического моделирования

Тип КО	Тип ВВ	Фокус, мм	Глубина пробития, мм		Диаметр, мм	
			Броневая сталь	Неметаллический материал	Входной	Выходной
Коническая 60°	Тип 1	1	27	-	7	-
Коническая 60°	Тип 2	1	30	10	9	3
Коническая 60°	Тип 1	5	30	10	7	3
Коническая 60°	Тип 2	5	30	10	8	4
Коническая 90°	Тип 1	1	16	-	11	-
Коническая 90°	Тип 2	1	20	-	12	-
Коническая 90°	Тип 1	5	17	-	10	-
Коническая 90°	Тип 2	5	23	-	11	-
Big Hole	Тип 1	1	16	-	12	-
Big Hole	Тип 2	1	19	-	13	-
Big Hole	Тип 1	5	16	-	13	-
Big Hole	Тип 2	5	20	-	12	-

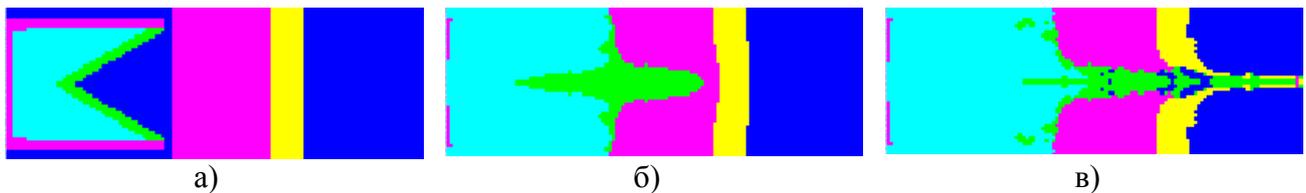


Рис. 2. Результаты пробития комбинированной преграды кумулятивным зарядом (тип облицовки – коническая 60°; ВВ – Тип 2; фокус – 1 мм)
 а – начало отсчета; б – внедрение в преграду; в – пробитие преграды

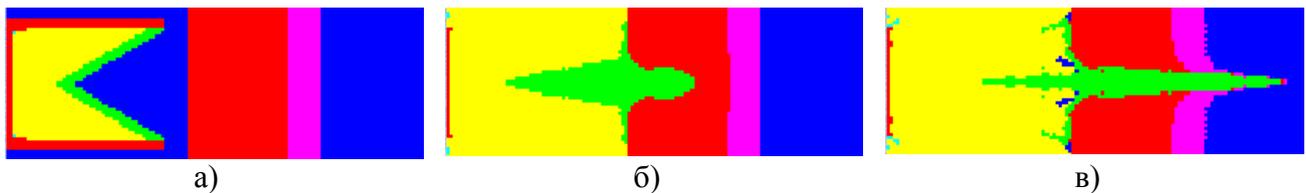


Рис. 3. Результаты пробития комбинированной преграды кумулятивным зарядом (тип облицовки – коническая 60°; ВВ – Тип 1; фокус – 5 мм)
 а – начало отсчета; б – внедрение в преграду; в – пробитие преграды

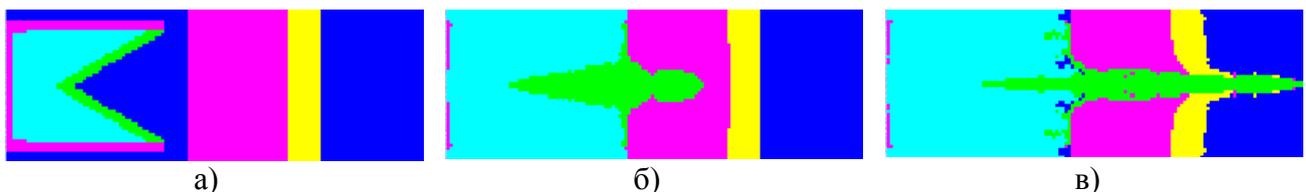


Рис. 4. Результаты пробития комбинированной преграды кумулятивным зарядом (тип облицовки – коническая 60°; ВВ – Тип 2; фокус – 5 мм)
 а – начало отсчета; б – внедрение в преграду; в – пробитие преграды

Результаты проведенного моделирования показали, что конструкции зарядов с углом раствора облицовки равным 90° не способны пробить комбинированную преграду (максимальное пробитие бронестали – 23 мм на фокусном расстоянии равном 5 мм и с флегматизированным октогенсодержащим ВВ). Неудовлетворительный результат наблюдался при использовании зарядов типа «Big Hole» (максимальное пробитие бронестали – 20 мм на фокусном расстоянии равном 5 мм и с флегматизированным октогенсодержащим ВВ).

Полное пробитие комбинированной преграды наблюдалось при использовании кумулятивных зарядов с углом раствора облицовки равным 60° (для зарядов с ВВ на основе флегматизированного гексагена при фокусном расстоянии - 5 мм; для зарядов с ВВ на основе флегматизированного октогена в не зависимости от фокуса).

Таким образом, в перспективных кумулятивных боеприпасах малого калибра целесообразнее использовать заряд с углом раствора кумулятивной облицовки равным 60° с октогенсодержащим ВВ.

Библиографический список:

1. Минин И.В. Кумулятивные заряды [Текст]: монография / И.В. Минин, О.В. Минин.- Новосибирск: СГГА, 2013.- 200 с.;
2. Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф. и др. Средства поражения и боеприпасы/под общ. ред. Селиванова В.В.: Учебник.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.-984 с.: ил.;
3. 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.

**MODELING OF THE PROCESS OF PENETRATION OF THE
COMBINED BARRIERS SHAPED CHARGES OF SMALL CALIBER**

Bakirov A., student, bartrodriguez@list.ru; Popov A., Ph.D.,
popov-scorpio@yandex.ru; Nurmukhametov A., Ph.D., FasteX2@yandex.ru
Samara State Technical University, 244, Molodogvardeyskaya str., Samara, Russia,
443100

Abstract: Process modelling of penetration of a combined Barrier by cumulative charge up to 40 mm had been carried out. Optimal parameters of the proposed cumulative charge had been determined.

Keywords: cumulation, efficacy, penetration, mathematical modeling, explosive.

ВОЗМОЖНОСТИ 30-мм БРОНЕБОЙНОГО АКТИВНО-РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА С РДТТ

*Брагунцов Егор Яковлевич¹ к.т.н., Звезинцев Валерий Иванович² д.т.н.,
¹Кузнецов Егор Алексеевич, Самойлов Леонид Александрович, доцент³*

¹Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

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

Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

³Новосибирское высшее военное командное училище

Аннотация:

В данной работе предложен вариант конструкции 30-мм бронебойного активно-реактивного снаряда (АРС) с ракетным двигателем твердого топлива (РДТТ) для автоматических пушек (АП) 2А42, 2А72 и проведен расчетный анализ его технических характеристик.

В рамках массогабаритных ограничений существующих 30-мм бронебойных боеприпасов показана возможность повышения бронепробивного действия снаряда за счет применения РДТТ до уровня достаточного для поражения существующих и перспективных образцов зарубежной легкобронированной техники на дальностях до 1500 м.

Ключевые слова: бронебойный активно-реактивный снаряд, ракетный двигатель, твердое топливо, бронепробивное действие.

Главным недостатком калибра 30 мм является неудовлетворительное бронебойное действие [1,2]. По уровню бронепробиваемости отечественный штатный бронебойный боеприпас уступает иностранным боеприпасам в 2,2 раза.

Существенное повышение боевых качеств 30-мм пушек может быть получено при реализации комплекса мероприятий [1-3], но при этом по теоретическим оценкам можно ожидать увеличение бронепробиваемости гомогенной брони средней твердости 30-мм снарядом на дальности 1500 м под углом 60° только до $(32 \div 35)$ мм [2] или до $40 \div 43$ мм [1], что соизмеримо с зарубежными аналогами, но совершенно недостаточно для поражения существующих БМП (например, «Мардер», М2А3, Puma) и тем более недостаточно для модернизируемых или вновь разрабатываемых БМП. Поэтому актуальным является поиск и обоснование новых путей повышения бронепробиваемости 30-мм боеприпаса с бронебойным снарядом для отечественных АП.

В данной работе рассмотрен один из возможных путей совершенствования 30 мм бронебойного снаряда за счет применения РДТТ. Проведён расчет и анализ расчетных характеристик вариантов конструкций 30-

мм бронебойного активно-реактивного снаряда (АРС) с РДТТ на различных дальностях. Показана возможность повышения бронепробивного действия снарядов до уровня достаточного для поражения существующих и перспективных образцов зарубежной легкобронированной техники на дальностях до 1500 м.

Выбор конструктивно-компоновочной схемы 30 мм бронебойного снаряда с РДТТ

При проведении исследования возможности увеличения бронепробиваемости бронебойных снарядов калибра 30 мм за счет применения РДТТ учитывались ряд ограничений:

- массогабаритные характеристики предлагаемого боеприпаса не должны превосходить массогабаритные характеристики штатного боеприпаса;
- удлинение стреловидного поражающего элемента должно удовлетворять требованиям устойчивости и прочности при взаимодействии с преградой;
- дульная скорость не должна превышать дульную скорость штатного боеприпаса;
- длина стреловидного элемента и аэродинамические качества боеприпаса должны обеспечивать бронепробивное действие на дальностях не менее 1500 м на уровне не ниже 60 мм (под углом 60° не менее 55 мм) при дульной скорости не более 1120 м/с, что превышает на 25% бронепробивное действие аналогичных зарубежных боеприпасов.

Указанные ограничения предопределили параметры конструктивно-компоновочной схемы 30 мм бронебойного АРС с РДТТ:

- масса снаряда не более 311 г;
- длина снаряда и длина сердечника не более 125 мм;
- дульная скорость не более 1120 м/с;
- материал сердечника вольфрамовый сплав плотностью 17800 кг/м³;
- удлинение сердечника не более 20;
- длина снаряда и длина сердечника устанавливаются расчетным методом из условия обеспечения требуемого бронепробивного действия;
- параметры РДТТ устанавливаются расчетным методом из условия обеспечения превышения скорости снаряда величины дульной скорости 1120 м/с на всей траектории полета.

Расчет бронепробивного действия и определение длины сердечника

Для оценки глубины проникания срабатывающегося сердечника снаряда при скорости встречи 1000...1600 м/с и угле α_r взаимодействия с броней использовались следующие приближенные формулы [4]:

$$h = \left[A_1 d + A_2 l_c \left(\frac{v_0}{v_{пред1}} - 1 \right) \right] \cos \alpha_v, \quad 1)$$

$$v_{\text{псп}} = v_{\text{пред1}} \left(1 + \frac{\frac{b-\Delta h}{\cos \alpha_{\nu}} - A_1 d}{A_2 l_c} \right),$$

где h - глубина проникания по нормали в полубесконечную преграду, м; A_1, A_2 - эмпирические коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств материала снаряда (табл.1); l_c - длина сердечника, м; V_0 - скорость встречи снаряда с преградой, м/с; $V_{\text{пред1}}$ - предельная скорость, при которой прекращается срабатывание сердечника в преграде (см. табл.1); $v_{\text{псп}}$ - минимальная скорость снаряда, необходимая для пробития бронеплиты толщиной b , м/с; b -толщина пробиваемой бронеплиты, м; Δh - приращение глубины проникания снаряда за счет разрушения им тыльных слоев плиты, $\Delta h = 0,5d + 0,08l_c$, м; d - диаметр корпуса снаряда, м.

Таблица 1. Значения эмпирических коэффициентов A_1, A_2 плотности и скорости $V_{\text{пред1}}$ для снарядов

Материал снаряда	Плотность, кг/м ³	A_1	A_2	$V_{\text{пред1}}$
Сталь	7800	1,2	0,71	1150
Вольфрамовый	17800	1,4	0,92	850

Предельную толщину пробиваемой бронеплиты H с учетом формулы (1) находят как сумму глубины проникания h по нормали в полубесконечную преграду и величины Δh

$$H = h + \Delta h \quad 2)$$

Расчёты предельной толщины пробиваемой броней снарядом с РДТТ бронеплиты производились на ЭВМ в среде Microsoft Excel со следующими исходными данными:

- скорость встречи с преградой 1120 м/с
- угол встречи снаряда с преградой 60°.

По результатам расчета по формулам (1,2) бронепробивное действие 30-мм равно 62 мм (под углом 60° 55,3 мм) и обеспечивается сердечником из вольфрамового сплава с плотностью 17800 кг/м³, длиной 0,125 м. При диаметре сердечника 0,008 м его удлинение составило 16, а масса 0,105 кг.

Проведенные расчеты позволили установить массогабаритные характеристики предлагаемого боеприпаса.

Конструктивно-компоновочная схема бронейного снаряда, приведена на рис.1.

В качестве топлива используется смесевое ТТ с удельным импульсом 2500 м/с.

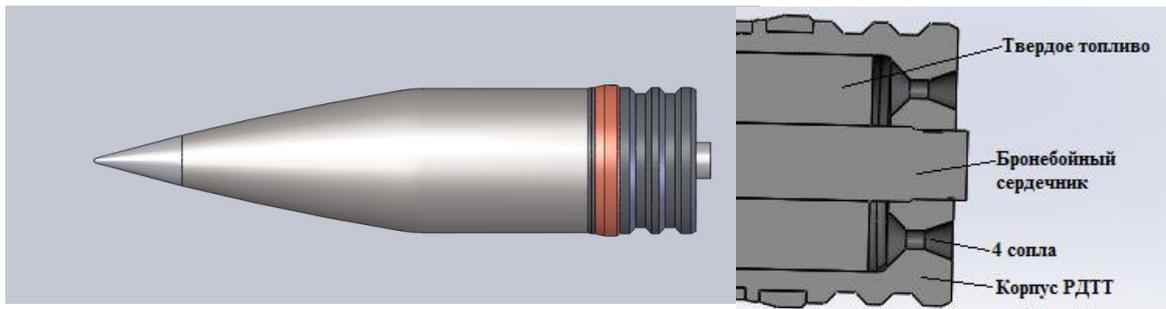


Рис. 1. Конструктивно-компоновочная
схема броневой АРС с РДТТ
калибра 30 мм.

Расчет дальности стрельбы и выбор параметров РДТТ

Характеристики траектории для каждого варианта параметров определялись при решении системы уравнений движения ЛА в вертикальной плоскости. В проекции на оси скоростной системы координат уравнения движения в поле сил тяжести принимают вид:

$$m \frac{dV_x}{dt} = P \cos(\alpha + \varphi_{дв}) - X - mg \sin \Theta, \quad (3)$$

$$m \frac{dV_y}{dt} = P \sin(\alpha + \varphi_{дв}) + Y - mg \sin \Theta,$$

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

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

К уравнениям движения (3) добавляются кинематические уравнения, связывающие дальность L и высоту полета H со скоростью и углом наклона траектории:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{dx}{dt} = V \cos \Theta, \quad (4)$$

$$\frac{dH}{dt} = \frac{dy}{dt} = V \sin \Theta,$$

а также уравнение изменения массы летательного аппарата вследствие сгорания топлива

$$m(t) = m_0 - \int_0^t G_c dt, \quad (5)$$

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

Интегрирование системы уравнений (3)-(5) проводилось численно методом Эйлера с постоянным шагом по времени. При расчете траектории задавались основные параметры снаряда (рис.1.) и тяговые характеристики РДТТ (энергетические характеристики топлива, масса топлива, масса снаряда), которые подбирались из условия обеспечения доразгона снаряда на траектории. Значения аэродинамических коэффициентов сопротивления снарядов взяты из предварительных расчетов.

Расчёты траекторий движения бронебойных АРС с РДТТ производились на ЭВМ в среде Microsoft Excel.

В качестве топлива используется смесевое ТТ с удельным импульсом 2500 м/с.

На рис. 2 приведена траектория полета снаряда при стрельбе с начальными скоростями 1120 м/с.

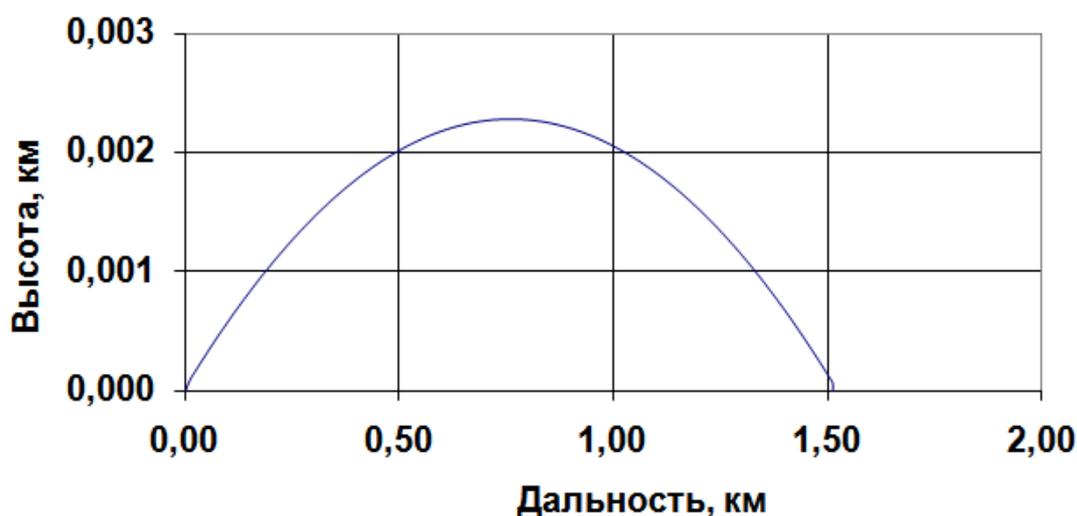


Рис. 2. Траектория полета

На рис. 3 приведен характер изменения скорости снарядов с РДТТ во время полета.

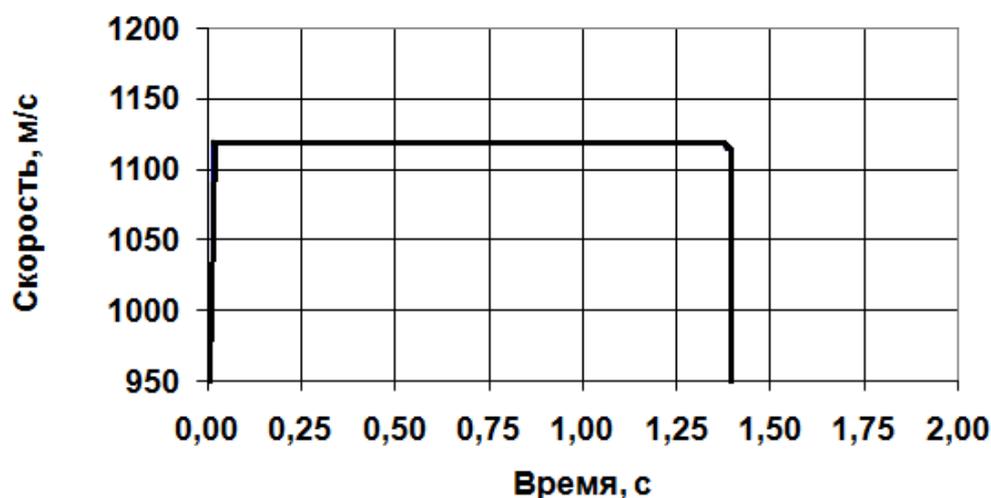


Рис. 3. Изменение скорости полета снаряда на траектории

По результатам расчетов с соблюдением существующих массогабаритных ограничений получены следующие характеристики 30-мм бронебойного снаряда с РДТТ: масса снаряда 311 г, масса топлива 80 г, удельный импульс топлива $J_{уд} = 2500$ Нс/кг, время работы РДТТ 1.4 с, длина снаряда 125 мм, масса стержня 105 г, длина стержня 125 мм, диаметр стержня 8 мм, материал стержня вольфрамовый сплав, плотность стержня 17800 кг/м³, начальная скорость снаряда 1120 м/с. Бронепробивное действие при дульной скорости 1120 м/с на дальностях до 1500 м 60 мм (под углом 60° толщина пробиваемой брони 55,3 мм).

Для бронебойных снарядов пробивное действие в значительной степени определяется длиной бронебойного стержня и скоростью встречи снаряда с преградой (см. уравнение 1), которая существенно зависит от начальной скорости и дальности стрельбы. Из графиков (рис.2. и рис.3) видно, что АРС с РДТТ предлагаемой конструкции (рис.1) на траектории не замедляются на дальностях до 1500м и, следовательно, уровень бронепробивного действия снарядов будет стабильным на всей траектории.

ВЫВОДЫ

1. Разработана комплексная методика расчета параметров для проектирования АРС с РДТТ.
2. Показано, что применение РДТТ для повышения характеристик 30-мм бронебойных снарядов целесообразно.

Библиографический список

1. Ковалёв В. В., Игнатов А. В., Кондратьев А. Г., Танаев В.П. Возможные направления модернизации 30-мм бронебойного выстрела// Оборонная техника.– 2017. - №1-2 - с. 172-174.
2. Современное состояние и перспективы развития артиллерийских систем (Обзор по материалам открытой печати) / под ред. Фомина М.В. // Оборонная техника. – 2005. - №10-11.
3. Самородинский М.В. Современные тенденции совершенствования системы ракетно-артиллерийского вооружения сухопутных войск вооруженных сил РФ // Боеприпасы. – 2014. – №2. – с. 43 – 46.
4. Средства поражения и боеприпасы // Под общ.ред. Селиванова В.В. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.: ил.
5. 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.

POSSIBILITIES OF A 30-MM ARMOUR-PIERCING ACTIVE ROCKET WITH RDTT

Braguntsov Egor Yakovlevich¹ Ph.D. associate professor of department of gas-dynamic impulse devices, Zvegintsev Valery Ivanovich² Ph.D. associate Professor of technical Sciences., Kuznetsov Egor Alekseevich

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

*²SIBERIAN BRANCH OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
KHRISTIANOVICH INSTITUTE OF THEORETICAL AND APPLIED
MECHANICS, Novosibirsk*

Abstract

In this paper, a version of the design of a 30-mm armor-piercing active-missile (APC) with a solid-fuel rocket engine (RDTT) for automatic guns (AG) 2A42, 2A72 is proposed and a calculation analysis of its technical characteristics is carried out.

In the framework of the mass-size limitations of the existing 30-mm armor-piercing ammunition, the possibility of increasing the armor-piercing action of the projectile through the use of solid-propellant rockets to the level of existing and prospective samples of foreign lightly armored equipment at ranges up to 1500 m is shown.

Keywords

Armor piercing active missile, rocket engine, solid fuel, armor-piercing action.

ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ДЛЯ ИЗДЕЛИЯ-ПОСТАНОВЩИКА МАСКИРУЮЩЕЙ ЗАВЕСЫ

*Брагунов Егор Яковлевич^{1,2} к.т.н., Хребтова Мария Сергеевна^{1,2},
Чемерис Алексей Васильевич^{1,2}*

Хребтова М.С. e-mail: khrebtova.maria@yandex.ru

¹ *АО «Институт прикладной физики», 630117, Россия, г. Новосибирск,
ул.Арбузова, 1/1*

² *Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20*

Аннотация:

В данной работе приведены результаты разработки предохранительно-исполнительного механизма (ПИМ) для изделий-постановщиков помех. На основании анализа существующих конструкций разработан ПИМ, обеспечивающий более высокую надежность, безотказность, а также снижающий износ канала ствола пусковой установки.

Ключевые слова: метательный модуль, предохранительно-исполнительный механизм, конструкция

Одним из способов противодействия ВТО является применение специальных изделий-постановщиков помех.

При этом проектируемые изделия должны создавать маскирующие завесы с максимально возможными эффективными размерами. Для обеспечения оптимальных параметров завес интенсивно развиваются различные методы диспергирования, среди которых наиболее перспективным для получения больших размеров облаков является взрывной, особенно при разбросе плотно упакованного снаряжения с большой массой. Данный способ требует введения в состав изделия предохранительно-исполнительного механизма (ПИМ) для обеспечения безопасности при хранении и эксплуатации.

Конструкции ПИМ, входящие в состав взрывателей, разнообразны и на сегодняшний день хорошо отработаны [1, 2].

Для изделий-постановщиков помех взрывным методом ПИМ проектируются с учётом особенностей их функционирования. Предохранительный механизм должен обеспечить несрабатывание заряда взрывчатого вещества (ВВ) в случае нештатной работы изделия при хранении и транспортировании, а также в момент выстрела и хода по каналу ствола. Это позволит предотвратить опасность поражения экипажа и обслуживающего персонала, а также предотвратить повреждение пускового устройства (ПУ) и оборудования объекта бронетехники (ОБТ), с которого ведётся стрельба.

Перечисленным выше требованиям наиболее удовлетворяет конструкция, описанная в патенте ЕР 0293273 А1 для изделия-постановщика маскирующей завесы [3]. ПИМ входит в состав метательного блока изделия-постановщика помех, который предназначен для приведения в движение изделия, а также для ведения изделия по каналу ствола пусковой установки.

На рисунке 1 показано устройство указанного ПИМ в метательном блоке.

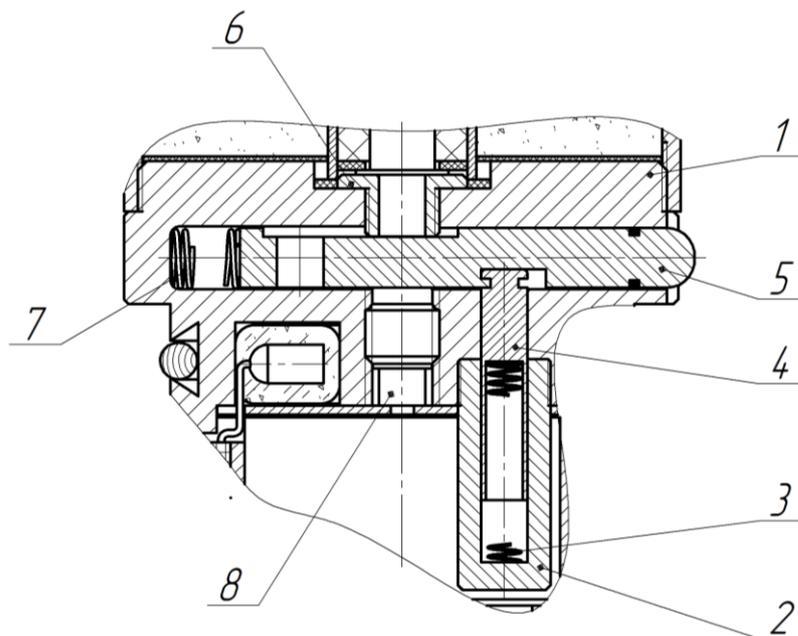


Рис. 1. Метательный блок

*1 – корпус метательного блока; 2 – корпус; 3 – пружина; 4 – фиксатор;
5 – стержень-размыкатель; 6 – фиксирующая втулка; 7 – пружина;
8 – замедлитель*

Корпус метательного блока 1 имеет два перпендикулярных друг другу отверстия для размещения элементов предохранительного механизма, а именно: фиксирующей втулки 6, стержня-размыкателя 5, пружины 7, фиксатора 4, корпуса 2, пружины 7. Стержень-размыкатель 5 предназначен для перемещения форс-канала при зарядании снаряда в ПУ. Смещение форс-канала обеспечивает размыкание огневой цепи – форс пламени от замедлителя не передается детонатору. Пружина 7 служит для перемещения стержня-размыкателя 5 в боевое положение после выхода снаряда из ПУ, в боевом положении стержень-размыкатель удерживается фиксирующей втулкой 6, также втулка 6 служит для предотвращения поворота стержня-размыкателя вокруг своей оси. Фиксатор 4 служит для удержания стержня-размыкателя 5 в не боевом положении при хранении и транспортировке изделия, т.е. до зарядания его в ПУ. Пружина 3 удерживает фиксатор 4 в крайнем верхнем положении и сжимается во время пуска изделия за счет инерции фиксатора 4.

Данная конструкция действует следующим образом. Пороховые газы метательного заряда попадают в камеру ПУ, где создается давление,

необходимое для выхода фиксирующей пружины из пазов пусковой установки и вылета изделия. Изделие под действием давления пороховых газов метательного заряда перемещается по стволу пусковой установки. Сразу после начала движения, под действием инерции фиксатор 4 сжимает пружину 3 и смещается в сторону дна изделия, тем самым освобождая стержень-размыкатель 5.

Одновременно пороховыми газами метательного заряда через отверстие в крышке инициируется пиросостав замедлителя 8. После выхода изделия из ПУ, пружина 7 смещает стержень-размыкатель 5 до упора в фиксирующую втулку 6, открывая путь форсу пламени от замедлителя к детонатору, т.е. замыкая огневую цепь.

Через заданное время замедлитель выдает форс пламени, инициирующий детонатор, который в свою очередь, инициирует шашки диспергирующего заряда. Продукты взрыва шашек диспергирующего заряда создают давление для выброса снаряжения. Разброс происходит, преимущественно, в радиальном направлении, тем самым формируя дискообразное облако, расположенное во фронтальной плоскости в направлении полета снаряда.

К преимуществам данной конструкции можно отнести малое количество элементов, а также то, что форс пламени проходит по достаточно короткому пути, поэтому нет необходимости в установке дополнительных навесок пороха перед капсулем-детонатором, инициирующем подрыв диспергирующего заряда. Однако этот ПИМ имеет и недостатки. Например, так как фиксатор 4 смещается при зажатом стержне-размыкателе 5 за счет сил инерции, не исключено срабатывание механизма при неосторожном обращении, т.е., ПИМ может сработать от удара об землю. Кроме того, использование одного замедлителя не обеспечивает безотказное срабатывание, поскольку данные изделия обладают невысокой надежностью и чаще всего должны использоваться в паре.

Предлагается другая конструкция ПИМ, обеспечивающая большую безопасность и невозможность замыкания огневой цепи при служебном обращении.

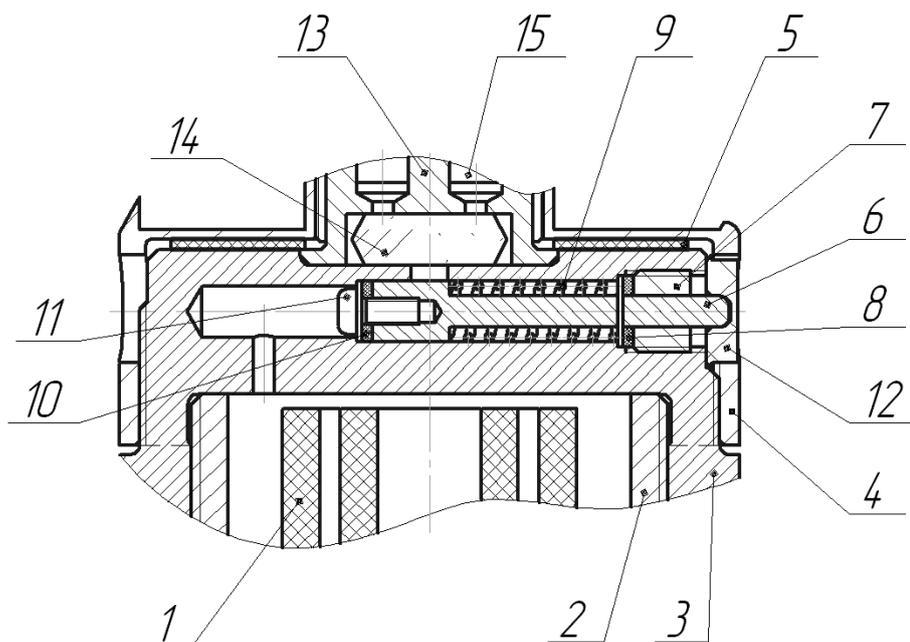


Рис. 2. Модуль с РДТТ

*1 – заряд; 2 – дно в сборе; 3 – корпус узла предохранения;
4 – оболочка головной части; 5 – шайба; 6 – штифт; 7 – гайка; 8 – кольцо;
9 – пружина; 10 – кольцо; 11 – винт; 12 – пробка; 13 – втулка;
14 – картуз с порохом; 15 – замедлитель (2 шт.)*

На рисунке 2 представлен фрагмент изделия с ПИМ. На резьбу дна в сборе 2 навинчивается корпус узла предохранения 3, в котором выполнено несколько отверстий, предназначенных для прохождения по ним продуктов горения заряда 1. В корпусе располагается стопорный механизм, состоящий из штифта 6, закрепляемого гайкой 7 с кольцом 8, обеспечивающим герметичность, и удерживаемого в замкнутом положении пружиной 9. С противоположного конца штифта для герметичности установлено кольцо 10, удерживаемое винтом 11. На корпус узла предохранения навинчивается оболочка головной части 4, укладываемая на шайбу 5. Для обеспечения надежности ПИМ перед замедлителями 15, закрепленными во втулке 13, установлен картуз с порохом 14. Пружина 9 предотвращает выдвигание штифта 6 за счет сил инерции или при неосторожном обращении с изделием. На внешний конец штифта 6 установлена пластмассовая пробка 12, закрепленная в отверстии оболочки головной части. Наличие пластмассовой пробки 12 позволяет снизить износ канала пусковой установки.

Данный предохранительно-исполнительный механизм действует следующим образом. Продукты горения заряда 1, распространяясь, попадают в отверстие корпуса узла предохранения 3. Пока изделие движется по каналу пусковой установки, штифт 6, отжимаемый центробежными силами и давлением образующихся газов, не способен выдвинуться и обеспечить попадание продуктов к замедлителям. Пробка 12, закрепленная на штифте, играет роль распределителя давления на внутреннюю поверхность пусковой

трубы и обеспечивает ее сохранность. После выхода изделия из установки пробка слетает, и штифт смещается, освобождая тракт для попадания продуктов сгорания твердого топлива работающего метательного устройства к картузу с порохом 14 и замедлителям 15, которые передают форс пламени на картуз, инициирующий капсюль-детонатор. Тем самым, огневая цепь замыкается.

К преимуществам данной конструкции можно отнести то, что она обеспечивает надежность как при служебном обращении, так и при боевом применении. Наличие защитной пробки позволяет снизить износ канала пусковой установки, а два замедлителя гарантируют высокую вероятность срабатывания изделия. В качестве дополнительной гарантии выступают и навески черного пороха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоров, Б. А. Боеприпасы артиллерии / Б. А. Прохоров. – Москва: Машиностроение, 1973 г. – 512 с.
2. Бабкин, А. В. Средства поражения и боеприпасы / А. В. Бабкин и др.; под общ. ред. В. В. Селиванова. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2008 г. – 982 с.
3. Патент EP 0293273 A1, “Projectile fumigène et munition ainsi équipée”, опубликован 30.11.1988 г, авторы: Jean Marc Puech, Daniel Larmignat, Jean-Pierre Lerezennec.

THE SAFETY ACTUATOR FOR SETTING A MASKING VEIL

Bragunczov Egor, e-mail: bragunczov@corp.nstu.ru

Khrebtova Maria, e-mail: khrebtova.maria@yandex.ru

Chemeris Alexey, e-mail: chemeris@corp.nstu.ru

Institute of applied physics, 630117, Russia, Novosibirsk, Arbuzova str., 1/1

Abstract:

This article shows the results of designing a safety actuator for setting a masking veil. Based on analysis of existing constructions, the safety actuator was developed, it can provide higher safety, trouble-free operations, and wear reduction of launcher.

Keywords:

propellant module, safety actuator, construction, setting a masking veil

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДА, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ЗЕРНЕННЫХ ПОРОХОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Вандышев Артем Максимович, Дубинина Софья Федоровна, д.т.н.
Хмельников Евгений Александрович*

*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*

Аннотация

Рассматривается моделирование формирования порохового заряда, состоящего из зерненных пороховых элементов. Целью работы является создание модели, позволяющей учесть неравномерное распределение пороховых элементов по длине заряда при расчете внутрибаллистических характеристик на основе газодинамического подхода.

Ключевые слова: пористость порохового заряда, формирование порохового заряда, пороховые элементы.

При проектировании артиллерийского вооружения важную роль играет определение величины давления пороховых газов, скорости боеприпаса при выстреле и других внутрибаллистических параметров.

Для решения этой задачи в настоящее время широко используется газодинамический подход. Модель на основе этого подхода описывает горение пороха, движение пороховых газов и пороховых элементов.

Недостатком существующей модели является допущение о равномерном распределении пороховых элементов по длине заряда в начальный момент времени, что не вполне соответствует реальным процессам, наблюдаемым при формировании порохового заряда.

Целью работы является создание модели, позволяющей учесть неравномерное распределение пороховых элементов по длине заряда.

Предлагаемая модель позволяет определять значение пористости в различных сечениях, в зависимости от координаты, отсчитываемой в направлении оси заряда и использовать полученные данные при расчете внутрибаллистических характеристик на основе газодинамического подхода.

При моделировании формирования порохового заряда учитываются следующие факторы, влияющих на неравномерность распределения пороховых элементов:

1) При засыпке зерненного пороха в гильзу каждый из пороховых элементов принимает случайное положение и ориентацию в пространстве.

2) После того, как пороховой элемент попал на нижележащий слой пороха, он может продолжить движение вдоль боковых поверхностей уже сформированного объема пороха.

При моделировании формирования порохового заряда заснарядный объем, заполняемый порохом, представляется в виде пустотелого цилиндра того же объема, расположенного вертикально. Цилиндр заполняется пороховыми элементами. Каждый пороховой элемент возникает на верхнем срезе цилиндра в произвольной точке и имеет произвольную ориентацию в пространстве, затем падает вниз до тех пор, пока не достигает дна цилиндра или пороховых элементов, расположенных в цилиндре под падающим элементом. После этого на верхнем срезе цилиндра возникает новый пороховой элемент. После того, как падающий пороховой элемент достигает слоя нижележащих элементов, он может остановиться или же продолжить движение, в зависимости от положения центра тяжести элемента относительно точки опоры.

При расчете движения порохового элемента и его взаимодействий с нижележащими пороховыми элементами используется основная система координат Ox_0y_0 (неподвижная), кроме того, для каждого падающего элемента строится система координат $Oxyz$, связанная с пороховым элементом.

При расчете составляется система уравнений, учитывающая силы, действующие на пороховой элемент (силу тяжести, силы реакции опоры и силы трения) и включающая уравнение поступательного движения порохового элемента в проекциях на координатные оси x и y и уравнение вращения относительно оси z .

Полученные дифференциальные уравнения решаются численно, с помощью одного из методов Рунге-Кутты. В случае изменения условий контакта между пороховыми элементами (появление второй точки опоры, переход к свободному падению и т.д.) уравнения изменяются таким образом, чтобы учесть новые факторы, влияющие на движение падающего порохового элемента.

При моделировании формирования порохового заряда, расчет послойной пористости является заключительным этапом. Пористость - это объем пустот в единице объема, занятого пороховыми элементами. После того, как общая масса пороховых элементов в цилиндре достигнет значения, равного номинальной массе порохового заряда, определяется значение пористости для всех горизонтальных сечений цилиндра, а также плотность заряжения для всего объема цилиндра.

На рис. 1 показана картина заполнения цилиндра пороховыми элементами, полученная при моделировании. Рисунок соответствует расчету, выполненному для орудия калибра 30-мм, и изображает часть заснарядного пространства (длиной 48 мм) в конце его заполнения.

Анализ полученных данных показывает, что значения пористости для различных горизонтальных сечений цилиндра могут значительно отличаться друг от друга, например у дна камеры значения пористости практически всегда

ниже, чем в районе дна боеприпаса.

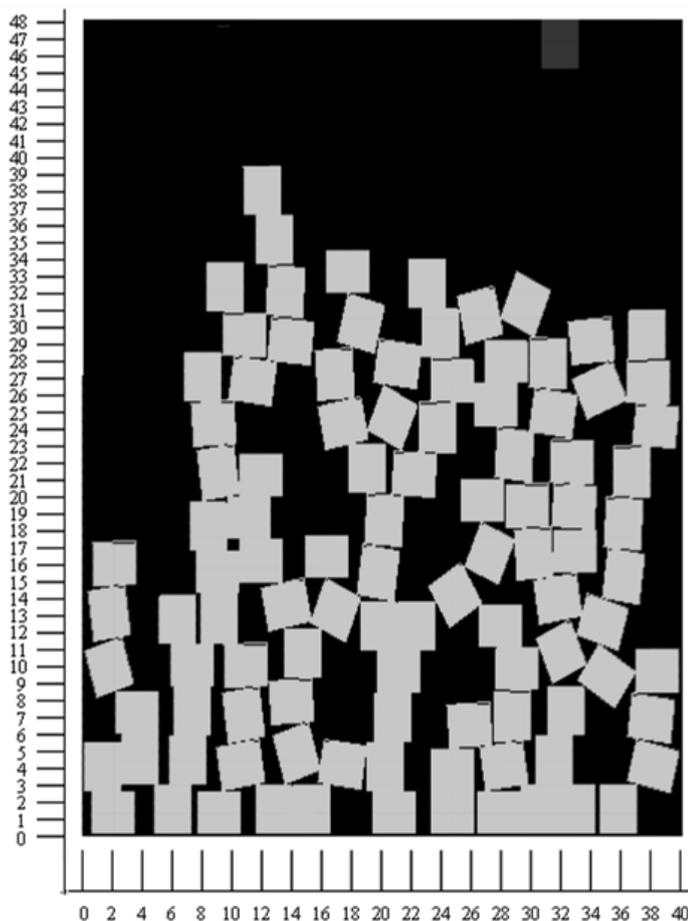


Рис. 1 - Заполнение цилиндра

С целью оценки разработанной модели был проведен ряд расчетов по формированию зарядов для орудия АК-230 и по расчету внутрибаллистических параметров с использованием газодинамического подхода для сформированных зарядов.

В результате расчетов установлено, что неравномерное распределение пористости по длине заряда оказывает значительное влияние на величину давлений пороховых газов при выстреле (рис. 2). Так, например, максимальное давление пороховых газов в области дна камеры орудия изменялось для различных зарядов в интервале от 316,1 до 397,8 МПа. Такая разница в значениях давлений пороховых газов объясняется наличием в сформированных зарядах областей со значительными отклонениями пористости от средних значений, что приводит к локальному повышению (или снижению) давления в этих областях в процессе горения пороха. Экспериментальные значения максимальных давлений пороховых газов для этого же орудия находятся в пределах от 307 до 362 МПа – один из экспериментальных графиков показан на рис. 2.

Таким образом, учет неравномерного распределения пороховых элементов по длине заряда приводит к значительным изменениям в результатах расчетов внутрибаллистических параметров при выстреле на основе газодинамического

подхода. Полученные при расчетах на основе новой модели данные согласуются с экспериментальными данными, то есть созданная модель формирования порохового заряда достаточно точно описывает реальный процесс заполнения заснарядного пространства пороховыми элементами, а полученные в результате расчетов значения пористости могут быть использованы для вычисления внутрибаллистических параметров в уравнениях газодинамического подхода.

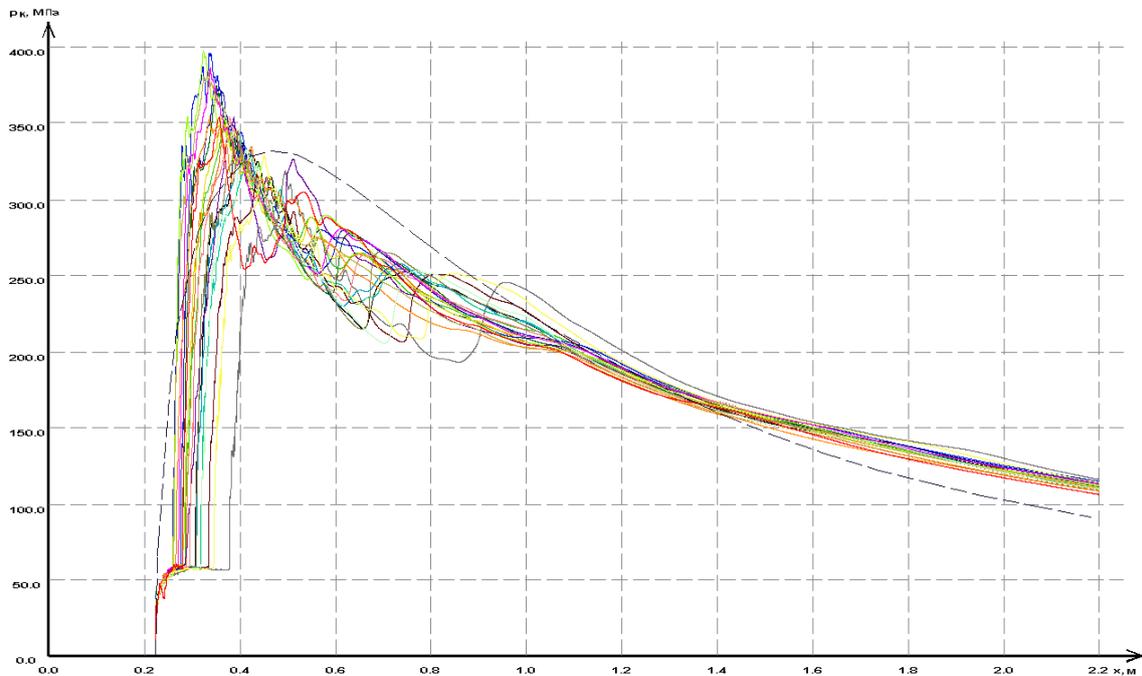


Рис. 2. Кривые изменения давления пороховых газов в районе дна каморы $p_k(x)$, — - расчет № 1, — - расчет № 2, — - расчет № 3, — - расчет № 4, — - расчет № 5, — - расчет № 6, — - расчет № 7, — - расчет № 8, — - расчет № 9, — - расчет № 10, — - расчет № 11, — - расчет № 12, — - расчет № 13, — - расчет № 14, — - расчет № 15, — - расчет № 16, — - расчет № 17, — - расчет № 18, — - расчет № 19, — - расчет № 20, — - расчет при условии равномерного распределения пористости, — - экспериментальный график

Выводы: создана модель формирования порохового заряда, состоящего из зерненных пороховых элементов; новая модель позволяет учесть неравномерное распределение пороховых элементов по длине заряда и описать реальные процессы формирования порохового заряда; по разработанной модели были выполнены расчеты внутрибаллистических параметров для 30-мм орудия, результаты которых показали хорошее совпадение с экспериментальными данными.

Библиографический список:

1. Русяк И.Г., Ушаков В.М. «Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах», Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 259 с.
2. 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).
3. Русяк И.Г., Липанов А.М., Ушаков В.М. Физические основы и газовая динамика горения порохов в артиллерийских системах. – М. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. – 456 с.

**MODELING OF THE POWDER CHARGES SHAPING CONSISNNING
OF GRANULAR POWDER ELEMENTS**

Vandyshev Artem Maksimovich, student,

e-mail wandishomg@gmail.com

Dubinina Sofiya Fedorvna, Ph.D. student,

e-mail kitolov@mail.ru

Khmelnikov Evgeny Aleksandrovich, D.Sc. (Engineering), Corresponding Member,
Russian Academy of Sciences, Professor, Head of department,

e-mail khmelnikov7@gmail.com

*Nizhny Tagil Technology Institute (branch) Ural Federal University,
Krasnogvardeyskaya st., 59, Nizhny Tagil, 622000, Russian Federation.*

Abstract:

At the paper modeling of the shaping of the powder charges consisting of granular powder elements are described. The aim of paper is creating of the model allowing accounting non-linear charge-length distribution of the powder elements for calculation of intra-ballistic performances based on gas-dynamic approach.

Key words: Sponginess powder charges, Shaping of powder charge, powder elements.

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА
ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ «CCDS 2000»**

*Вольф Нина Андреевна, студентка;
Гуськов Анатолий Васильевич, д. т. н., доцент;
Милевский Константин Евгеньевич, к. т. н., доцент.*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Вольф Н. А., email: cosmos721@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса 20.

Аннотация

На сегодняшний день становятся широко востребованы технологические процессы, связанные с восстановлением и упрочнением как изношенных деталей, так и новых, методом детонационного напыления. Производственные объекты, занимающейся этой технологией, являются опасными, так как на них используется оборудование, работающее под давлением, горючие газы и токсичные вещества. Актуальность предложенной работы заключается в установлении и соблюдении всех необходимых требований безопасности как к эксплуатации оборудования, так и к устройству технологического помещения.

Объектом исследования является комплекс детонационного напыления «CCDS 2000», разработанный в Институте Гидродинамики им. Лаврентьева.

Цель работы: исследование требований к техническим системам по обеспечению безопасности при эксплуатации комплекса детонационного напыления «CCDS 2000» и повышение их надежности. Для достижения цели поставлены следующие задачи: идентификация вредных и опасных факторов, выделяющихся при эксплуатации «CCDS 2000»; анализ технологического процесса, используемого оборудования, и рабочего помещения; разработка плана технологического помещения с учетом выявленных опасностей и вредных производственных факторов.

Ключевые слова: Детонационное напыление, CCDS 2000, оксид алюминия, безопасность, деталь.

Технология детонационного напыления представляет собой процесс нанесения покрытий, в которой для разогрева и разгона порошкообразного материала используется энергия газового взрыва. Покрытие наносится с помощью детонационной пушки, в которой продукты взрыва разогревают частицы порошка до плавления и-metaют их со скоростью пули на деталь, установленную перед стволом пушки. При столкновении происходит микросварка, и порошок прочно соединяется с поверхностью детали. За один выстрел образуются пятно покрытия диаметром несколько сантиметров

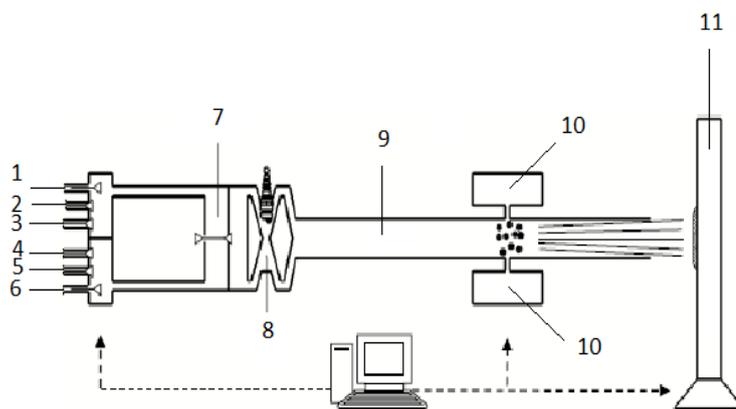
толщиной до 10 микрон. Необходимая толщина наращивается серией последовательных выстрелов.

Задачей напыления является восстановление геометрических размеров изношенных деталей, нанесение упрочняющих покрытий, керамическая изоляция и металлизация материалов.

Комплекс детонационного напыления (Рис.1) состоит из четырех сборочных единиц: пушки, манипулятора, управляющего компьютера и блока охлаждения, соединяемых между собой специальными электрическими кабелями и размещаемых в двух сообщающихся помещениях: операторской и боксе, разделенных стенкой со смотровым окном.



а)



б)

Рис. 1. – Комплекс детонационного напыления CCDS2000

а) Фото CCDS2000

б) Схематичное изображение CCDS2000

1, 2, 3, 4, 5, 6 – газовые магистрали (соответственно азот, топливо 1, топливо 2, кислород, кислород, азот); 7 – демпферная камера; 8 – камера зажигания; 9 – ствол; 10 – дозатор; 11 – манипулятор.

Действие пушки складывается из основных операций, схематично представленных на Рис. 2. В качестве обрабатываемой детали взята поверхность ниппеля. Требуется нанести напыление из оксида алюминия (Al_2O_3) толщиной 500 мк.

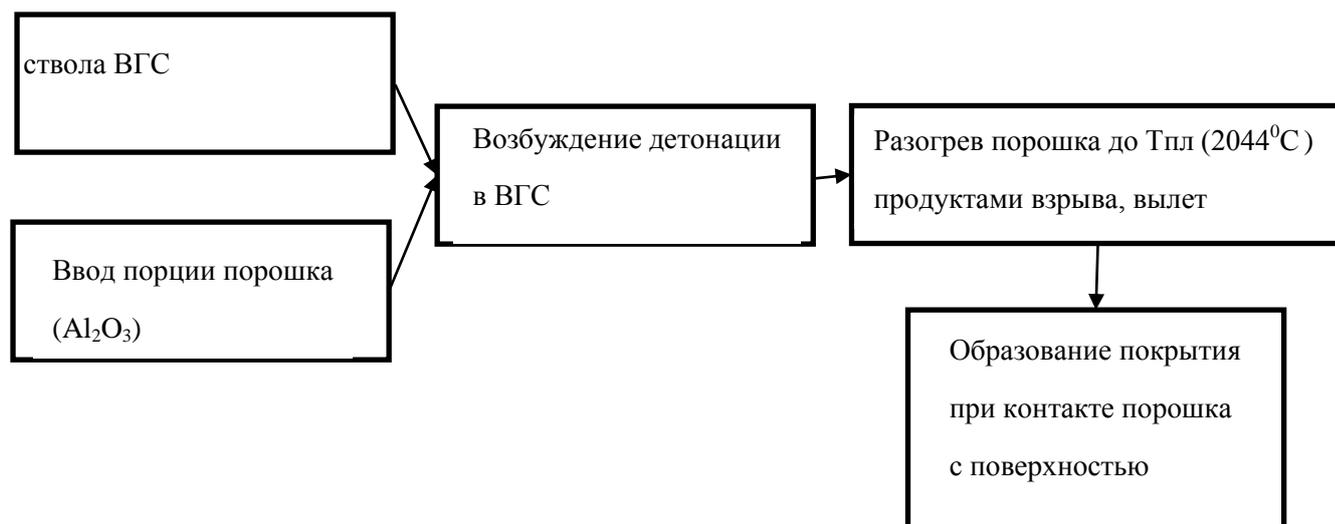


Рис. 2. Блок – схема: действие пушки

При стандартном цилиндрическом стволе $\varnothing 20$ мм пятно напыления на неподвижной детали имеет размер 20-25 мм и площадь 3-4 см². При стволе $\varnothing 26$ мм пятно напыления имеет размер 26-30 мм и площадь 5-7 см².

Номинальная скорострельность установки - 4 выстрела в секунду, максимальная - до 10 выстрелов в секунду.

Участок детонационного напыления можно разделить на 3 основных зоны:

Зона 1: Помещение, где наносится покрытие на деталь, и в котором находятся пушка, манипулятор, газовые магистрали;

Зона 2: Рамповая, где хранятся и эксплуатируются газовые баллоны (кислород, азот и ацетилен). Газы подаются к газораспределителю и затем в ствол;

Зона 3: Операторская, с которой ведется управление и контроль технологического процесса.

При выполнении технологического процесса детонационного напыления выявлены следующие *опасные и вредные производственные факторы*:

- повышенное содержание пыли и газовых ингредиентов продуктов детонации в воздухе рабочей зоны (в нашем случае алюминиевая пыль, фракцией 50 мкм);

- повышенные уровни шума/вибрации;

- повышенная температура поверхности оборудования и напыляемых деталей;

- электромагнитное излучение ультрафиолетовую и видимого спектра;

- повышенная яркость вспышки в период детонации;

- физические перегрузки;

- нервно -психические перегрузки;

- перенапряжение зрительного и слухового анализаторов.

Наибольшей вредностью является используемый в напылении Al_2O_3 ,

имеющий 4й класс опасности. Вдыхание алюминиевой пыли вызывает тяжелые отравления. Профессиональное заболевание носит название алюминоза легких и сопровождается сморщиванием легких (то есть постепенным замещением легочной ткани фиброзной), атеросклерозом (особенно сосудов бронхов), дерматитами и изменением крови – увеличением количества лимфоцитов и эозинофилов и т. д.

Концентрация Al_2O_3 в воздухе рабочей зоны при детонационном напылении, не должна превышать предельно допустимых концентраций (ПДК) по ГОСТ 12 I 005 -88 «ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и «Перечням ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, утвержденным Минздравом СССР. ПДК Al_2O_3 составляет 2 мг/м^3 .

Бокс детонационного напыления должен быть оборудован приточно - вытяжной вентиляцией, обеспечивающей сменяемость воздуха за 1-2 минуты. Это требование не выполняется на исследуемом объекте, так как он оснащен лишь вытяжной вентиляцией и воздухообмен составляет 5-6 минут. Тем не менее, концентрация Al_2O_3 в воздухе исследуемой рабочей зоны является допустимой (согласно СОУТ ниже нижнего предела обнаружения).

Размеры бокса ($S = 9 \text{ м}^2$, $H = 2,2 \text{ м}$) не соответствует технологическим нормам (Согласно Межотраслевым правилам по охране труда при производстве ацетилена, кислорода, процессе напыления и газопламенной обработке металлов ПОТ РМ-019-2001, п. 3.3.24. Свободная площадь (исключая оборудование) должна быть не менее 10 м^2 , а свободная высота помещения от уровня пола - не менее 3,2 м.). Планировка участка на Рис. 3.

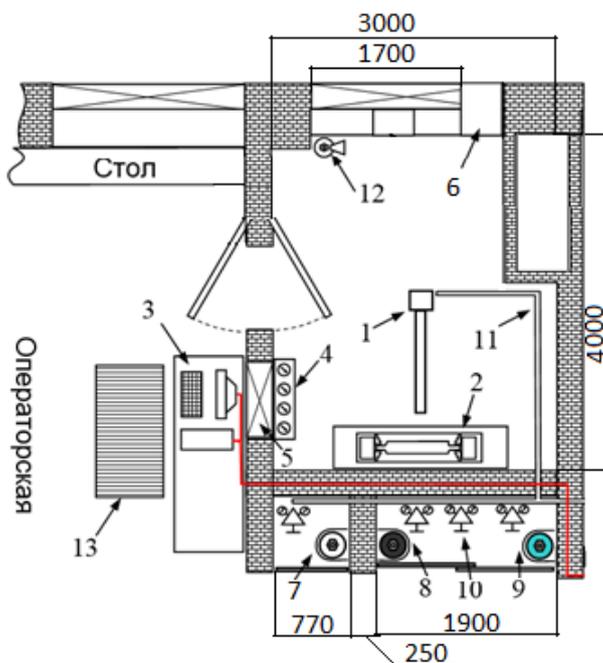


Рис. 3. – Планировка участка детонационного напыления

1-Пушка, 2-Манипулятор, 3-Управляющий компьютер, 4-Контрольные манометры, 5-Окно смотровое, 6-Вытяжная вентиляция, 7-Рампа ацетиленовая, 8-Рампа азотная, 9-Рампа кислородная, 10-Редуктор воздушный, 11-Магистралы газовые, 12-Огнетушитель, 13-Коврик диэлектрический

Показатель освещенности в боксе – 317 лк – не удовлетворяет требованиям (СанПиН 2.2.1/2.1.1. 1278-03, т.2, п.19 Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных пунктов. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий – 400 лк).

Вывод: В работе были исследованы технологический процесс и оборудование для детонационного напыления. Были выявлены вредные факторы, присутствующие при эксплуатации комплекса детонационного напыления «CCDS2000»:

- 1) Содержание в воздухе рабочей зоны бокса алюминиевой пыли;
- 2) Высокий уровень шума (до 130 дБА);
- 3) Повышенная яркость вспышки в период детонации.

Учитывая требования по безопасности при детонационном напылении и нарушения, выявленные на исследуемом объекте предлагается планировка помещения (Рис. 3) и следующие мероприятия:

- 1) Расчет и проектирование системы вентиляции в боксе;
- 2) Расчет и проектирование системы освещения в боксе;
- 3) Расчет и проектирование звукоизоляции в боксе;
- 4) Экранирование вспышки детонации соответствующими светофильтрами.

Библиографический список:

1. Ульяницкий В. Ю. Физические основы детонационного напыления. Докторская диссертация. рук. 2001. 256 с.
2. Ульяницкий В.Ю., Кирякин А.Л., Штерцер А.А., Злобин С.Б. Установка для детонационного напыления покрытий. Патент РФ № 2399431, опубл. 20.09.2010, бюл. № 26.
3. НПА ОП 28.51-1.37-90. Правила по безопасности труда при детонационном напылении покрытий
4. ГОСТ 12.3.036-84 Межгосударственный стандарт система стандартов безопасности труда газопламенная обработка металлов. Требования безопасности.

**DEVELOPMENT OF SECURITY ACTIVITIES WHEN OPERATING
THE DETONATION SPUTTERING COMPLEX "CCDS 2000"**

Volf N. A., student;

Guskov A. V., Ph.D.;

Milevsky K. E., Ph.D.

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, pr.

Karl Marx, 20, tel. 8 (383) 346-27-87

Abstract: The object of the research is a complex of the detonation sputtering complex "CCDS2000", developed at the Institute of Hydrodynamics.

Objective: research the requirements of safety engineering systems for the operation of the CCDS 2000 detonation sputtering complex and to increase their reliability.

Keywords: Detonation sputtering, CCDS 2000, aluminum oxide, safety.

БРОНЕБОЙНЫЙ-ОПЕРЕННЫЙ ПОДКАЛИБЕРНЫЙ СНАРЯД

Гуськов Анатолий Васильевич, д.т.н. профессор; Гынгазов Дмитрий Владимирович, студент; Милевский Константин Евгеньевич, к.т.н. доцент.

*Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г.Новосибирск, пр.Карла Маркса 20, тел. (913)005-48-19*

Гуськов А.В., e-mail: conf_npo@craft.nstu.ru

Милевский К.Е., e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Гынгазов Д.В., e-mail: Gynnyk@mail.ru

Аннотация

В работе рассматривается способ повышения пробития гомогенной брони танка снарядом типа, броневой оперенный подкалиберный снаряд (БОПС). Рассмотрены способы их решений.

Ключевые слова: броневой оперенный подкалиберный снаряд, сердечник, стабилизатор, калибр.

Возникновение БОПС было связано с недостаточной бронепробиваемостью обычных броневых и подкалиберных снарядов для нарезных артиллерийских орудий в годы после Второй мировой войны. Попытки увеличить удельную нагрузку (то есть удлинить их сердечник) в подкалиберных снарядах натолкнулись на явление потери стабилизации вращением при увеличении длины снаряда свыше 6-8 калибров. Прочность современных материалов не позволяла более увеличивать угловую скорость вращения снарядов.

В Советском Союзе (и позже России) во второй половине 1950-х годов В. В. Яворским и сотрудниками был развит принципиально новый путь увеличения длины снаряда (то есть его поперечной нагрузки) путём применения стреловидных снарядов, выстреливаемых из гладкоствольных или артиллерийских орудий с пологой нарезкой. Впоследствии от пологой нарезки отказались и перешли на полностью гладкоствольные артиллерийские орудия, которые в настоящее время обеспечивают необходимую кучность стрельбы стреловидными оперенными снарядами.

Калибр гладкоствольных орудий для стрельбы БОПС составляет в настоящее время 115,120,125 мм. Некоторые конструкции БОПС позволяют выстреливать их из нарезных артиллерийских орудий калибров 90, 100 и 105 мм.

Основные преимущества выстрелов с БОПС танковых пушек:

- высокая бронепробиваемость всех типов защиты,
- малое полётное время до цели,
- настильная траектория на дальности до 4 км,

- высокая кучность боя.

Усиление противоснарядной защиты современных танков, состоящей из сложной и разнесенной комбинированной брони с применением элементов динамической защиты, многослойных сетчатых или ячеистых структур, требует повышения эффективности действующих по такой броне танковых бронебойных подкалиберных снарядов (БПС).

Основными направлениями совершенствования БПС являются:

1) увеличение бронебойного действия за счет:

а) максимально возможного удлинении срабатывающегося корпуса, выполнения его из высокопрочного материала, обладающего повышенным сопротивлением к поперечной нагрузке со стороны поверхности его контакта с преградой;

б) использования секторов с обтюрирующим пояском схемы ведущего устройства, в сочетании с калиберным стабилизатором

2) повышение начальной скорости снаряда за счет использования высокоэнергетических порохов и более напряженных баллистических решений;

увеличение кучности боя за счет:

а) совершенствования системы ведения и центрования снаряда (она влияет на снаряд при его движении в стволе) и уменьшения возмущений после окончания действия пороховых газов;

б) повышения качества изготовления снаряда.

Кроме указанных, перспективным направлением повышения поражающего действия БПС является применение сердечника из твердого сплава, который бы проникал в преграду не разрушаясь.

Определенный интерес представляет исследование возможности поражения танков за счет увеличения кинетической энергии снаряда без пробития брони, например, путем его ускорения у цели за счет использования реактивных двигателей. Приоритет должен быть отдан максимально возможному удлинению срабатывающегося корпуса, что вызывает необходимость увеличения габаритов боеприпаса и, следовательно, поиска новых конструкторских решений по боевому отделению и автомату заряжания. При этом проблемы повышения начальной скорости снаряда и обеспечения высокой кучности боя должны оставаться в поле зрения конструктора. Благодаря работе в данном (приоритетном) направлении были созданы боеприпасы с БПС к танковой пушке Д-81, обладающие более высоким (в два раза) бронебойным действием по гомогенным преградам, найдены технические решения, обеспечивающие надежное поражение перспективных комбинированных преград.

Рассмотрим зависимости (рисунок), построенные по результатам испытаний БПС при стрельбе из трех разных пушек и по данным расчетных оценок. Как показывает линия А, для первой пушки при увеличении относительной длины снаряда L/D с 5,3 до 6,0 за счет увеличения длины

корпуса БПС (при одновременном уменьшении активного диаметра корпуса примерно на 10%) бронепробиваемость снаряда может быть повышена не менее чем на 20 % (Рис. 1).

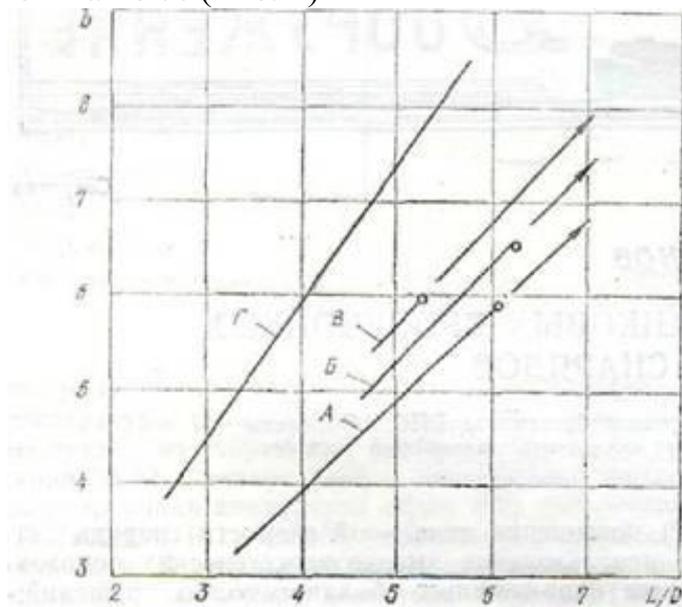


Рис. 1. Зависимость относительной бронепробиваемости БПС Б от отношения его длины L к калибру ствола D на дальности 2000 м.

A, B, B — для трех пушек соответственно; $Г$ - предельная характеристика, рассчитанная исходя из гидродинамической теории проникания; точка — ограничение по длине снаряда с дополнительным зарядом; стрелка — возможный рост бронепробиваемости при снятии существующих ограничений по габаритам.

Для второй, новой, пушки и модернизации боевого отделения танка (линия B) относительную длину снаряда можно увеличить с 5,75 до 7,2. При этом бронепробиваемость снарядов может возрасти на 30%. Таким образом, для обеспечения современных требований по бронепробиваемости БПС относительная длина снаряда должна быть не менее 7, в связи с чем нуждается в пересмотре концепция построения и перспективы танка с более мощной танковой пушкой (линия B).

Необходимость значительного удлинения корпуса снаряда требует решения следующих научно-технических задач: прежде всего исследования поведения таких длинных стержней в типовых преградах, в том числе оснащенных динамической защитой (устойчивость при ударе, поперечная прочность и т. д.); установления ограничений на минимальный диаметр корпуса из условия надежного пробития снарядом вероятной брони перспективных зарубежных танков и обеспечения заданного запреградного действия.

С увеличением длины БПС усложняется обеспечение кучности боя. В данной комплексной проблеме из решения задачи о движении снаряда в стволе с учетом перемещений и деформаций самого ствола необходимо выделить исследования по выявлению факторов, определяющих начальные условия вылета снаряда из ствола (углы, угловые скорости и др.)

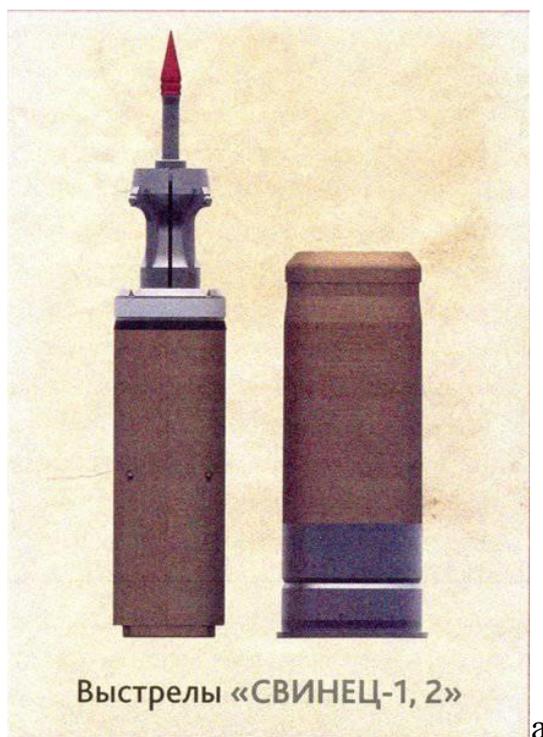
Кроме того, нужно определить влияние нестабилизированного полета снаряда в период последствия (из-за обдува его пороховыми газами) и отделения секторов ведущего устройства при формировании условий последующего движения снаряда на траектории. Для визуализации указанных процессов и получения достоверной информации о поведении снаряда может быть использована современная регистрирующая кино-рентгеновская аппаратура, двухмерная съемка и др.

Для обеспечения устойчивого полета БПС с удлиненным корпусом необходим эффективный стабилизатор, создающий достаточный запас статической устойчивости и высокие частотные характеристики снаряда в полете при минимальном лобовом сопротивлении. Следует также учитывать отрицательное влияние сильно развитого стабилизатора на характеристики бронебойного действия снаряда.

Удлинение снаряда потребует усиления прочности корпуса и ведущего устройства, для чего необходимы:

- разработка специальных высокопрочных при динамическом нагружении материалов и технологий для изготовления деталей снарядов, снижении анизотропии этих материалов при изготовлении из них удлиненного корпуса, ведущего устройства стабилизатора;
- исследование поведения этих материалов в условиях динамического нагружения, уточнение на этой основе физической модели и расчетов указанных деталей на прочность.

Совершенствование расчетных моделей и разработка новых материалов особенно важны в связи с тем, что при удлинении снаряда обязательно возникнет необходимость увеличить длину ведущего устройства, охватывающего корпус. Вследствие этого возможно увеличение массы снаряда, что потребует дополнительных затрат энергии на его разгон. Показателем совершенства конструкции БПС является отношение массы ведущего устройства в массе всего снаряда. У лучших отечественных снарядов оно составляет 39 % (ЗБМ-60 «Свинец-2»), у американского снаряда М-829 оно равно 42 % (Рис. 2.).



а



б

Рис. 2. Фотографии БОПС. а – отечественный; б - американский

Следует отметить, что удлинение ведущего устройства улучшает центрование снаряда как при зарядании, так и при движении по стволу.

При существующем варианте боеукладки в танке развитие базы центрования ограничено как в сторону хвостовой части снаряда (ввиду сокращения порохового заряда), так и в сторону его головной части (из-за недопустимости касания снарядов, уложенных в соседние кассеты). Одним из возможных вариантов решения этой проблемы является отход от традиционной формы выполнения передней центрующей базы в виде цилиндра. Вместе с тем выдвижение центрующей опорной поверхности нетрадиционной формы в сторону головной части снаряда с целью обеспечить более плотную укладку боеприпасов и сохранить их число в боевом отделении танка требует решения сложной технической задачи: разработки способа или устройства, обеспечивающего правильную ориентацию снаряда с дополнительным зарядом в автомате зарядания.

Использование боеприпасов раздельного зарядания с БОПС с катушечной схемой ведения для отечественных автоматов зарядания приведет к существенному (на 30-40%) уменьшению массы дополнительного порохового заряда и падению вследствие этого начальной скорости снаряда (на 5-7 %).

Поэтому для БОПС разрабатывается ведущее устройство комбинированного типа с двумя центрующими поверхностями, но без

сокращения объемов под расположение метательного заряда.

Вывод. Приоритетными направлениями развития танковых бронебойных подкалиберных снарядов являются:

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

Библиографический список

1. Григорян В.А., Белобородько А.Н., Дорохов Н.С. и др.; Под ред. Григорян В.А.-М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 Частные вопросы конечной баллистики.

2. Под. Ред. В.В. Селиванова, Средства поражения и боеприпасы, Т.1, Изд. МГТУ им Н.Э. Баумана, 2016.

3. Патент 167767 Россия, МПК F42В 14/06. Оpubл. 17.02.2017 (Авторы Гуськов А.В., Милевский К.Е., Долматов А.С., Кузнецов Е.А.)

4. Влияние количества лучей ударника бронебойного-оперенного подкалиберного снаряда на пробитие преграды = Effect of number of rays of the projectile to break through barriers / А. В. Гуськов, Е. А. Кузнецов, К. Е. Милевский, А. И. Родионов // Вестник академии военных наук. - 2016. - № 41. - С. 61-63.

Armor-piercing feathered sub-caliber projectile

Guskov A.V., Ph.D. Professor; Gyngazov D.V., student; ; Milevsky K.E., Ph.D. assistant professor.

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk,
pr. Karl Marx, 20, tel. (913)005-48-19

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

Milevsky K.E., email gdd@craft.nstu.ru

Gyngazov D.V., e-mail Gynnyk@mail.ru

Annotation

In this paper, a method is considered for increasing the penetration of a homogeneous armor of a tank with a projectile of the type, an armored piercing feathered sub-caliber projectile (BPSS). The methods of their solutions are considered.

Keywords: Armor-piercing feathered subcaliber projectile, core, stabilizer, caliber.

НОВЫЙ ТИП ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА ДЛЯ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО СНАРЯДА К НАРЕЗНОМУ ОРУЖИЮ

*Зезюлинский Ярослав Сергеевич; Вандакуров Кирилл Александрович,
Гуськов Анатолий Васильевич, д.т.н., доцент; Милевский Константин
Евгеньевич, к.т.н., доцент., Вольф Нина Андреевна*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.

Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

Зезюлинский Я.С., e-mail: stroncyi@yandex.ru

Гуськов А.В., e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru

Милевский К.Е., e-mail: gdd@craft.nstu.ru

*Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический
университет, 630079, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел.*

(383)346-11-21

Аннотация

Предложен новый тип ведущего пояска, изготовленного из материала корпуса снаряда для снижения износа канала ствола, возникающего при использовании традиционного медного ведущего пояска или стального ведущего пояска той же формы.

Ключевые слова: ведущий поясок, сталь, давление, новый тип.

Ведущий поясок (ВП) обеспечивает взаимодействие корпуса снаряда с каналом ствола артиллерийской установки при выстреле, при этом ВП подвергается интенсивной пластической деформации на начальном участке движения для обеспечения обтюрации пороховых газов и придаче вращения снаряда (Рис. 1). Ведущий поясок представляет собой кольцо, закрепленное на снаряде, и изготавливается из материала М1. При движении ВП по каналу ствола температуры на поверхности ВП достигают величин, при которых происходит плавление приповерхностных слоев материала М1. По результатам исследований видно, что интенсивное тепловое воздействие приводит к рекристаллизации М1, а в последующем к переходу в расплавленное состояние приповерхностных слоев материала ВП, что является причиной омеднения, т.е. переноса тонких слоев меди на канал ствола. Помимо этого медный ведущий поясок обладает невысокими механическими свойствами (предел текучести σ_b около 240Мпа), что ограничивает прочность боевого выступа при ведении по каналу ствола [1, 2, 3, 4].

В виду вышеизложенного предлагается изготавливать ведущий поясок из материала корпуса снаряда (стали). Температура плавления стали составляет 1500°С, что будет препятствовать переносу приповерхностных слоев ВП на канал ствола ввиду ее недостижимости при выстреле.

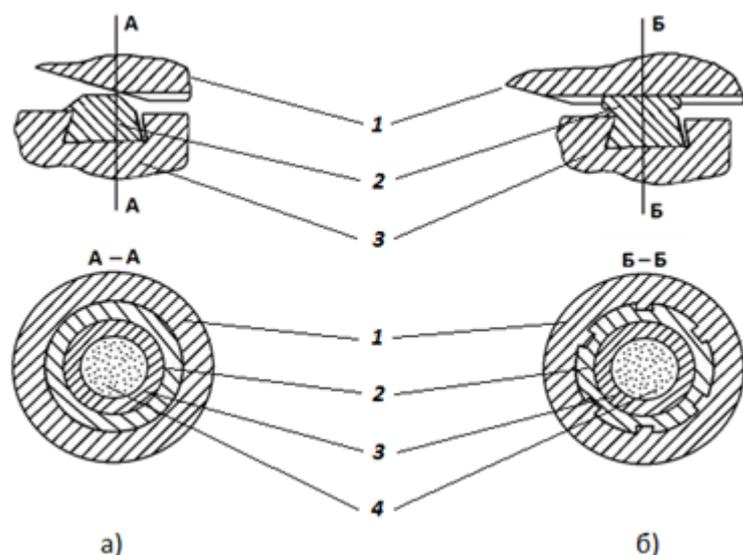


Рис. 1 Схема расположения снаряда с ведущим пояском в канале артиллерийской установки: а) исходное состояние; б) при движении снаряда по каналу ствола: 1 – Канал ствола, 2 – ведущий поясок, 3 – корпус снаряда, 4 – взрывчатое вещество

Результатами численного моделирования [5] и металлографических исследований [6] было подтверждено, что температура материала ВП из материала корпуса снаряда не достигала температуры плавления в процессе высокоскоростного движения снаряда по нарезам канала ствола. Но при использовании стального ВП традиционной кольцеобразной формы увеличивается удельное давление в процессе пластического деформирования при формировании боевых выступов и приводит к ограниченности свободных направлений деформирования материала ведущего пояска вследствие его ширины [7, 8].

Для предотвращения плавления приповерхностных слоев материала ВП и их переноса на канал ствола, а так же уменьшения удельного давления предлагается изготавливать ведущий поясок единым целым с корпусом снаряда (стальным), при этом ВП представляет собой кольцевые выступы, одинаковые по высоте, и гофрированные в поперечном сечении трапецеидальными канавками (Рис.1-2)[9].

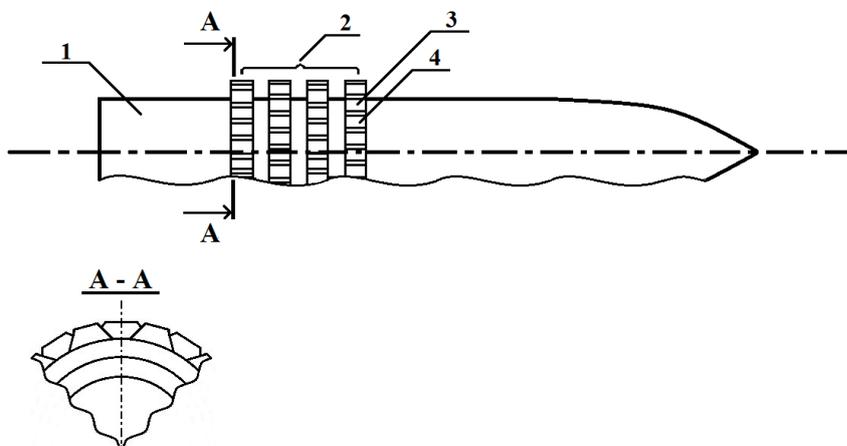


Рис. 2 Общий вид предлагаемого ведущего пояска, закрепленного на снаряде, для нарезного орудия: 1- корпус снаряда, 2 – ведущий поясок нового типа, 3 – последовательно выполненные кольцевые гребни, 4 – трапецеидальная канавка

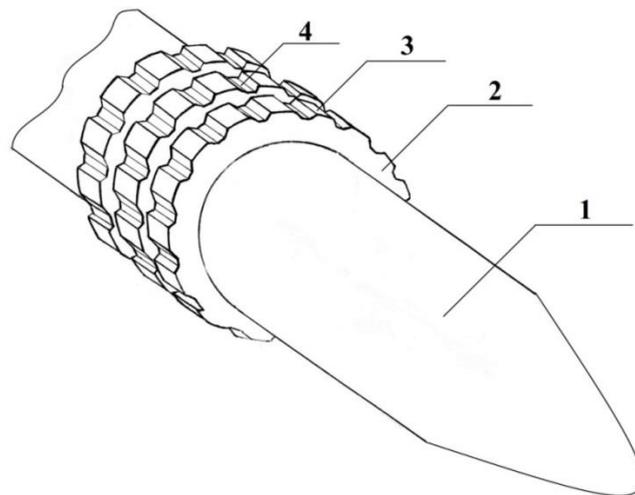


Рис. 3 Аксонометрический вид ведущего пояска с корпусом снаряда для нарезного орудия: 1- корпус снаряда, 2 – ведущий поясок нового типа, 3 – последовательно выполненные кольцевые гребни, 4 – трапециевидальная канавка

Давление в контакте ВП с каналом ствола снижается за счет того, что выступы ведущего пояска деформируются в соответствии с профилем канала ствола в тангенциальном и радиальном направлениях, заполняя при этом близлежащие канавки в момент захода снаряда. Помимо этого уменьшаются затраты энергии на продавливание боеприпаса и, как следствие, увеличивается дальность стрельбы.

Библиографический список

1. Zezulinsky J. Mathematical modeling of heat friction contact master belt with the gun mount barrel during the process of high-speed motion / J. Zezulinsky, A. Guskov, K. Milevsky // MATEC Web of Conferences. - 2016. - Vol. 72 : Heat and mass transfer in the system of thermal modes of energy – technical and technological equipment (HMTTSC-2016). - Art. 01132 (3 p.).

2. Теплоперенос в процессе высокоскоростного разгона типового ведущего пояска по каналу артиллерийской установки = Heat transfer in high-speed model leading belt for channel gun mount / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, Я. С. Зезюлинский // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015 : 11 междунар. науч. конгр. и выставка, Новосибирск, 13–25 апр. 2015 г. : междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. материалов в 3 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 3. – С. 107–111. – 100 экз. – ISBN 78-5-87693-819-0 (т. 3).

3. Теплоперенос на поверхности фрикционного контакта пары "ведущий поясок - канал ствола" в процессе высокоскоростного разгона / А. В. Гуськов, Я. С. Зезюлинский, К. Е. Милевский, Е. О. Неживых // Наука. Промышленность. Оборона : тр. 16 Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию Победы Великой Отечественной войне (Новосибирск, 22–24 апр. 2015 г.). – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. – С. 259-261. – 100 экз. – ISBN 978-5-7782-2646-3.

4. Гуськов А.В., Милевский К.Е., Слесарева Е.Ю. // Изв. вузов. Физика. – 2013. – Т. 56. - №6/3. – С. 14-16.

5. Численное моделирование процесса теплопроводности при высокоскоростном разгоне стального ведущего пояска по каналу артиллерийской установки / А. В. Гуськов, Я. С. Зезюлинский, К. Е. Милевский // Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики : Международная молодежная научная конференция. – Томск : ТГУ, 2015. ISBN 978-5-7511-2411-3

6. Зезюлинский Я.С. Металлографическое исследование процесса высокоскоростного разгона стального ведущего пояска по каналу ствола артиллерийской установки / Я.С.Зезюлинский ; науч. рук. А. В. Гуськов // Вооружение, военная техника и боеприпасы : форум лучших студентов техн. вузов России, 10 междунар. выставка «Вооружение, военная техника и боеприпасы» (Russia Arms Expo 2015), Нижний Тагил, 10 сент. 2015 г. : сб. науч. ст. В 2 ч. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – Ч. 1. – С. 172–176.

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

8. Пат. 149768 Российская Федерация, F42В 14/02. Артиллерийский снаряд к нарезному оружию / Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М.С.; заявитель и патентообладатель Новосиб. гос. тех. ун-т. - № 2014128916/11; заявл. 14.07.14; опубл. 20.01.15, Бюл. №2.

9. Пат. 165297 Российская Федерация, F42В 12/00 / F42В 14/02. Артиллерийский снаряд для нарезного оружия / Гуськов А.В., Милевский К.Е., Вольф Н.А., Зезюлинский Я.С.; заявитель и патентообладатель Новосиб. гос. тех. ун-т. - № 2015153599/03; заявл. 14.12.15; опубл. 10.10.16, Бюл. №28.

A NEW TYPE MASTER BELT OF AN ARTILLERY PROJECTILE FOR RIFLED WEAPONS

Zezyulinsky Yaroslav S., Vandakurov Kirill Aleksandrovich, Guskov Anatoly V., Milevskiy Konstantin E., Volf Nina A.

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa st., tel. +7 (383) 346-25-65

Guskov Anatoly, e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru

Abstract

The proposed new type of the master belt made of a material of the projectile body to reduce wear of the bore arising from the use of traditional copper belt or steel belt of same shape.

Key words: master belt, copper, pressure, new type.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕГИСТРАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОЕПРИПАСОВ

*Крючкова Анастасия Александровна^{1,2}, Литус Игорь Борисович¹,
Смагин Константин Владимирович², Заводова Татьяна Евгеньевна²*

¹ ФКП «Нижнетагильский институт испытания металлов»,
622015, Свердловская обл., г. Нижний Тагил, ул. Гагарина, 29

² Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского
Федерального Университета, 622000, Россия, г. Нижний Тагил, ул.
Красногвардейская, 59

Крючкова А.А. e-mail: teont@yandex.ru, тел. (3435) 47-51-41

Смагин К.В. e-mail: smaginkv@mail.ru, тел. (3435) 42-09-18

Заводова Т.Е. tanushka-zavodova@yandex.ru, тел. (3435) 42-09-18

*Адрес для корреспонденции: Крючкова Анастасия Александровна, ФКП
«Нижнетагильский институт испытания металлов»,
622015, Свердловская обл., г. Нижний Тагил, ул. Гагарина, 29
тел.: (3435) 47-51-41, факс: (3435) 47-52-14*

Аннотация:

В настоящее время не существует универсальной методики определения и контроля внешнетраекторных параметров для широкого списка номенклатуры боеприпасов, которую можно было бы применять при испытаниях независимо от типа снаряжения и вида испытания изделий. Существующие же способы, накладывают существенные ограничения при проведении испытаний и не дают обширной картины функционирования отдельно взятого испытуемого изделия на начальном участке траектории.

Прорабатываемая методика позволит осуществлять контроль за быстропротекающими процессами без прямого вмешательства в процесс выстрела (отсутствие элементов блокировок), позволяет применять ее при испытаниях боеприпасов и средств реактивной артиллерии как в инертном, так и в боевом снаряжении.

Ключевые слова:

Скоростная видеосъемка, внешнетраекторные параметры, полигонные испытания, боеприпасы, обработка видеоизображения.

1. Введение

При проведении полигонных испытаний боеприпасов и средств реактивной артиллерии некоторые параметры функционирования изделия на траектории невозможно определить параллельно с основным видом испытания. Для проведения ряда измерений требуется проведение специальных стрельб в

специально оборудованных для этого щитовых обстановках. В ходе проведения серийных испытаний изделий стрельбой на величину технического рассеивания, прочность, безопасность и многие другие отслеживание правильности функционирования на траектории каждого испытуемого изделия практически не производится, что существенно осложняет проведения анализа неудовлетворительных результатов испытаний.

2. Теория и методики

Предлагаемый метод определения параметров полета боеприпасов от начального до конечного участков траектории позволит получить необходимые параметры по результатам обработки видеоматериала со скоростных видеокамер, регистрирующих быстропротекающие процессы при выстреле, с помощью лицензированного программного обеспечения «ТЕМА Motion».

В настоящее время не существует универсальной методики определения и контроля внешнетраекторных параметров для широкого списка номенклатуры боеприпасов, которую можно было бы применять при испытаниях независимо от типа снаряжения и вида испытания изделий. Существующие же способы, накладывают существенные ограничения при проведении испытаний и не дают обширной картины функционирования отдельно взятого испытуемого изделия на начальном участке траектории.

Предлагаемая методика позволит осуществлять контроль за быстропротекающими процессами без прямого вмешательства в процесс выстрела -отсутствие элементов блокировок, наличие фанерных или другого вида щитов. Это позволит применять ее при испытаниях боеприпасов и средств реактивной артиллерии как в инертном, так и в боевом снаряжении.

Определение всех необходимых параметров производится посредством обработки видеоизображения, полученного со скоростных видеокамер при регистрации быстропротекающих процессов. Обработка производится в среде программного обеспечения «ТЕМА Motion», как в интерактивном, так и в автоматическом режимах.

По результатам обработки составляются графики изменения исследуемых параметров (рисунке 1).

Параллельно со скоростной видеосъемкой производится сопровождение испытуемого изделия радиолокационными станциями типа «Луч».

Включение в систему единого времени радиолокационных станций и скоростных видеокамер позволяет получить более полную картину функционирования испытуемого изделия на начальном участке траектории с возможностью последующего прогнозирования его функционирования на траектории.

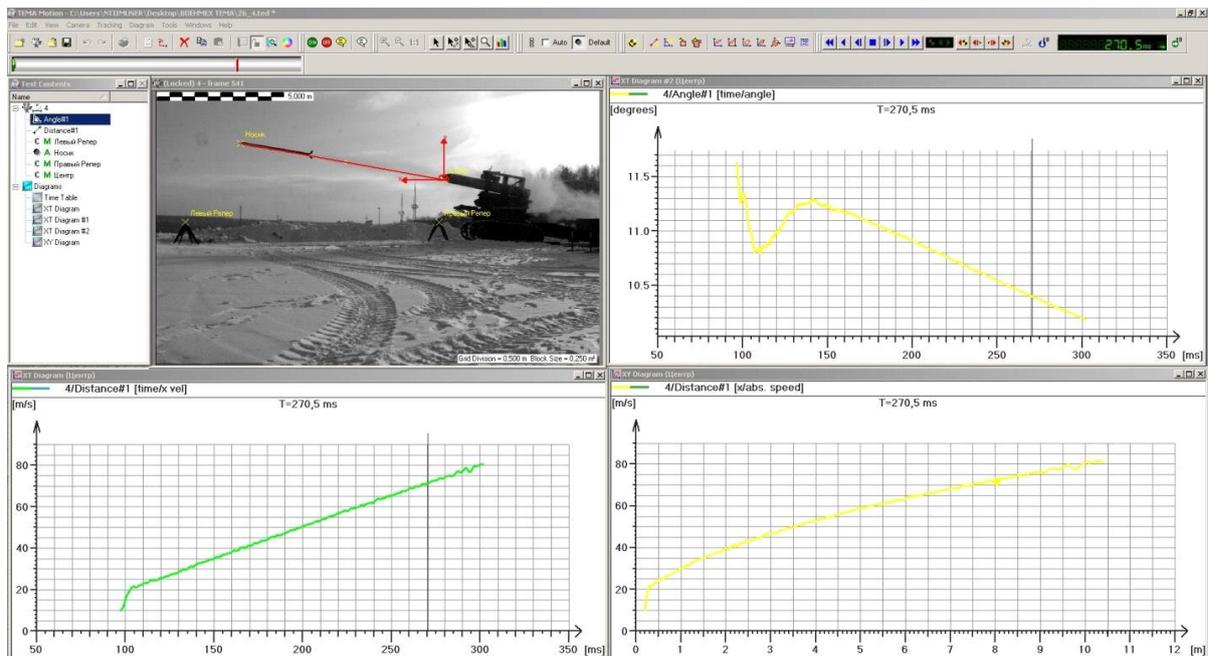


Рис. 1 – Определение параметров изделия на начальном участке траектории

Сводная таблица, полученная по результатам испытаний, приведена на рисунке 2.

№ опыта	Время задержки запуска, мс	Время выхода, мс	Угол выхода, град.	Время на 15 м, мс	Угол на 15 м, град.	Скорость на 15 м, м/с	Время окончания АУ, мс	Скорость в конце АУ, м/с	Дальность полета, м	Расстояние по боку, м	R _{радиальная} окончания АУ, м	X окончания АУ, м	У окончания АУ, м	Время выхода изделия, с
1	46,5	161,5	8,26	349,0	7,31	84,71	1 717	488,30	4 300	250	291,18	288,81	37,06	0,208
2	31,5	153,5	8,33	332,5	7,46	88,16	1 526	491,40	5 200	200	255,76	253,59	33,21	0,185
3	55,0	155,5	8,55	334,0	8,10	87,64	1 513	489,50	5 300	300	252,05	249,53	35,52	0,211
4	33,0	156,5	8,41	336,0	7,99	87,38	1 526	486,60	5 200	250	252,68	250,23	35,14	0,190
5	35,0	158,0	8,19	343,5	6,83	86,93	1 662	491,00	3 700	250	281,49	279,50	33,47	0,193
6	20,0	108,5	7,61	234,5	7,15	123,65	1 022	513,40	4 800	150	168,58	167,27	20,98	0,129
7	16,5	110,5	7,54	239,5	7,23	117,14	1 063	512,40	4 800	150	177,87	176,45	22,39	0,127
8	21,5	110,5	7,69	239,0	7,20	121,70	1 036	513,90	4 700	150	171,41	170,06	21,47	0,132
9	21,0	111,0	8,13	240,0	7,20	122,07	1 050	516,00	4 600	200	174,66	173,28	21,90	0,132
10	21,5	112,0	8,12	244,0	7,30	117,15	1 050	507,80	4 700	200	172,55	171,16	21,91	0,134

Рис. 2 – Сводная таблица результатов испытаний

Некоторые параметры функционирования испытуемого изделия на конечном участке траектории контролируются на приемной площадке, что позволяет сравнить прогнозируемый и опытные результаты для каждого отдельно взятого изделия.

Выводы

Рассмотрение в совокупности результатов обработки изображений скоростной видеосъемки и результатов регистрации параметров РЛС типа «Луч» позволяет производить анализ функционирования испытуемых изделий на траектории и прогнозировать их некоторые параметры на конечном участке траектории.

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ГЕНЕРАТОРОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВСКРЫТИЯ ПЛАСТА

*студент Непрухин Иван Валерьевич, аспирант Палий Алексей
Петрович, профессор кафедры ТТХВ, доктор технических наук Ганигин
Сергей Юрьевич*

Самарский государственный технический университет, 443100, Россия
г. Самара, Ул. Молодогвардейская, 244 8 (846) 278-43-11
neprukhin@yandex.ru

Аннотация. Целью данной работы является разработка стенда высокого давления, для моделирования работы твердотопливных генераторов давления, поскольку использование других методов для исследования является затруднительным. Представлено описание экспериментальной установки. Полученные данные сравнены с результатами компьютерного моделирования реального процесса.

Ключевые слова.

Моделирование, генератор давления, стенд высокого давления, прискважинная зона пласта, горение порохового заряда.

В процессе строительства и эксплуатации нефтегазодобывающих скважин происходит загрязнение прискважинной зоны пласта (ПЗП) компонентами буровых и тампонажных растворов, солевыми отложениями, асфальтосмолистыми веществами и другими твердыми частицами, вызывающее ухудшение фильтрационных свойств горных пород и снижение текущих дебитов скважин. Эффективным методом воздействия на прискважинную зону продуктивного пласта с целью очистки перфорационных каналов, создания новых и установления надежной гидродинамической связи скважины с пластом является разрыв пласта продуктами горения порохового заряда. Горение порохового заряда в скважине сопровождается выделением большого количества химически активных газов, резким повышением давления и температуры.

Пороховые заряды, применяемые для воздействия на ПЗП получили название твердотопливные генераторы давления (ТТГД).

Необходимость более полного использования ресурса нефтяных скважин привела к активному использованию ТТГД, следовательно, и к всестороннему исследованию их функционирования. Так же интерес представляет исследование термогазохимического воздействия на прискважинную зону коллектора. Такие исследования подразумевают изучение образца обработанного участка пласта (керн), очевидно, что активные испытания в функционирующих или отработавших скважинах невозможны, так как для

всестороннего исследования воздействия необходимо извлечение образца, что связано с большими затратами и прекращением работы скважины. Следовательно, единственным решением является использование стендовых условий, моделирующих скважину и продуктивный пласт.

Анализ существующих технологий и установок показывает, что они не могут быть использованы для моделирования воздействия продуктов горения пороховых генераторов давления на продуктивный пласт в скважинных условиях, так как не моделируют необходимые условия воздействия.

Цель данной работы – разработка системы моделирования работы пороховых генераторов давления. Она включает стенд высокого давления, имитирующий скважинные условия с возможностью использования керна и компьютерную модель для моделирования работы ПГД в реальных условиях.

В работе было произведено исследование существующих технических решений в построении стендов высокого давления, также произведен аналитический обзор существующих конструкций ТГГД.

На основе данных исследований был разработан стенд высокого давления для моделирования работы ТГГД.

Стенд представляет собой толстостенную трубу длиной 3.5 метра с отверстиями разных диаметров для установки датчиков и установки порохового заряда, также имеется воздушный ресивер для смягчения гидроудара и создания условий близких к скважинным. Все элементы соединены шлангами высоко давления, так же используется запорная арматура высокого давления. В нижней части стенда выполнено фланцевое соединение, которое обеспечивает доступ к полости стенда для установки крупногабаритных моделей генераторов давления и производства своевременной очистки стенда. Для контроля уровня давления в стенде используются водозаполненные манометры высокого давления. Регистрация давления осуществляется с использованием импульсного датчика давления и датчика статического давления. Сигнал с датчика давления усиливается усилителем сигнала и передается на систему сбора данных. Система сбора данных производит аналого-цифровое преобразование сигнала усилителя в цифровой код, который поступает в программу на компьютере.

Начальное давление создаётся с помощью насосной станции и может варьироваться в зависимости от необходимых условий. Так же имеется возможность установки съёмных картриджей, которые имитируют нефтенесущий пласт.

Методика проведения испытаний:

1. Пороховые шашки помещаются в полость макета-имитатора.
2. Макет-имитатор совмещается с системой инициирования.
3. Снаряженный макет-имитатор вместе с узлом инициирования вкручивается в отверстие в теле стенда.
4. Стенд заполняется водой и создаётся начальное давление с помощью прессовочной машинки.
5. При достижении необходимого давления, перекрывается вентиль

изолирующей систему.

6. Производится подрыв.

Проведено компьютерное моделирование протекания процесса горения пороховых зарядов в скважине с помощью программы ANSYS AUTODYN.

Результаты компьютерного моделирования представлены на рис.

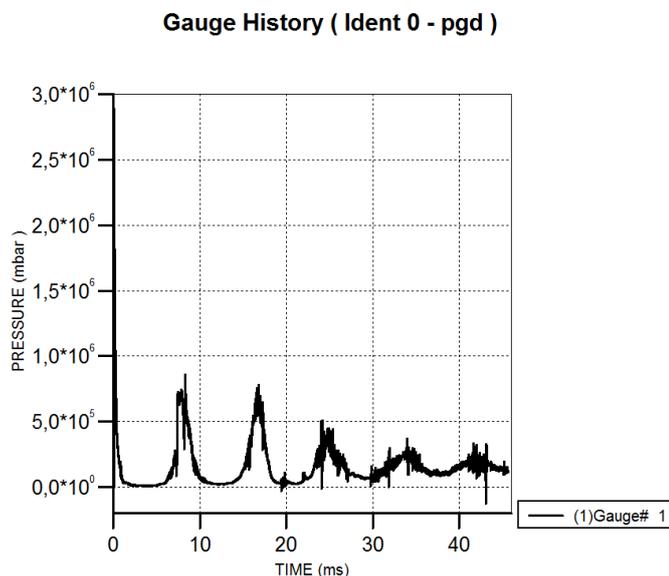


Рис. Зависимость нарастания давления от времени протекания реакции

В результате экспериментальных данных и компьютерного моделирования получены зависимости нарастания давления от времени протекания реакции. Установлено, что использование стенда позволяет моделировать работу ТТГД и их воздействие на ПЗП.

Библиографический список

1. В.В. Попов, Учебное пособие Прострелочно-взрывные работы в скважинах / В.В. Попов; М-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск. ЮРГТУ, 2006.

2. Гребенников В.Т Технологии воздействия на продуктивный пласт генераторами давления и горюче-окислительными жидкостями. Москва 2008 г.

3. Балдин А.В. Разработка комплексной технологии кумулятивной перфорации скважины и газодинамической обработки прискважинной зоны пласта. Уфа 2008 г.

4. Аркадий Боксерман, "Потенциал современных методов повышения нефтеотдачи пластов" "Нефтесервис" 2006 г.

5. Иванников В.И. "Фрактальность нефтегазовых пластов и добыча углеводородов" "Бурение и нефть" 2011 г.

6. Балдин А.В., Рябов С.С., Сухоруков Г.И. Оценка влияния на работоспособность зарядов генераторов давления условий в нефтяных скважинах и возможностей применения в генераторах давления утилизированных зарядов из баллистических ракетных твердых топлив // Нефтепромысловое дело. – 2005 г.-№ 9.

STAND FOR TESTING GENERATORS PRESSURE FOR GAS WELL DRILLING

Neprukhin Ivan Valerievich, student, Paliy Aleksey Petrovich, postgraduate student, Ganigin Sergey Jurievich, D. Sc.(Engineering), Professor

e-mail: neprukhin@yandex.ru

*Samara state technical University, 443100, Russia
Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 8 (846) 278-43-11*

Abstract. The aim of this work is the development of stand high pressure, modeling of solid propellant generators, pressure, since the use of other methods for research is difficult. The description of the experimental setup. The obtained data are compared with results of computer simulation of real process.

Key words.

Modeling, pressure generator, stand high pressure, near-wellbore reservoir zone, the combustion of the powder charge.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УДЛИНЕННОГО УДАРНИКА И МДФ-ПАНЕЛЕЙ

*Орлов Максим Юрьевич, старший научный сотрудник, Дарбионян
Роберт Хачатурович, Панин Владислав Олегович*

¹НИ Томский государственный университет, 634057, Россия, г. Томск, пр.
Ленина, 36, корп.10

Орлов М.Ю., e-mail: orloff_m@mail.ru

Дарбионян Р.Х., e-mail: robertsoon89@yandex.ru

Панин В.О. e-mail: robertsoon89@yandex.ru

*Адрес для корреспонденции: Орлов Максим Юрьевич, Национальный
исследовательский Томский государственный университет, 634057, Россия,
г. Томск, пр. Ленина, 36 корп.10*

Аннотация

Проведен экспресс-анализ процесса пробития МДФ панелей удлинённым ударником. Установлено, что процесс пробития был сквозным. Пластические деформации пули были минимальными.

Ключевые слова: удар, эксперимент, пробитие, разрушение, ударник, высокоскоростная съёмка

1. Введение

В настоящее время актуальным является изучение поведения природных, технологических и конструкционных материалов при ударном и взрывном нагружении. Это обусловлено многими практическими приложениями, в том числе разработкой ударостойких защитных конструкций и средств их поражения военного и гражданского назначения. Для достижения данного результата необходимо проведение комплексных теоретико-экспериментальных работ по динамическому нагружению упомянутых материалов.

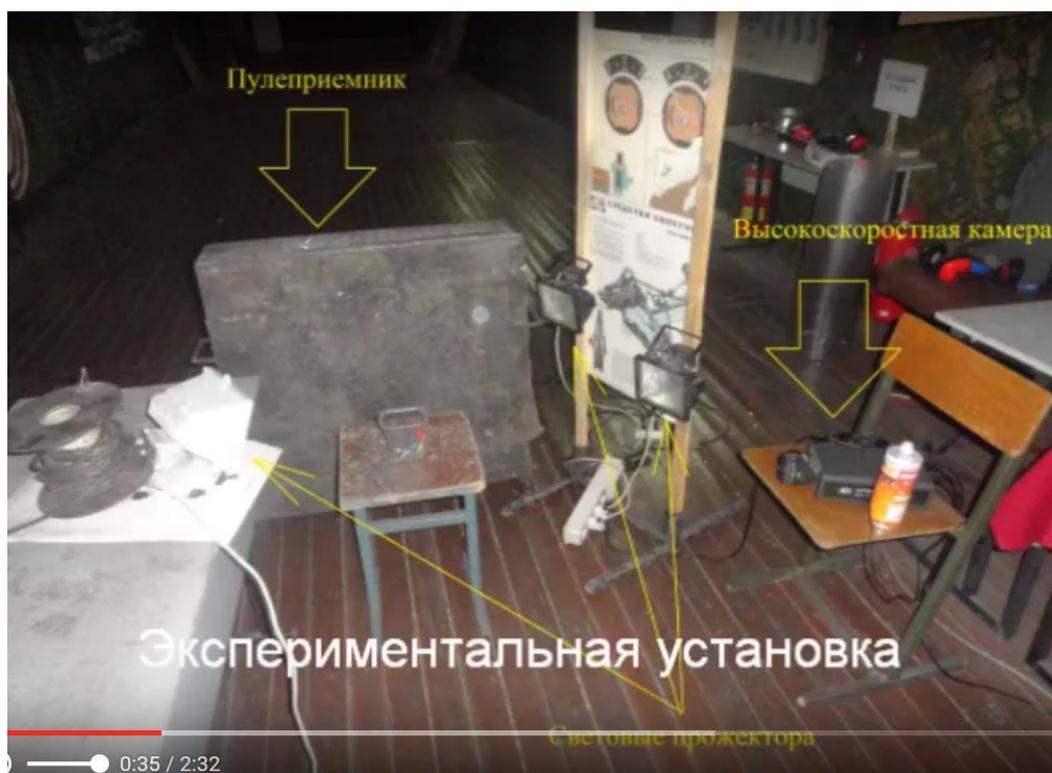
В НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета постоянно ведутся поисковые научные изыскания объектами исследования которых были комбинированные ударники и слоистые конструкции. Последние имитировали современные защитные конструкции наземного и морского базирования. Был 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.

В настоящей работе рассмотрено соударения удлиненных ударников с МДФ-панелями при начальной скорости ~ 320 м/с. Проведены экспериментальные исследования нормального соударения пули от ПМ с МДФ (Medium Density Fibreboard) панелями толщиной 1 см. Диаметр пули – 9 мм (Makarov FMJ). Количество лабораторных экспериментов – 5. Постановка эксперимента не менялась.

2. Лабораторный эксперимент пробития МДФ-преграды

Экспериментальные исследования проведены на базе стрелкового Тира Томского Отделения Ассоциации Пулевой стрельбы [2]. На рисунке 1. показана экспериментальная установка, состоящая из высокоскоростной камеры, заводского пуле приемника, подставки для установки преград и нескольких прожекторов. Экспериментальная установка является мобильной. Время сборки и настройки установки не более 1 часа. Расстояние до преграды не более 3 м. Процесс соударения осуществлен одиночным выстрелом из пистолета Макарова ПМ. Наилучшая визуализация зафиксирована при скорости 3000 кадров в секунду. В процессе выстрела видеоаппаратура закрывалась специальным защитным экраном для предотвращения повреждения.



*Рисунок 1 Экспериментальная установка перед выстрелом
(Скриншот с авторского видео)*

3. Результаты и обсуждение

На рисунке 2 показана высокоскоростная съемка процесса пробития преград. На данном кадре пулю не видно, однако заметны осколки преграды,

отколовшиеся с лицевой и тыльной стороны преграды. Оригинальное видео позволяет обнаружить пулю только один раз [3]. Визуально покадровое воспроизведение процесса взаимодействия выявило то, что количество осколков с лицевой стороны было несколько больше. В дальнейшем это будет связано с диаметрами входного и выходного пулевых отверстий. Процесс пробития является типичным для взаимодействия таких материалов и начальных скоростей.

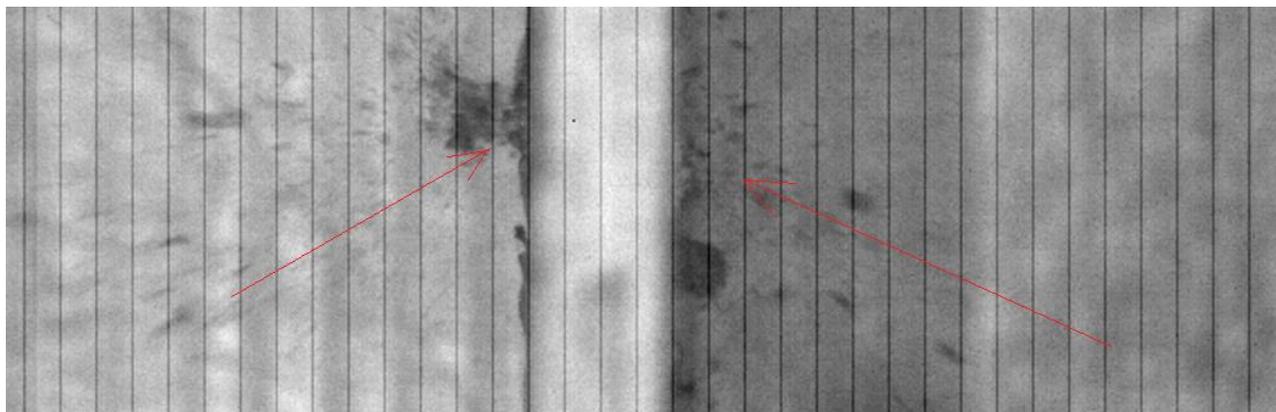


Рисунок 2 – Результаты высокоскоростной съемки (стрелками показаны обломки преграды после пробития)

На рисунке 3 показаны фотографии входного и выходного пулевых отверстий в МДФ-преграде. Процесс пробития был сквозным, однако на данном фото преграда лежит на столе, поэтому это трудно заметно. С лицевой стороны преграды кромка отверстия гладкая. С тыльной стороны преграды определить диаметр отверстия было проблематично. Кромка не развита, а состоит из отслоившихся кусков. Один из таких кусков отчетливо виден на рисунке 2. Это можно объяснить структурой МДФ панелей. Поэтому количество осколков с лицевой стороны преграды было несколько большим. Следует отметить, что ударник «туго сидел» в сквозном отверстии. Диаметр сквозного отверстия был 9 мм. Детальный осмотр пули подтвердил отсутствие заметных пластических деформаций.



Рисунок 3 – Фото входного и выходного пулевых отверстий

4. Выводы

Таким образом, проведенный эксперимент выявил факт именно сквозного пробития МДФ-панелей. После процесса пробития ударник не был поврежден (исключая несколько царапин в цилиндрической части). Диаметр сквозного отверстия в преграде практически совпадал с первоначальным диаметром пули. Запреградную скорость пули (ударника) в данном эксперименте рассчитать не удалось. Скорее всего, это объясняется световым режимом и недостаточной скоростью съемки.

Авторы благодарят к.ф.-м.н. Усанину А.С., н.с. Голубятникова В.В. и к.м.с по стрельбе Смакотина И.Л. за помощь в проведении экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Официальный сайт Международной Ассоциации практической Стрельбы в Томске [Электронный ресурс]: <http://strelok.tomsk.ru/>

3. Официальный канал мобильной лаборатории «Взрывное разрушение природных материалов» [Электронный ресурс] <https://www.youtube.com/watch?v=QlAjDY8htyA>

LABORATORY EXPERIMENT OF PENETRATING OF ELONGATED PROJECTILE AND MDF PANELS

Orlov M.Yu. National Research Tomsk State University
Darbionyan R., Panin O.

Abstract

Snap analysis of the penetration process of MDF panels with projectile was carried out. Plastic deformations of the bullet were minimal. A through hole was fixed in the barrier.

Keywords

Impact, experiment, penetration, destruction, projectile, high-speed vide

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УТИЛИЗИРУЕМЫХ ПОРОХОВ

студент Плохов Никита Алексеевич, аспирант Палий Алексей Петрович профессор кафедры ТТХВ, доктор технических наук Ганигин Сергей Юрьевич

*Самарский государственный технический университет,
Молодогвардейская ул., 244, Самара, Самарская обл., 443100
email: nikitosssina@yml.com*

Аннотация

В этой работе представлены исследования и размышления по методам флегматизации пороха Гранипор ФМ для возобновления его использования во взрывных работах, а также способы вторичного использования утилизированных порохов.

Ключевые слова: Промышленное взрывчатое вещество, порох, Гранипор ФМ, флегматизация, чувствительность к удару, методы снижения чувствительности пороха.

Гранипор ФМ - гранулированное водоустойчивое промышленное взрывчатое вещество 1 класса представляет собой смесь пироксилиновых зернённых порохов цилиндрической формы или смесь зернённых порохов и пороховых элементов измельчённой пороховой трубки обработанных жидким нефтепродуктом [1]. Гранипоры представляют собой смесь зерен пороховых элементов размером до 20 мм. Используется также дробленый трубчатый пироксилиновый порох, размеры зерен которого могут достигать 25 мм [2].

Как показывает обзор работ в сфере утилизации боеприпасов, сохраняется негативная тенденция их уничтожения без практического использования. Для обеспечения соответствия свойств и характеристик гранипоров геотехнологическим требованиям горного производства должно производиться совершенствование их рецептуры.

В настоящее время возникла проблема несоответствия параметров безопасности Гранипора ФМ требованиям, представленным в Техническом регламенте Таможенного союза "О безопасности взрывчатых веществ и изделий на их основе" (ТР ТС - 028 - 2012). В частности, в последнем указан нижний порог чувствительности к удару на уровне 100мм. С учетом этих требований наиболее распространенная рецептура Гранипора ФМ обработкой маслом не выдерживает испытания на чувствительность к удару.

В задачи исследования входило экспериментальное определение чувствительности к удару других рецептур указанных в [1] и определение возможных изменений в ТУ для обеспечения соответствия требованиям безопасности.

Для испытаний были подготовлены семь образцов пороховых элементов, обработанных следующими веществами:

1 – масло индустриальное (ИА-20), 2 – дизельное топливо, 3 – керосин, 4 – раствор камфоры в растительном масле, 5 – спиртовой раствор камфорного масла, 6 - смесь предельных углеводородов, 7- водная эмульсия анионных ПАВ и воска.

Первые три и шестой образец соответствуют стандартным рецептурам Гранипора ФМ из ТУ. Четвертый и пятый образец рассматривались как частные варианты использования энергонасыщенных веществ с ингибиторами горения в пороховых генераторах. Седьмой образец выбран, как аналог удачного способа снижения чувствительности пироксилинового пороха – вещество Пиротол [3].

Испытания проводили на копре К-44-II в соответствии с ГОСТ 4545-88 «Вещества взрывчатые. Методы определения характеристик чувствительности к удару». Методика испытаний предполагает предварительное измельчение исходного продукта. При этом очевидно, что если флегматизатор не впитывается пороховым элементом, то для работы по снижению чувствительности, пленка с его поверхности должна равномерно распределяться по частичкам, измельченного пироксилина. При этом флегматизатор должен снизить трение между частичками и заполнить межзеренное пространство при предварительном прессовании для предотвращения образования воздушных пузырьков, нагреваемых адиабатическим сжатием при ударе. Эти меры препятствуют формированию горячих точек при механическом воздействии.

В качестве меры оценки пластификации пороховых элементов использовалась величина предела прочности (рисунок 1).

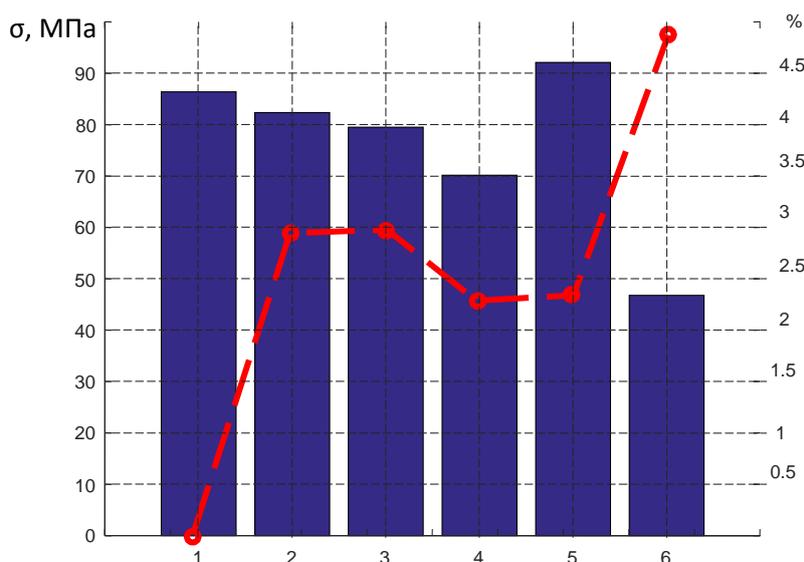


Рис. 1 Предел прочности пороховых элементов, обработанных выбранными пластификаторами

Испытания на прочность проводили сжатием пороховых элементов на автоматическом прессе.

При испытаниях на чувствительность установлено, что все выбранные образцы, кроме пороха, обработанного эмульсией ПАВ и воска имеют нижний предел меньше 100 мм. требуемый предел

Таким образом, можно указать следующие недостатки стандартных флегматизаторов: стандартные флегматизаторы, применяемые в Гранипоре ФМ, образуют на поверхности зерен тонкую пленку, предназначенную лишь для снижения трения и электризуемости пороховых элементов и не прилегают к структуре пороховых зерен; стандартные флегматизаторы имеют с пироксилином сильно отрицательный кислородный баланс; не позволяют снизить чувствительность к механическим воздействиям до требований ТР ТС, следовательно, не могут применяться в промышленности.

Несмотря на эти недостатки Гранипор ФМ является эффективным пром ВВ, а его безопасность обоснована более чем 20-ти летним опытом применения в горных работах без несчастных случаев. При этом просматривается противоречие, заключающееся в том, что в требованиях ТРТС методики оценки чувствительности бризантных ВВ применяются к веществам промышленным. Основным краеугольным моментом в этом противоречии является необходимость измельчения при подготовке образцов, в то время как, исходным продуктом являются крупные относительно пороховые элементы (рисунок 2). Образование фрагментов с характерными размерами менее одного миллиметра, как это требует ГОСТ 4545-88 крайне маловероятно в связи с высокой прочностью материала Гранипора ФМ. Максимальные нагрузки, которые может испытывать этот продукт возникают, например, при ликвидации отказов в скважинах при ведении горных работ. Для разрушения порохового зерна требуется приложение нагрузок превышающих предел прочности – не менее 90МПа. При этом требуется анализ возможности реализации таких условий.

Тем не менее, очевидно, что указанное противоречие препятствует дальнейшему применению Гранипора ФМ.

Для разрешения этого противоречия требуется комплекс мер в следующих направлениях:

1. Разработка и внедрения новых методик испытаний на чувствительность к механическим воздействиям, адекватных условиям применения продукта в горных работах.

2. Внедрение существующих или разработка новых рецептур, удовлетворяющих требованиям ТР ТС и обладающих достаточными показателями эффективности.

Одним из способов испытаний может быть предложено испытание на чувствительность целых пороховых элементов без измельчения. Учитывая противоречие, возникающее из-за отличия исходного продукта от испытываемого материала (измельченного), целесообразно использовать методики испытаний

самого продукта без измельчения, например, в насыпном виде. При этом потребуются большие ударные нагрузки, которые достигаются на больших копрах, например К-44-IV. Такая методика должна объединять в себе и испытания на трение.

По второму направлению целесообразно принятие к использованию составов с влагоудерживающими добавками,

БИБЛИГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Технические условия ТУ 36 1403062-01-95 на промышленное взрывчатое вещество гранипор ФМ.

2. Франтов А.Е. Научное обоснование применения конверсионных взрывчатых веществ для разрушения горных пород в геотехнологии: дис. канд./д-ра техн. наук ИПКОН РАН, Москва, 2017.

3. Патент RU 2485078 Способ утилизации взрывчатых материалов и устройство для его осуществления // Патент России № 2122745. 27.09.2012 Бюл. № 27 / Рекшинский В.А., Пыжов А.М., Шаталов П.А..

FEATURES OF USE OF RECYCLED POWDERS

*student Plokhov Nikita Alekseevich, graduate student Paliy Aleksey Petrovich,
professor of the department of TTKhV, doctor of technical sciences Ganigin Sergey
Yurievich*

*Samara state university, Molodogvardeyskaya Str. 244, Samara, Samara region,
443100*

email: nikitosssina@ymail.com

In this paper, studies and reflections on the methods of phlegmatization of Granipore FM powder for the resumption of its use in blasting operations, as well as methods for the secondary use of recycled propellants, are presented.

Key words: Industrial explosive, gunpowder, Granipore FM, phlegmatization, sensitivity to shock, methods of reducing the sensitivity of gunpowder.

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Логинов Евгений Сергеевич, курсант; Самойлов Леонид Александрович, доцент

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия,
г. Новосибирск, ул. Иванова, 49

Логинов Е.С., e-mail 38042@mail.ru

Самойлов А.Л., e-mail lenya.samoylov.1958@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Самойлов Леонид Александрович,
Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия,
г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, тел 83833325045

Аннотация: в статье рассматривается вопрос развития малой артиллерии. Анализируется история развития русских минометов, а также проводится сравнение русских минометов с зарубежными образцами. Рассматриваются образцы минометов последнего поколения и перспективы дальнейшего их развития

Ключевые слова: артиллерия; минометы; сравнение минометов; перспективы развития минометов; бесшумный миномет; анализ минометов.

Опыт боевого применения миномётного вооружения в локальных конфликтах конца XX — начала XXI в. показал, что миномёты, как класс вооружения, получили широкое распространение в годы Второй мировой войны. Именно тогда это вооружение стало одним из основных артиллерийских средств огневой поддержки пехотных подразделений. В современных условиях минометное вооружение также сохраняет свое значение за счет уникального сочетания высокой эффективности и низкой стоимости. [1]

В конце 1939 года был создан оригинальный тип миномета — 37-мм миномет-лопата, выполненный по схеме унитарного ствола. Миномет (рис.1) состоял из ствола, лопаты — опорной плиты и сошки с пробкой. Труба ствола соединена наглухо с казенником. В казенник запрессован боек, на который накладывался капсюль вышибного патрона мины.

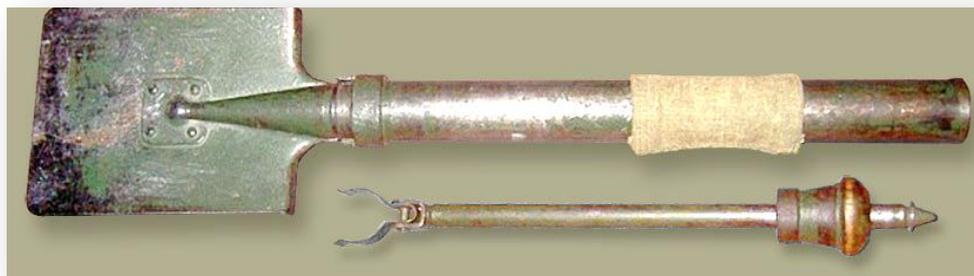


Рис.1 37-мм миномет-лопата

2Б14 «Поднос» —миномёт (рис.2) калибра 82 мм стреляющая теми же снарядами, что и 2Б9 «Василёк». Полигонные испытания миномёт 2Б14 прошёл в Афганистане. Был принят на вооружение в советской армии в 1983 году. Позже была создана его модификация 2Б14-1.



Рис.2 2Б14 Поднос

В 2011 году была принята на вооружение модернизированная версия 60-мм миномета М224 (рис.3) под названием М224А1.



Рис.3 60-мм миномет М224

Баллистический прицельный модуль SU-277/PSQ является прицелом для обеспечения точной стрельбы из 60-мм миномета, в состав которого интегрированы: голографический коллиматорный прицел, лазерный дальномер и баллистический вычислитель (рассчитанный под применение разных типов боеприпасов), также комплектуются системой углов места цели, что

дополнительно повышает процесс наведения.

Миномёт 2Б25 (рис.4) был представлен Россией на международной выставке вооружения и военной техники MILEX-2011 в Минске.



Рис.4 Миномет 2Б25

Главная особенность миномёта 2Б25— это максимальная скрытность боевого применения, которая достигается за счет конструкции выстрела. При выстреле пороховые газы запираются в хвостовике мины, поэтому не создается ни дыма, ни звука, ни пламени, ни ударной волны. Звук при выстреле слышен не больше, чем при стрельбе из автомата Калашникова с глушителем. [2].

Похожее есть во Франции, но их гранатомет уступает миномёту 2Б25 по дальности стрельбы и массе боевой части. Благодаря мобильности, бесшумности, беспламенности и бездымности он может использоваться внезапно для противника.

Для стрельбы из минометов применяются выстрелы с осколочно-фугасными, дымовыми, осветительными и зажигательными минами. По эффективности действия у цели минометные мины не уступают снарядам обычных артиллерийских орудий соответствующего калибра. Большие углы падения мины, небольшая скорость при встрече с преградой и высокая чувствительность взрывателя обеспечивают высокую эффективность осколочного действия. Высокая эффективность минометного огня, с одной стороны, а также простота устройства и дешевизна производства, с другой, обусловили достаточную насыщенность войск этим видом артиллерийского вооружения. [3].

Развитие минометов идет по пути увеличения дальности и меткости стрельбы за счет применения новых типов мин, прежде всего управляемых, а также сочетания минометов с современными системами разведки (включающими радиолокационные комплексы и беспилотные летательные аппараты) и системами управления, в интересах их применения как единого

комплекса ближнего действия. [4]

Таким образом, можно сделать вывод, что, несомненно, минометное вооружение будет активно продолжать свое развитие, как в ближайшем будущем, так и в долгосрочной перспективе и причинами этого являются то, что:

во-первых, у миномёта достаточно высокая точность и дальность стрельбы, обеспечивающая надёжное поражение живой силы, вооружения и небронированной техники противника в бою.

во-вторых, он даёт возможность относительно скрытого ведения огня.

в-третьих, высокая скорострельность — от десяти до двадцати выстрелов в минуту обеспечивает высокую плотность огня в критические минуты боя.

в-четвёртых, сравнительно малый вес оружия и боеприпасов повышает манёвренные возможности пехотных подразделений и снижает их зависимость от огня поддерживающей артиллерии, не всегда эффективного из-за затраты времени на прохождение команд и возможности поражения своих войск при уменьшении радиуса безопасного удаления.

Библиографический список:

1. Исмагилов Р. С. Артиллерия и минометы XX века. – М.: 2001. - 123с.
2. Широкоград А. История отечественных минометов, “Техника и вооружение”, №1-2/2000
3. Антоненчик Н.Н., Иньшин Ю.Ю., Купцов А.В., и др. Минометное вооружение. Учебное пособие. – Новосибирск: НВВКУ, 2016
4. Латухин А. Минометы ведут огонь. М.: Изд-во ДОСААФ, 1980

ANALIZ I PERSPEKTIVY RAZVITIYA MALOY ARTILLERII

Loginov Yevgeniy Sergeyevich, kursant; Samoylov Leonid Aleksandrovich, dotsent

Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk,
Ivanova str., 49

Abstract: v stat'ye rassmatrivayetsya vopros razvitiya maloy artillerii. Analiziruyetsya istoriya razvitiya russkikh minometov, a takzhe provoditsya sravneniye russkikh minometov s zarubezhnyimi obraztsami. Rassmatrivayutsya obraztsy minometov poslednego pokoleniya i perspektivy dal'neyshego ikh razvitiya.

Keywords: Artilleriya, minometry, sravneniye minometov, perspektivy razvitiya minometov, besshumnyy minomet, analiz minometov, malaya artilleriya.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
УДАРНИКОВ НА ОСНОВЕ ФТОРПОЛИМЕРОВ С ПРЕГРАДАМИ НА
ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ**

*Тюрин Ярослав Васильевич; Смагин Константин Владимирович;
Заводова Татьяна Евгеньевна;
д.т.н. Хмельников Евгений Александрович*

*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*

Тюрин Я.В., e-mail mr.trojan@mail.ru

Смагин К. В., e-mail smaginkv@gmail.com

Заводова Т. Е., e-mail tanushka-zavodova@yandex.ru

Хмельников Е. А., e-mail khmelnikov7@gmail.com

*Адрес для корреспонденции: Хмельников Евгений Александрович,
Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального
университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 622031, Россия,
г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (343) 542-09-18*

Аннотация

В статье представлен метод расчета кинематических характеристик проникания фторопластового ударника в алюминий содержащую преграду с учетом происходящей химической реакции между фторопластом и алюминием. Определение кинематических характеристик проводилось с помощью метода крупных частиц. Учет химической реакции проводился с помощью метода Counterflow Diffusion Flame. Приведены результаты расчетов. Найдены расчетные местные скорости смешанных ячеек, зависимости давлений в смешанной ячейке от времени для различных скоростей проникания.

Ключевые слова: фторопластовый ударник, алюминий содержащая преграда, метод крупных частиц, противоточное диффузионное пламя, расчет кинематических характеристик, расчет химического взаимодействия.

Перспективным направлением развития боеприпасов (БП) проникающего типа, особенно малого калибра, является использование в их конструкции «реакционных материалов» (РМ) вместо обычных взрывчатых веществ. Использование РМ позволяет решать широкий спектр задач – от увеличения могущества и эффективности действия поражающих элементов (ПЭ) до повышения их безопасности и надежности [1-2].

Целью представленной работы является подбор физико-математической модели, адекватно отражающей условия динамического взаимодействия

фторопластового ударника с преградами из алюминиевых сплавов.

Взрывоподобный процесс, возникающий при касании головной части ударника преграды, вызывает механическую термоокислительную деструкцию материала ударника с реализацией энергии по поверхности контакта с головной частью ударника (рис. 1).

С помощью ряда методов, реализованных в программных продуктах («Terminal Ballistic», «ТИМ-2D») было проведено решение задачи о расчете кинематических и динамических характеристик фторопластового ударника в упруго-пластической постановке.

Для сравнения с результатами расчетов был поставлен численный эксперимент с одинаковыми входными параметрами, соответствующими параметрам эксперимента. Расчеты проводились без учета дополнительной энергии, выделяющейся при химической экзотермической реакции. Для адекватного описания процесса упругопластического деформирования ударника и преграды были проверены модели Джонсона-Кука, Мизеса, Глушака Б.Л. [3] при различных уравнениях состояния материала – Забабахина, Ми-Грюнайзена. Для всех расчетов был выбран метод крупных частиц (МКЧ).

Появление сажи на поверхности преграды, а также наличие фторидов алюминия показывают, что в процессе проникания идет интенсивная окислительная реакция материала преграды.

При этом слои материала преграды и деформирующегося бойка движутся параллельно (рис. 1). Процессы параллельного окисления были рассмотрены на различного рода газовых смесях и сформированы в методе Counterflow Diffusion Flame (CDF), впервые предложенном Цудзи и Ямаока [4].

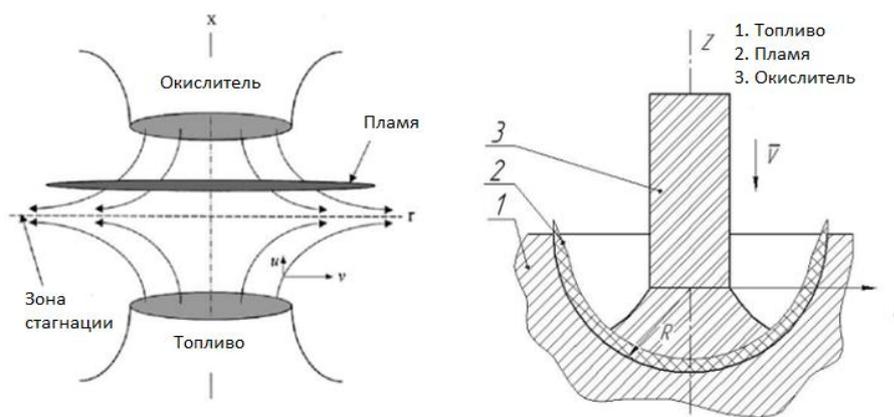


Рис. 1. Схема возникновения противоточного диффузионного пламени при проникании фторопластового ударника в алюминий содержащую преграду

Скорость потока окислителя (фторопласта) можно рассчитать, как радиальный компонент скорости срабатывающейся части снаряда (рис.2).

На границе раздела жесткой и пластической областей ударника осевая компонента скорости частиц деформированного материала будет равна скорости жесткой части ударника. Определяя из решения задачи пластического деформирования фторопластового ударника при его

взаимодействии с преградой величины радиальной и осевой компонент скорости, находим скорость движения окислителя вдоль образующей каверны и величину давления на границе контакта снаряда с преградой.

С учетом того, что скорость потока окислителя (фторопласта), должна быть больше скорости потока топлива (алюминия), решение, представленное Цудзи и Ямаоко для вывода скорости реакции и оценки тепловыделения протекающего химического процесса модели противоточного диффузионного пламени, может быть применено для случая взаимодействия фторопластового бойка с алюминиевой преградой.

Для получения скорости химической реакции необходимы измерения только состава и температуры. Необходимые параметры температуры мы получаем при решении задачи упруго-пластического деформирования ударника в каждой ячейке расчетной сетки.

Для учета влияния химической энергии на процесс проникания в метод крупных частиц введен блок расчета тепловыделения по модели CDF.

Важным этапом, на котором возникает химическая реакция, является создание смешанной ячейки, в которой появляются продукты реакции в виде фторида алюминия. Возникновению этой реакции способствует давление, возникающее на поверхности контакта.

Проведенный расчет позволил оценить величину возникающих давлений (рис. 2). Анализ показывает, что максимальные давления значительно превышают величину предельных давлений, при которых возбуждается химическая реакция (200 МПа) [5].

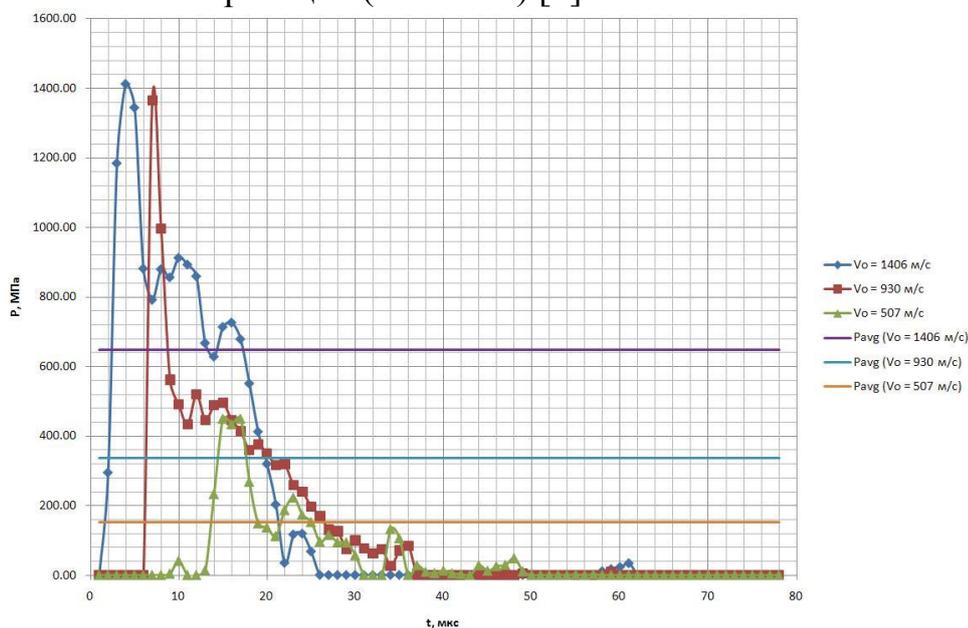


Рисунок 2. Давления, возникающие на границе контакта в смешанных ячейках, МПа

Для определения скорости химической реакции был проведен анализ радиальных скоростей течения фторопласта (рис. 3).

Применение метода МКЧ-CDF позволяет получить результаты, которые качественно и количественно совпадают с результатами эксперимента.

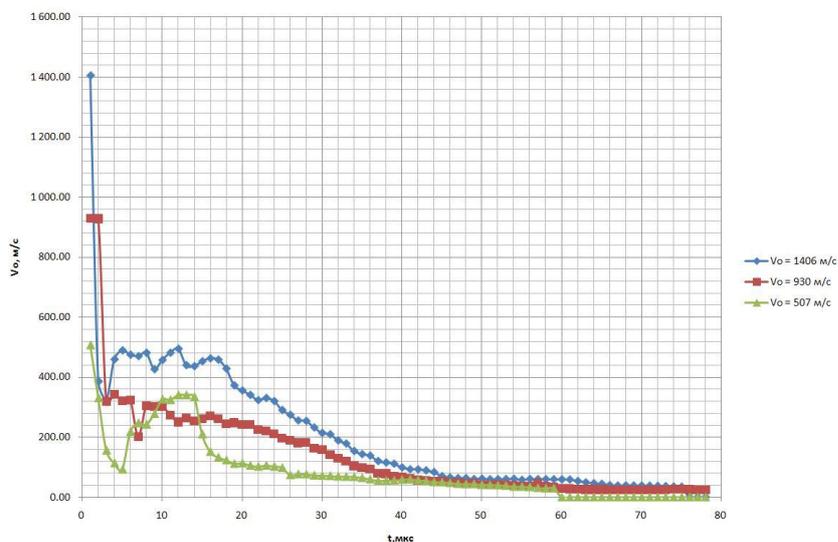


Рисунок 3. Радиальные скорости течения фторопласта в смешанной ячейке, м/с

Выводы:

1. Исследование деформаций фторопласт-содержащего ударника на алюминиевой преграде, в сочетании с процессами параллельного окисления контактных слоев, позволило создать комбинированный метод расчета, описывающий процессы взаимодействия (МКЧ-CDF).

2. Предложенная методика позволяет оценить результаты взаимодействия ПТФЭ с алюминием содержащей преградой в широком диапазоне скоростей с высокой степенью точности (относительная погрешность не превышает 10%).

3. Полученные результаты делают возможным применение данного метода для других взаимодействующих пар, таких как алюминий-титан.

4. Анализ результатов показывает, что при данных условиях взаимодействия, химическая энергия не используется в полной мере. Увеличение количества полезно используемой химической энергии возможно при использовании смеси, полученной путем механического перемешивания наночастиц фторопласта и алюминия, в качестве материала ударника. Ударник может быть получен путем обжатия механоактивированной смеси.

Библиографический список:

1. Khmelnikov, E.A.; Styrov, A.V.; Smagin, K.V.; Rudenko, V.L. etc.; 27th International Symposium on Ballistics, Vol.2, 2013, 1264.
2. Khmelnikov, E.A.; Derebenko, A.V. etc; New Models and Hydrocodes for Shock Wave Processes in Condensed Matter, Lisbon, Portugal, 2008, 103.

3. 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

4. Hiroshi Tsuji, Counterflow diffusions flames. 1982. Institute of Interdisciplinary Research, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Komaba, Merguro-Ku, Tokyo 153, Japan

5. Стыров А.В., Селиванов В.В., Осипов А.И., Хмельников Е.А. Исследование процесса взаимодействия алюминия с фторопластом в условиях высокоскоростного соударения // Тез. докл. XIII Всесоюз. семинара Электрофизика горения.- Чебоксары, 1990

NUMERICAL MODELING OF HIGH-SPEED INTERACTION PROCESSES BETWEEN STRIKERS BASED ON FLUOROPOLYMER AND ALUMINUM-BASED TARGETS

Turin Yaroslav Vasilievich, student,

e-mail mr.trojan@mail.ru

Smagin Konstantin Vladimirovich, Ph.D. student, Assistant,

e-mail smaginkv@gmail.com

Zavodova Tatiana Evgenievna, Ph.D. student, Head of Laboratory,

e-mail tanushka-zavodova@yandex.ru

Khmelnikov Evgeny Aleksandrovich, D.Sc. (Engineering), Corresponding Member, Russian Academy of Sciences, Professor, Head of department,

e-mail khmelnikov7@gmail.com

Nizhny Tagil Technology Institute (branch) Ural Federal University, Krasnogvardeyskaya st., 59, Nizhny Tagil, 622000, Russian Federation.

Abstract:

The paper presents a method for calculating the kinematic characteristics penetration of PTFE projectile into the aluminum target considering the chemical reaction between PTFE and aluminum. Accounting of kinematic characteristics was conducted by the method of large particles. Accounting of the chemical reaction was carried out by the method of Counterflow Diffusion Flame. The results of the calculations are given. Qualitative and quantitative agreement results of the calculation fit with the experimental data.

Key words: PTFE striker, aluminum-based target, method of large particles, counterflow diffusion flame, calculation of chemical interaction, calculation of kinetic energy.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ
ТРАЕКТОРНОГО ПОДРЫВА БОЕПРИПАСА С ПОМОЩЬЮ
ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВИДЕОКАМЕР**

***Федоров Денис Сергеевич; Смагин Константин Владимирович;
Заводова Татьяна Евгеньевна; Литус Игорь Борисович;
д.т.н. Хмельников Евгений Александрович***

*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*

Федоров Д. С., e-mail fedorov.denis.1995@yandex.ru

Смагин К. В., e-mail smaginkv@gmail.com

Заводова Т. Е., e-mail tanushka-zavodova@yandex.ru

Хмельников Е. А., e-mail khmelnikov7@gmail.com

*Адрес для корреспонденции: Хмельников Евгений Александрович,
Нижнетагильский технологический институт, филиал Уральского федерального
университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, 622031, Россия,
г. Нижний Тагил, ул. Красногвардейская, 59, тел. (343) 542-09-18*

Аннотация

В данной статье рассматривается методика определения координат подрыва боеприпаса и определения различных параметров осколочного действия. Проводится сравнение классической методика определения координат подрыва и проводится ее сравнение с предлагаемой методикой. Целью представленной работы является модернизация одной из методик для повышения точности, скорости и эффективности измерений. Описан метод получения данных с помощью скоростных видеокамер и дальнейшей их обработки в программном продукте «ТЕМА Motion».

Ключевые слова: скоростная видеосъемка; определение параметров подрыва; координаты подрыва боеприпаса; схема испытаний; реперные метки; ТЕМА Motion.

Вооруженные конфликты последних десятилетий чаще всего сводятся к локальным столкновениям вокруг или внутри населенных пунктов. Применение высокоточного оружия позволяет избежать огромных потерь среди мирного населения, разрушения инфраструктуры и материальных ценностей, нарушения экологии.

При разработке изделий различных калибров все чаще встречаются конструкции с дистанционным подрывом в заданной точке.

В связи с высокой стоимостью испытуемых изделий, повышением

сложности конструкции боеприпаса и его комплектующих необходимость получения максимального объема информации, при минимальных погрешностях измерений, с одного выстрела возрастает. Для этого требуется модернизация измерительного состава полигона, с созданием нового измерительного комплекса, который даст возможность получать максимальное количество информации.

Целью представленной работы является модернизация одной из методик для повышения и точности и эффективности измерений.

Классическая методика определения координат дистанционного подрыва в мишенной обстановке включает в себя наличие фоновых щитов, либо громоздких вех, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 - Фоновый щит с разметкой.

Дистанционный подрыв на траектории фиксируется на скоростную кинокамеру. Отснятая киноплёнка проявляется и делается раскадровка.

Недостатки классической методики: Большая продолжительность выполняемых работ; необходимость строительства фоновых щитов около заданной мишенной обстановки; низкая точность результатов.

Заменить устаревшую методику определенную ОСТом на испытания можно с помощью разрабатываемой методики определения координат срабатывания боеприпаса с дистанционным подрывом на траектории с помощью визуализации процесса с применением высокоскоростных видеокамер СВК-1 и специального программного обеспечения.

Предлагаемая методика позволяет определять следующие параметры: Высота подрыва; расстояние от точки срабатывания боеприпаса до цели; отклонение боеприпаса от линии прицеливания; скорость подлёта боеприпаса к цели; угол подлёта боеприпаса к цели; угол конуса осколочного поля; ширина зоны поражения; глубина зоны поражения.

Концептуальная схема организации мишенной обстановки на местности с установленным измерительным комплексом приведена на рисунке 2.

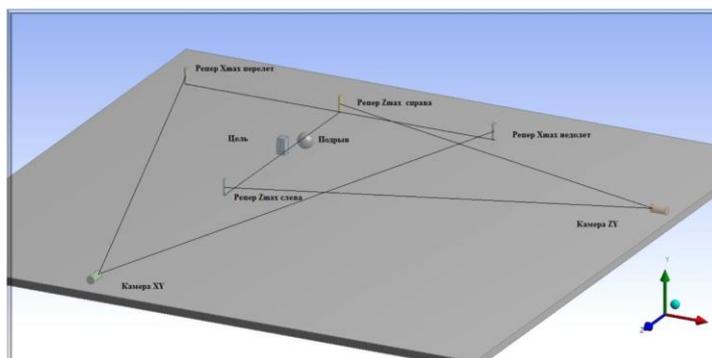


Рисунок 2 – Схема организации мишенной обстановки на местности.

Для проведения измерений необходимо создать ортогональную систему координат с началом в центре цели. Для этого выставляются парные реперы параллельно и перпендикулярно линии прицеливания (стрельбы), а камеры устанавливаются перпендикулярно соответствующей реперной линии. Важно точно замерить расстояния между реперами после установки, это позволит использовать их как показатель масштаба при анализе. Для определения высоты, дальности и бокового отклонения устанавливаем две скоростные видеокамеры Phantom (рисунок 2).

Фактически, камеру, определяющую высоту и отклонение подрыва, (камера ZY), устанавливаем не на линии стрельбы, а с некоторым смещением в сторону, для обеспечения сохранности оборудования, в таком случае проводим пересчет с учетом не ортогональности. После установки всех элементов схемы необходимо произвести замеры расстояний и углов от СВК до реперных меток и цели. Для проверки точности измерений на огневой позиции устанавливается радио-локационная станция (РЛС) «Луч».

По согласованию с мастером поля и другими участниками испытаний производится выстрел и его видео фиксация по предлагаемой схеме. Данные сохраняются на жесткий диск переносного компьютера. Далее данные обрабатываются в программном продукте «ТЕМА Motion».

Программный продукт «ТЕМА Motion» является мировым лидером в области расширенного анализа движения, применяется для отслеживания объектов и анализа движения. После того, как был зафиксирован подрыв изделия, выполняется графический расчет, и определяются его координаты. Производятся вычисления отклонений и корректировка на основании пересчета системы координат, после чего результаты предоставляются в виде таблиц и графиков.

Ввиду необходимости учета отклонения снаряда от реперной линии устанавливается вторая скоростная камера. Для достижения точности расчетов ее система координат привязывается к координатам первой камеры. Для этого составляется модель местности проведения испытаний с указанием расположения камер, реперной линии с метками и точками подрыва снаряда.

Преимущества предлагаемой методики:

- Применение СВК-1. Поскольку условия срабатывания изделий бывают разные, не редкие случаи засветки кадров, а применение цифрового комплекса СВК-1 позволяет избежать этого.

- Не требуется проявка пленки. Видеофайл с высоким разрешением сразу сохраняется на ПК в требуемом файловом формате.

- Высокая производительность проведения измерений.

- Высокая точность измерений. Машинный метод обработки исключает ошибки, связанные человеческим фактором.

- Мобильность комплекса.

- Низкая погрешность измерений относительно классической методики. Погрешность измерений комплексом СВК-1 определяется автоматически в программном обеспечении «ТЕМА Motion», величиной размытости контура изделия.

Основным недостатком методики по определению координат срабатывания боеприпаса с дистанционным подрывом на траектории является стоимость комплекса. Затраты на модернизацию измерительной аппаратуры составляют около 2,3 млн. рублей, однако они носят единоразовый характер и быстро окупаются.

DEVELOPMENT OF THE METHOD FOR DEFINITION OF COORDINATES OF THE TRAJECTORY EXPLOSION OF AN AMMUNITION WITH HIGH-SPEED VIDEO CAMERAS

Fedorov Denis Sergeevich, student,
e-mail fedorov.denis.1995@yandex.ru

Smagin Konstantin Vladimirovich, Ph.D. student, Assistant,
e-mail smaginkv@gmail.com

Zavodova Tatiana Evgenievna, Ph.D. student, Head of Laboratory,
e-mail tanushka-zavodova@yandex.ru

Khmelnikov Evgeny Aleksandrovich, D.Sc. (Engineering), Corresponding Member, Russian Academy of Sciences, Professor, Head of department,
e-mail khmelnikov7@gmail.com

Nizhny Tagil Technology Institute (branch) Ural Federal University,
Krasnogvardeyskaya st., 59, Nizhny Tagil, 622000, Russian Federation.

Abstract:

The paper reports on a technique for determining the coordinates of an ammunition detonation and the various parameters of the fragmentation effect (the speed of the fragments, the width and depth of the affected zone, etc.). The classical method for determining the coordinates of the detonation is considered and its shortcomings are revealed, and the advantages of the proposed methodology are also described. The aim of the presented work is the modernization of one of the techniques for increasing the measurements accuracy such as speed and efficiency. The method of obtaining data using high-speed video cameras and their further processing in the software product «TEMA Motion» is described. The conceptual scheme of testing and the equipment used are described.

Key words: High-speed video recording; Definition of detonation parameters; Coordinates of the munition explosion; The test circuit; Reference marks; TEMA Motion.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ТАНКА Т-90А С ЦЕЛЬЮ ВЫРАБОТКИ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ЕЁ ПОВЫШЕНИЮ

Шадрин Иван Дмитриевич, учащийся; Рожков Леонид Фёдорович

Аэрокосмический лицей имени Ю.В. Кондратюка, 630015, Россия,
г.Новосибирск, ул. Индустриальная, 4а, тел. (383)279-21-23

ШадринИ. Д., email ivan.shadrin12@gmail.com

*Адрес для корреспонденции: Шадрин Иван Дмитриевич, Аэрокосмический
лицей имени Ю.В. Кондратюка, 630015, Россия, г. Новосибирск,
ул.Индустриальная, 4а, тел. (383)279-21-23*

Аннотация

Целью данной работы было изучение возможностей по усовершенствованию танков Т-90А. Для реализации данной цели в работе требовалось: изучить и проанализировать значимость танковых войск, рассмотреть тактико-технические характеристики Т-90А, выявить его превосходства и недостатки, уязвимость от противотанковых средств, представить предложения, целью которых, является повышение живучести танка Т-90А.

Для выполнения практической части данной работы были проанализированы основные проблемы танков в настоящее время и последние операции с их применением.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших попыток модернизации данной модели танка в плане живучести.

Ключевые слова

Танк; Т-90А; живучесть танка; модернизация; противотанковые ракетные комплексы; противотанковые управляемые ракеты; ложные тепловые цели.

1. Введение

Чтобы преодолеть позиционный тупик и обеспечить прорыв глубоко эшелонированной траншейной обороны противника в условиях противодействия его артиллерийского и ружейно-пулемётного огня, нужно было новое боевое средство. Сочетание трёх важнейших боевых свойств – огневой мощи, броневой защиты и подвижности – нашло своё воплощение в принципиально новом средстве ведения войны – боевой машине названной танком.

В наше время, несмотря на очень высокий уровень развития противотанковых средств, танки до сих пор остаются, и будут являться, мощным и грозным наступательным оружием сухопутных войск, а танковые войска по праву считаться главной ударной силой сухопутных войск.

На вооружении всех без исключения стран мира состоят боевые машины, спроектированные в предыдущем XX веке. Все они, в основном, относятся к танкам третьего послевоенного поколения. Танки неоднократно модернизировались, в том числе и кардинально, то есть с существенным изменением их основных боевых свойств — вооружения, защищённости и подвижности. Этот процесс продолжается до сих пор.

2. Теория

Предлагаемые пути повышения живучести танка

Танки способны выполнять достаточно широкий круг боевых задач, однако основными областями их применения являются непосредственная поддержка пехоты, уничтожение бронированных средств противника и полевых сооружений, а также развитие прорывов. Однако, несмотря на высокую универсальность танка и его высокие боевые возможности, танк не может выполнить любую задачу. Например, при сражениях в стеснённых условиях танк может действовать исключительно при плотной поддержке мотострелковых войск.

Целью данной работы является внесение предложений по увеличению живучести танка на поле боя. Под живучестью понимается свойство образца вооружения сохранять боеспособность, то есть способность выполнять боевую задачу. Самый наилучший исход, когда поражающий фактор будет заблаговременно уничтожен, то есть до того как он сможет сделать попытку нанесения повреждений танку. Или же избежать поражения танка вовсе.

Уменьшение уязвимости танка с воздуха

Для непосредственной защиты танков от угрозы с воздуха, на большинстве танков всех армий мира используется зенитно-пулемётная установка (ЗПУ). Она размещается на крыше башни, на подвижной турели. Но, с развитием авиации ЗПУ потеряла свою эффективность в качестве средства для борьбы с авиацией, поскольку радиус поражения и огневая мощь даже крупнокалиберного пулемёта недостаточны для поражения современных самолётов и вертолётов, так как пуск ПТУР осуществляется с расстояния от 8 километров.

Полагаю, что вооружение, хотя бы каждого третьего танка зенитно-ракетным комплексом (ЗРК) возможно, при замене крупнокалиберного пулемёта на него. Это добавляет танку автономности, а в условиях, когда танки идут без поддержки войск противовоздушной обороны (ПВО), это позволяет им не быть просто мишенями для самолётов и вертолётов. Данный модуль будет оказывать непосредственную поддержку танков против авиации в бою. В армии РФ для вооружения вертолётов и наземной техники используется пусковой модуль «Стрелец» с ракетами «Игла-В». Ракеты могут поражать цели на расстоянии 5 – 6 км. Стоит пересмотреть систему управления огнём и способ установки на базе пулемёта «Корд», которая гарантирует достаточное количество степеней свободы. Управление над установкой, может взять на себя

командир танка. Ракет может быть от двух до четырёх. Расчётная схема представлена в Таблице 1.

Таблица 1

<i>Параметры сравнения</i>	<i>Пулемёт 6П49 /6П51 «Корд»</i>	<i>Пусковой модуль «Стрелец»</i>
Масса, кг, не более	30	72
Габариты длина x ширина x высота, мм	1625 x 135 x 215	1700 x 160 x 250
Дальность поражаемых целей, м	До 1500	5000 - 6000
Темп стрельбы, выстрелов/мин	600	2
Боезапас в снаряжённом состоянии пуль / ракет	150	2 / 4
Тип стрельбы	Очередями	Одиночный пуск

Уменьшение уязвимости танка от обычных средств поражения

Повышение защищённости танка от обычных средств поражения, таких как ПТРК FMG-148 «Джавелин», тоже важный вопрос. Такие комплексы более устойчивы к помехам, и если комплекс оптико-электронного подавления (КОЭП) «Штора-1/1М» в силах справляться с угрозами, когда ракета управляется оператором, или по лазерному наведению, то противостоять самонаводящимся ракетам с тепловым наведением она уже не в силах.

Поэтому, как вариант для решения данной проблемы, можно было бы добавить установку для отстрела ложных тепловых целей (ЛТЦ). Они бы являлись пассивными помехами, и если бы «срыв» ракеты не происходил, то, как минимум, эти бы помехи, сбивали её с курса из-за более мощного источника теплового излучения. Также, отстрел ЛТЦ возможен непосредственно из постановщика дымовых завес: установки 902В «Туча», только следует пересмотреть его конструкцию. Можно расположить установки и на решётке моторно-трансмиссионного отделения, так как двигатель – постоянный источник теплового излучения, поэтому, чаще всего, именно на него наводится ракета. Сам отстрел стоит автоматизировать. КОЭП «Штора-1/1М» при обнаружении ракеты определяла бы их направление и вела отстрел ложных тепловых целей в сторону летящей ракеты, тем самым сбивая ракету с курса.

3. Результаты и обсуждение

Оценка уменьшения уязвимости танка с воздуха

Положительные стороны установки модуля

1. Повышение живучести и автономности одного танка или танкового взвода.
2. Расширение спектра решаемых боевых задач.
3. Снижение затрат на войска ПВО идущие вместе с танками.
4. Укрепляет уверенность экипажа в защищённости от воздушного противника.

Отрицательные стороны установки модуля

1. Включение модуля;
2. Сложность использование модуля в городских условиях;
3. Малый боезапас;
4. Демаскирует танк;

Оценка уменьшения уязвимости танка от обычных средств поражения

Положительная сторона

Эта модификация могла бы позволить противостоять противотанковым комплексам третьего поколения.

Отрицательная сторона

Как один из явных минусов, стоит отметить ограниченность применения в закрытых пространствах, к примеру, в городах.

4. Выводы

По результатам работы был выполнен SWOT – анализ (таблица 2).

Таблица 2

<i>Сильные стороны танка Т-90А</i>	<i>Слабые стороны танка Т-90А</i>
<ul style="list-style-type: none">• Высокая огневая мощь.• Высокие проходимость и манёвренность.• Относительно небольшая масса и габариты.• Сильная броня.• Высокая надёжность всех составных и узлов танка.	<ul style="list-style-type: none">• Плотная компоновка.• Высокий риск детонации боекомплекта.• Низкая эргономичность танка.• Трудоёмкость замены двигателя.
<i>Возможности модернизации</i>	<i>Риски связанные с модернизацией</i>
<ul style="list-style-type: none">• Замена ЗПУ на пусковой модуль.• Дооборудование танка модулем отстрела ЛТЦ.	<ul style="list-style-type: none">• Снижение скрытности танка.• Увеличение затрат на техническое обслуживание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.anaga.ru/t-90a.html> - основные ТТХ танка Т-90А;
2. http://militaryarms.ru/voennaya-texnika/tanki/tank-t-90/#h2_4 – описание танка Т-90 и его модификаций;
3. <http://army-news.ru/2011/09/zashhita-proekcij-tank-a-ot-rpg/> - защищённость танка от разных противотанковых средств;
4. «Все современные танки» / Барятинский М. – М.: Эксмо: Яуза, 2013.
5. «Противотанковое вооружение» / Латухин А. – М.: Воениздат, 1974.
6. «Боевая техника» / Князьков В. – М.: ДОСААФ, 1986.
7. «Инженерное обеспечение марша и встречного боя мотострелкового (танкового) батальона» / Белоконь А., Калайда В. – М.: Воениздат, 1975.
8. http://samoblood.ru/wp-content/uploads/2014/10/shemi-tank-a-t-90_552.gif - чертёж танка Т-90 (все три вида).
9. «Т-90. Первый серийный российский серийный танк» / Суворов С. – М., «Восточный горизонт», 2002.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МОГУЩЕСТВА УНИТАРНЫХ ПАТРОНОВ

Вандакуров А.Н.¹, Гуськов А.В.^{2}, Кислин М.А.¹, Милевский К.Е.²,
Шальнев В.А.².*

¹АО «Новосибирский механический завод «Искра»

Российская Федерация, 630900, г. Новосибирск, ул. Чекалина, 8

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет»

Российская Федерация, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

*conf_npo@craft.nstu.ru

В данной работе представлены материалы по повышению начальной скорости пули, уменьшению времени срабатывания капсюля-воспламенителя и повышения его надежности.

Ключевые слова: разделенный пороховой заряд, капсюль-воспламенитель, скорость.

В представленной статье идет речь о повышении могущества патронов для стрелкового оружия. Направления совершенствования можно разделить на несколько направлений:

- 1). Повышение начальной скорости пули;
- 2). Повышение безотказности срабатывания капсюля-воспламенителя;
- 3). Уменьшение времени срабатывания капсюля-воспламенителя.

С момента изобретения унитарного патрона в стрелковом оружии появилось великое многообразие боеприпасов для различного оружия и предназначенных для широкого круга задач. В 1861 году француз Потте изобрел первый унитарный патрон центрального воспламенения.

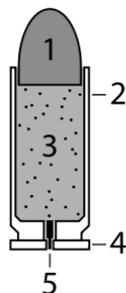


Рис. 1. Патрон для нарезного оружия. 1 - пуля, 3 - заряд пороха, 4 - закраина (фланец), 5 - капсюль-воспламенитель, 2 - гильза (соединяет все элементы в патрон).

1. Повышение начальной скорости пули.

Рост начальной скорости пули сопровождается увеличением дальности прямого выстрела, облегчающим использование оружия вследствие возможности осуществления прямого выстрела на большую дистанцию. Вместе с этим, увеличивается скорость и кинетическая энергия пули у цели, следовательно, улучшается ее убойное и пробивное действие.

Повышение скорости полета пули можно достичь, не прибегая к повышению полной массы метательного заряда. Для этого в патроне размещается, в гильзе, диафрагма с отверстием, разделяющая пороховой метательный заряд на две части. Рис. 2. При этом диафрагма с отверстием должна быть размещена внутри гильзы с натягом в 0,05-0,2 мм больше внутреннего диаметра гильзы для обеспечения фиксации мембраны и более тщательного разделения порохового заряда на части. Разделение порохового заряда, при одной и той же массе навески, позволяет повысить скорость пули и даже уменьшить максимальное давление в канале ствола, что только повысит ресурс оружейного ствола.

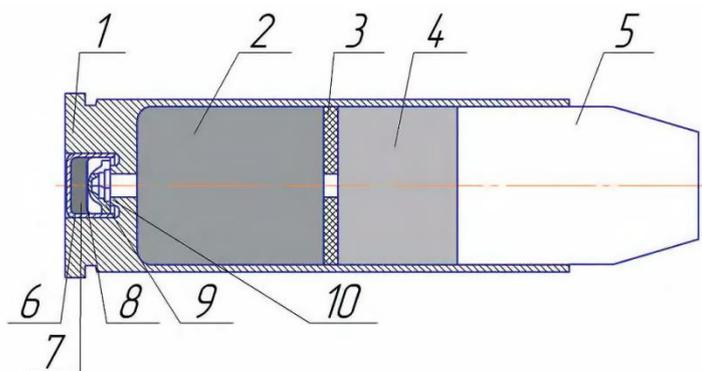


Рис. 2 Капсюлированная гильза. 1 – гильза; 2 – основной пороховой заряд; 3 – диафрагма с отверстием; 4 – дополнительная часть порохового заряда; 5 – пуля; 6 – колпачок капсюля-воспламенителя; 7 – воспламенительный состав ударного действия; 8 – герметизирующая мембрана; 9 – трехлепестковая наковаленка куполообразной формы; 10 – специальный кольцевой выступ, расположенный в капсюльном гнезде гильзы.

Для подтверждения предложенного решения, проводился эксперимент. Для проведения сравнительных испытаний, использовался патрон калибра 12/70, с массой дроби 33 г., с порохом Сокол, общей массой порохового заряда 2,7 г. При едином заряде, скорость пули на срезе ствола составила 405 м/с, максимальное давление 83 МПа, которое приблизилось к максимально-допустимому для используемого в тестовой стрельбе оружия. При разделенном пороховом заряде, в процентном соотношении частей 55,6% к 44,4%, скорость пули на дульном срезе составила 470 м/с, максимальное давление 63 МПа.

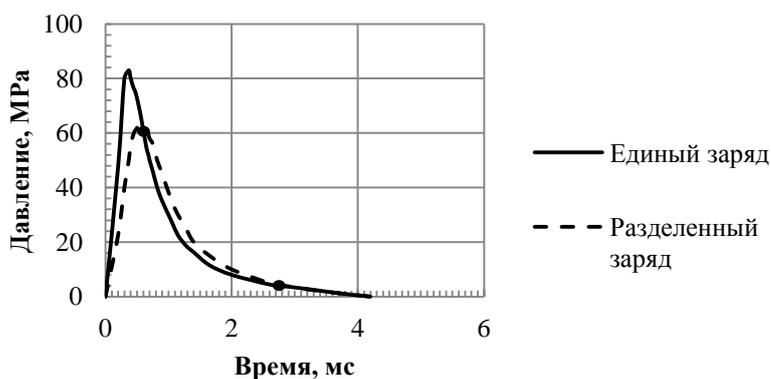


Рис. 3. Зависимости давления в канале ствола при едином и разделенном пороховом заряде соответственно

Следовательно, прирост начальной скорости составил 16%, а давление наоборот уменьшилось на -31,7%, что говорит о меньшей загруженности ствола при выстреле и, соответственно, о увеличении его срока службы. С другой стороны мы имеем некоторый потенциал и можем увеличить общую массу порохового заряда для еще большего увеличения начальной скорости пули.

Зависимости давления от времени Рис.3 подтверждают сделанные заключения.

Имея начальные скорости и массу пулевого заряда, можно найти переданный импульс:

$$p_i = v_i * m, \text{ где } m = 0,033 \text{ кг.}, v_e = 405 \frac{\text{м}}{\text{с}}, v_p = 470 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Подставив, получаем: $p_e = 13,365 \text{ Н} * \text{с}$, $p_p = 15,510 \text{ Н} * \text{с}$, где p_e - импульс при использовании единого заряда, p_p - импульс при использовании разделенного заряда.

Следовательно, импульс силы, переданный пуле, в случае с разделенным зарядом выше на 16%, чем в случае с единым зарядом

2. Повышение надежности и уменьшение времени срабатывания капсюля-воспламенителя

Рассмотрим стрельбу с двух рук из длинноствольного оружия. Примем плечевой сустав стрелка за неподвижную опору, на которую упирается приклад. Для удержания ружья на линии прицела, стрелок опорной рукой прилагает усилие $F = P$ в противоположном направлении, где P - вес оружия, давящий на руку стрелка. Прицелившись, стрелок начинает давить на спусковой крючок с усилием G , большим, чем сила сопротивления предохранительной пружины ударно-спускового механизма. При этом возникает момент M , который поворачивает ствол вниз. Для того чтобы уравновесить этот момент, стрелок прилагает дополнительное усилие на опорную руку — ΔF .

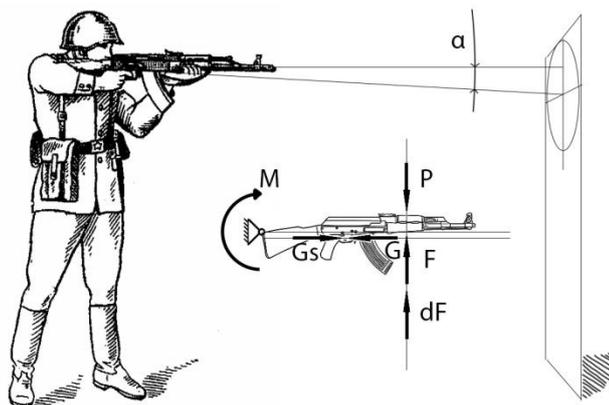


Рис .4. Схема сил, действующих на оружие при выстреле.

После того, как усилие предохранительной пружины ударно-спускового механизма преодолено и начинается движение бойка, противодействие пружины прекращается и соответственно, исчезает и момент, поворачивающий ствол к земле. Но по инерции, естественной для человека, ΔF продолжает действовать, а это означает движение ствола вверх относительно неподвижного приклада на определенный угол α , определяющий угол бросания. Величина угла α зависит от силы предохранительной пружины ударно-спускового механизма и определенного интервала времени t от начала движения бойка до воспламенения порохового заряда и начала движения пули.

Повышение надежности и уменьшение времени срабатывания капсюля-воспламенителя возможно достигнуть уменьшением расстояния минимального приближения наковаленки к герметизирующей мембране **Н1**.

На рисунках 5а и 5б представлены эскизы гильз под капсюли с шаром и капсюли с трехлепестковой наковаленкой. Основываясь на геометрических параметрах наковаленок капсюлированной гильзы и капсюля с шаром можно сказать, что параметр **Н1(Н2)** будет тем больше, чем шире поле допуска для основного размера наковаленки (для куполообразной наковаленки – высота, для шара – его диаметр). **Н1(Н2)** - минимальное возможное приближение наковаленки гильзы к герметизирующей мембране.

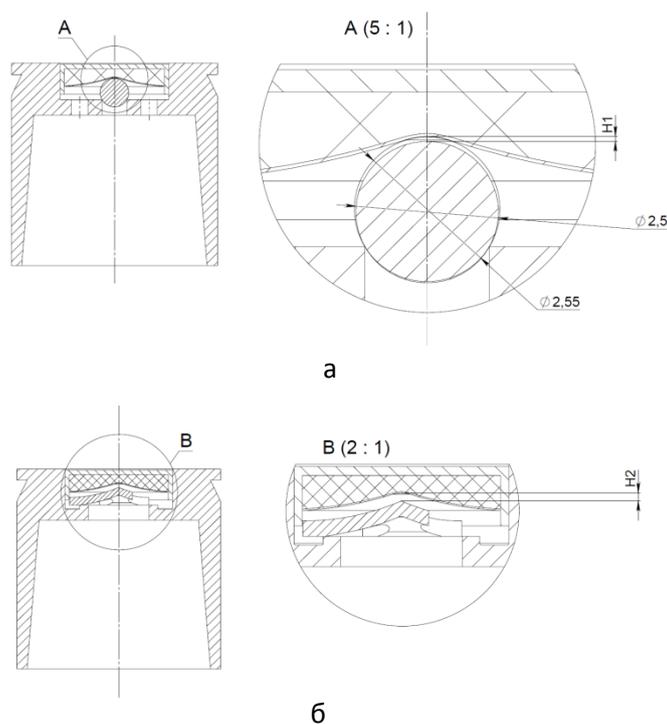


Рис. 5. а) капсулированная гильза с наковаленкой, выполненной при минимальном значении поля допуска на высоту наковаленки; б) капсуль с шаром, выполненном при минимальном значении поля допуска на диаметр шара.

Минимальное приближение наковаленки к герметизирующей мембране непосредственно влияет на время от начала движения бойка до срабатывания капсуля-воспламенителя. Зная, что время это расстояние, деленное на скорость, рассмотрим неравенство:

$$H1/V = T1 \neq T2 = H2/V,$$

где V - Скорость движения бойка, $T1(T2)$ - Время от начала движения бойка до срабатывания капсуля-воспламенителя. В данном неравенстве не учувствуют такие величины, как толщина колпачка, толщина ударно-воспламенительного состава и толщина герметизирующей мембраны, так как для первого и второго капсулей это одни и те же равные величины. Скорость так же примем как некую постоянную величину, равную в обоих случаях применения капсуля-воспламенителя.

При условии, что $H1 < H2$, получаем:

$$H1/V = T1 < T2 = H2/V$$

Из полученного неравенства выше видно, что время от начала движения бойка до срабатывания капсуля-воспламенителя в случае с $H1$ меньше, следовательно, применив конструкцию с шаром, мы получим меньшее время от начала движения бойка до срабатывания капсуля-воспламенителя нежели в производящихся на сегодняшний день, в России, капсулях-воспламенителях.

Существует конструкция, описанная в работе (2), Рис. 2. Недостатком конструкции является то, что в ней применена трех лепестковая наковаленка, изготовление которой в массовом количестве на прессовом оборудовании с

помощью многоместных штампов является технологической задачей, требующей высокой точности изготовления сопрягаемых элементов конструкции.

Для этого применяются многоместные пресс-формы, которые ввиду большого количества одновременно изготавливаемых деталей, не обеспечивают узкого поля допуска для высоты трехлепестковой наковаленки.

Исходя из того, что значение H_2 достаточно велико (порядка 0,25 мм при значении $H_1 = 0.03$ мм) то известная конструкция капсюлированной гильзы не обеспечивает высокую надежность и чувствительность срабатывания капсюля-воспламенителя из-за большого минимального приближения наковаленки к герметизирующей мембране.

Возможно упростить конструкцию капсюлированной гильзы в патроне (см. рис. 5а и рис. 6) и обеспечить за счет смены конструктивного элемента (вместо трех лепестковой наковаленки применяется металлический шарик) значение параметра H_1 порядка 0,03 мм, что даст более высокую надежность и чувствительность срабатывания капсюля-воспламенителя, а также уменьшит Время от начала движения бойка до срабатывания капсюля-воспламенителя. В новой конструкции металлический шарик опирается на дно капсюльного отверстия, частично помещаясь внутрь центрального отверстия в дне капсюльного гнезда. При этом на внутренней поверхности центрального отверстия, в дне капсюльного гнезда, выполнены три симметрично расположенные по окружности отверстия для протекания продуктов детонации воспламенительного состава ударного действия к пороховому заряду.

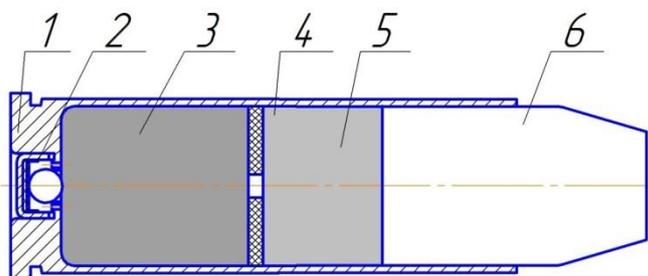


Рис. 6. Новая конструкция. 1 – гильза; 2 – капсюль-воспламенитель; 3 – первая часть порохового заряда; 4 – диафрагма с отверстием; 5 – вторая часть порохового заряда; 6 – пуля;

В настоящее время российской промышленностью выпускается стальная дробь для спортивных дробовых патронов с использованием технологии изготовления высокоточных шариков для шарикоподшипников (10). Точность наружного диаметра шарика (дробинки), имеющего размер 2,5 мм, составляет ± 50 мкм. Такая точность диаметра металлическая шарика вполне приемлема для создания дешевой, технологичной капсюлированной гильзы для нарезного патрона.

Библиографический список

1. Кислин М.А. Патрон для нарезного оружия // патент на изобретение RU 2577163, 10.03.2016 г.
2. Ж. Калашников, №5, 2015, с.70-73.
3. Кислин М.А., Зыков В.А, Маликов А.А. Капсюлированная гильза для стрелкового оружия // патент на изобретение RU 2585092, 27.05.2016 г.
4. Кислин М.А., Зыков В.А, Маликов А.А. Капсюлированная гильза для стрелкового оружия // патент на изобретение RU 2585092, 27.05.2016 г.
5. Кислин М.А., Зыков В.А, Маликов А.А. Капсюлированная гильза для стрелкового оружия // патент на изобретение RU 2525595, 20.08.2014 г.
6. Кислин М.А., Зыков В.А, Маликов А.А. Способ изготовления капсюлей-воспламенителей типа «BOXER» // патент на изобретение RU 2580544, 10.04.2016 г.
7. Кислин М.А., Зыков В.А. Патрон для стрелкового оружия // патент на изобретение RU 2596230, 10.09.2016 г.
8. Кислин М.А., Маликов А.А., Пеньков В.А. Капсюль-воспламенитель для патронов охотничьих и спортивных ружей» // патент на изобретение RU 2256148, 10.07.2005 г.
9. П.Ф. Бубнов и И.П. Сухов «Средства инициирования», Москва, 1945., Оборонгиз, с.16,с.27,28,с.41-52
10. С.Г. Митичкин, Г.С. Митичкин «Боеприпасы нового поколения» г. Москва, 1997, типография «Академия МВД России».
11. Вандакуров А.Н., Гуськов А.В., Кислин М.А., Гильманов Р.З., Милевский К.Е., Шальнев В.А. КАПСЮЛЬ-ВОСПЛАМЕНИТЕЛЬ МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПАТРОНОВ К ГЛАДКОСТВОЛЬНОМУ ОРУЖИЮ. Сборник: «Решетневские чтения», 2016 ч1, с.396-397

Vandakurov A.N.¹, Guskov A.V.^{2*} Kislin M.A.¹, Milevskiy K.E.², Shalnev V.A.²

¹JSC "Novosibirsk Mechanical Plant" Iskra"

Russian Federation, 630900 Novosibirsk, Chekalina str., 8

²Federal State Educational Institution of Higher Education «Novosibirsk State Technical University»

Russian Federation, 630073, Novosibirsk, Karl Marx Avenue, 20

*conf_npo@craft.nstu.ru

This paper present materials on the ways to increase the power of unitary cartridges.

Keywords: divided powder charge, primer-igniter.

КОРРЕКТИРУЕМЫЙ ОСКОЛОЧНО - ФУГАСНЫЙ СНАРЯД

Гуськов Анатолий Васильевич, д.т.н. профессор; Милевский Константин Евгеньевич, к.т.н. доцент; Шарков Александр Валерьевич, студент; Ткачев Александр Андреевич, студент

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Гуськов А.В., e-mail: conf_npo@craft.nstu.ru

Милевский К.Е., e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Шарков А.В., e-mail: sharkov.sashunya@mail.ru

Ткачев А.А., e-mail: sashunya.tkachev@mail.ru

Аннотация.

В работе анализируются способы корректировки осколочно-фугасных снарядов к нарезным ствольным системам. Выделены существующие способы реализации корректировки артиллерийских снарядов: с помощью импульсного двигателя коррекции и аэродинамического органа управления. Мы предлагаем новый способ реализации корректировки на основе остановки вращательного движения корпуса снаряда.

Ключевые слова: артиллерийский снаряд, осколочно-фугасный снаряд, реактивный снаряд, вращение, импульсный двигатель коррекции, аэродинамический орган управления.

Введение.

Род войск таких как артиллерия является одним из самых массовых боевых средств при наступлении, так и в обороне.

Для решения боевых задач артиллерия располагает различными типами и видами боеприпасов.

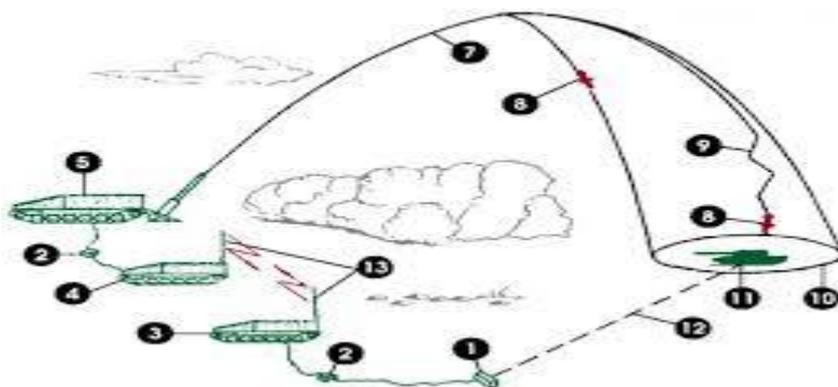
Артиллерийский снаряд состоит из следующих частей: оболочки с ведущим устройством, снаряжения, взрывателя и трубки. Внутри оболочка имеет полость, называемую камерой; она заполняется сильным взрывчатым веществом или каким-либо другим снаряжением, в зависимости от назначения снаряда. Взрывчатое вещество, способное в нужный момент разорвать оболочку снаряда на осколки называется разрывным зарядом.

Новым видом высокоточного оружия являются комплексы корректируемого вооружения. Их основу составляют ствольные артиллерийские системы и самонаводящиеся артиллерийские снаряды – летательные аппараты.

В настоящее время существуют две концепции комплексов корректируемого вооружения – российская концепция импульсной коррекции (RCIC) и американская концепция аэродинамического управления (ACAG) .

Снаряд RCIC – выстреливаемый из орудия артиллерийский снаряд, не требующий предстартовой подготовки после закрытия затвора артиллерийского орудия. Он имеет головку самонаведения (ГСН) и устройство импульсного двигателя коррекции (ИДК), позволяющее изменять траекторию в направлении к цели на конечном участке полёта.

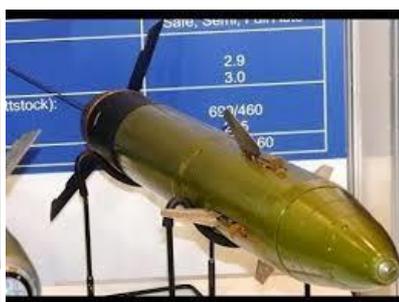
Снаряд ACAG – выстреливаемый из орудия артиллерийский снаряд, не требующий предстартовой подготовки после закрытия затвора орудия (установка программы полёта, контрольные работы). Он имеет на борту системы навигации (автопилот) для формирования траектории, ГСН и устройство (аэродинамические органы управления – АОУ) для изменения траектории на конечном участке полёта.



На вооружении армии России имеются снаряды обеих концепций (ACAG – 152 - мм «Краснополь», 122- мм «Китолов», RCIC – 240- мм мина «Смельчак», 152- мм «Сантиметр»).



а) 152-мм «Краснополь»



б) 122-мм «Китолов»



в) 240-мм мина «Смельчак»



г) 152-мм «Сантиметр»

Снаряд RCIC летит по баллистической траектории. За 3 с до падения

снаряда на землю (высота полёта 0,7...1,0 км) включается ГСН и работает ИДК. Дальность полёта снаряда RCIC составляет 0,7...0,8 от дальности полёта снаряда обычной точности (Lot). Достоинство комплекса RCIC – возможность эффективной стрельбы залпом по одной цели, т.е. создание высокой плотности огня за счёт одновременного попадания в неё нескольких снарядов. В этом случае отклонения разрывов по времени в залпе укладываются в 0,1...0,2 с. В результате манёвра плотностью огня появляется возможность надежного поражения целей в короткое время (время излучения лазерного целеуказателя-дальномера (ЛЦД) при залпе, как и при одиночном выстреле, составляет 3с).

Это существенно снижает вероятность обнаружения и поражения противником командно-наблюдательного пункта (КНП), с которого осуществляется подсветка цели с помощью ЛЦД.

Снаряд ACAG сначала летит по баллистической траектории. На конечном участке полёта его траектория становится планирующей, её вид задаётся автопилотом. На конечном участке полёта (за 15 с до падения снаряда) включаются ГСН и АОУ. Комплексы ACAG не имеют возможности стрельбы залпом, так как из-за планирующих траекторий время полёта снарядов значительно различается (более 1,0 с), и уже при разрыве первого снаряда цель перекрывается пылью и дымом, что не даёт возможности обеспечить точное целеуказание для следующих снарядов.

Тем не менее существуют недостатки у снарядов таких типов :

- 1) Существует способ защиты от управляемых снарядов.
- 2) Плотность осколочного поля не большая, так как существуют мёртвые зоны, где эти осколки бесполезны.

Перспектива.

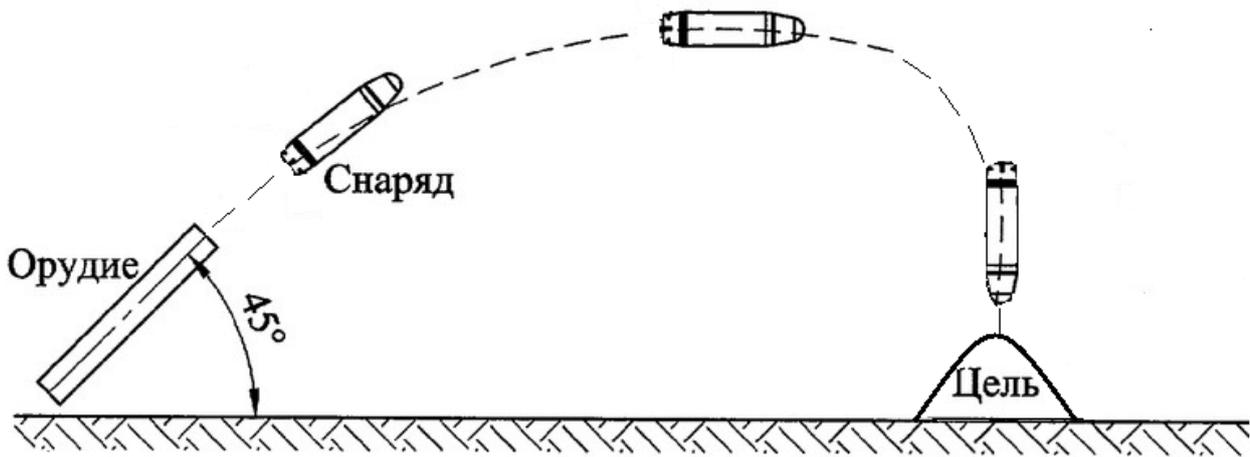
Факторы, определяющие боевую эффективность:

- вид, размеры и подвижность объекта;
- точность определения данных для стрельбы и технического рассеивания боеприпасов;
- поражающего действия боеприпасов;
- точность корректур исходных данных и своевременности прекращения огня артиллерией;
- время пребывания объекта на позиции;
- надёжность вооружения;

Классификация целей.

Под элементарной целью понимают такую одиночную цель, которую нельзя разделить на другие цели или расчленить на части без нарушения её физической целостности, например орудие, танк и т.д.

Мы предлагаем воспользоваться снарядом, который будет дешевле, чем реактивный.



Мы считаем, что можно произвести воздействие на вращательное движение.

Достоинства предлагаемого снаряда:

- 1) Увеличенная плотность осколочного поля.
- 2) Приведённая площадь поражения увеличивается.
- 3) Мёртвые зоны уменьшаются
- 4) Осколки будут с убойной увеличенной энергией.

Для рассматриваемых условий вероятность поражения цели равна:

$$p = \frac{p^2}{\pi E_{x_B} * E_{y_B}} \iint_{(0)}^S e^{-p^2 \left(\frac{(x_B - a_x)^2}{E_{x_B}^2} + \frac{(y_B - a_y)^2}{E_{y_B}^2} \right)} dx_B dy_B$$

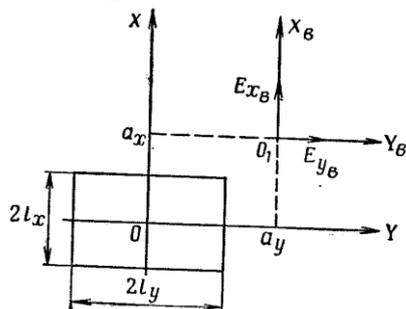


Рис. 7

a_y , a_x - смещение центра O_1 рассеивания боеприпасов от центра O цели соответственно по дальности X и направлению Y стрельбы.

x_b , y_b - группа ошибок

E_{x_B} , E_{y_B} - характеристики ошибок.

$2l_x$, $2l_y$ - глубина и фронт приведённых размеров цели

Вывод:

Предлагаемый снаряд превосходит реактивные снаряды в том что, плотность поражения у предлагаемого изделия больше. Предполагаемый

снаряд не подвержен радиоэлектронному воздействию.

Библиографический список

1. В.А.Велданов. Основы функционирования корректируемых летательных аппаратов.
2. Патент 149768 Россия, МПК F42В 14/02. Оpubл. 20.01.2015 (Авторы Гуськов А.В., Милевский К.Е., Хребтова М.С.)
3. Патент 139446 Россия, МПК F42В 3/00. Оpubл. 20.04.2014 (Авторы Гуськов А.В., Милевский К.Е., Михайлова Н.Ю.)
4. Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения. М.: Воениздат, 1971.

FRAGMENTARY – EXPLOSIVE WHIZZBANG

Guskov A. V., Ph.D. Professor; Milevsky K.E., Ph.D. assistant professor; Sharkov Alexander Valeryevich., student; Tkachev Alexander Andreevich., student.

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, pr. Karl Marx, 20, tel. (913)005-48-19

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

Milevsky K.E., email gdd@craft.nstu.ru

Sharkov A.V., e-mail: sharkov.sashunya@mail.ru

Tkachev A.A., e-mail: sashunya.tkachev@mail.ru

Abstract

The paper considers a method for correcting a fragmentary-explosive whizzbang projectile and missiles for cannons and howitzers. The schemes for implementing these adjustment methods are presented. Based on the stopping of the rotational motion, and with the help of a pulse correction motor, as well as an aerodynamic control.

Keywords: artillery shell, high-explosive projectile, missile, rotation, impulse correction motor, aerodynamic control.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ОПЕРАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ПАДЕНИЕ ТЕЛ

*Ширяева Вероника Юрьевна; к.ф.-м.н Дёмин Сергей Евгеньевич, к.ф.-
м.н Дёмнина Елена Леонидовна; Смагин Константин Владимирович*

*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*

Ширяева В.Ю., e-mail ver.schi2011@yandex.ru

Дёмин С.Е., e-mail demin-se@yandex.ru

Дёмнина Е.Л., e-mail demina-el@yandex.ru

Смагин К.В., e-mail smaginkv@gmail.ru

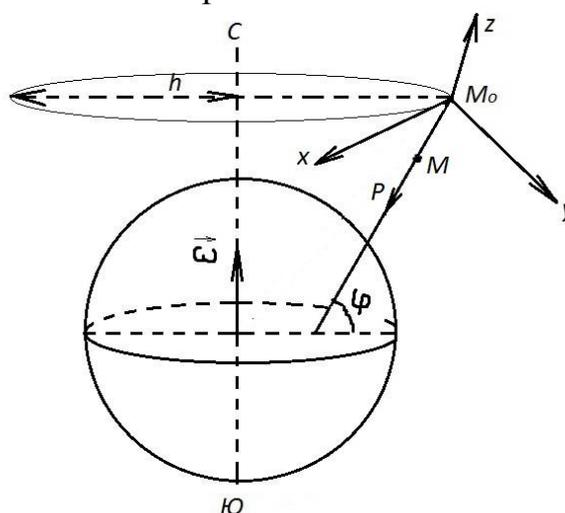
Аннотация

В работе рассматривается исследование влияния вращения Земли на падение тел. Производится сравнение результатов расчетов полученных различными методами.

Ключевые слова

Вращение Земли; сила Кориолиса; дальность полета.

Исследуем падение материальной точки вблизи земной поверхности с некоторой начальной скоростью. Для этого свяжем систему координат с положением тела, где ось z направлена по вертикали вверх, ось x – по касательной к окружности радиуса h (перпендикулярно к плоскости рисунка на нас), а ось y – в плоскости меридиана (в плоскости рисунка). Направление линии действия силы тяжести P называется вертикальным направлением в данной точке земной поверхности. Угол φ , образуемый вертикальным направлением с экваториальной плоскостью, называется географической широтой в данной точке земной поверхности.



На материальную точку действует сила притяжения к Земле F ,

направленная к центру Земли:

$$F = \frac{kmM}{r^2},$$

где m – масса материальной точки, M – масса Земли, r – расстояние от материальной точки до центра Земли, k – гравитационная постоянная.

Для исследования падения материальной точки на Землю запишем уравнение динамики её относительного движения:

$$m\omega_r = F + J_e + J_c,$$

где F – сила притяжения к Земле, J_e – сила инерции материальной точки в переносном вращательном движении, J_c – кориолисова сила инерции.

Сила инерции материальной точки в переносном движении J_e складывается из переносной центробежной J_{en} и переносной вращательной силы инерции $J_{e\tau}$, т.е.

$$J_e = J_{en} + J_{e\tau},$$

Вращение Земли происходит с постоянной угловой скоростью $\omega = 0,00007 \text{сек}^{-1}$, откуда следует, что переносная вращательная сила инерции равно нулю:

$$J_{e\tau} = 0.$$

Переносная центробежная сила инерции J_{en} направлена противоположно центростремительному ускорению материальной точки ω_{en} , т.е. от оси вращения Земли, и равна:

$$J_{en} = mh\omega^2,$$

где $\omega_{en} = h\omega^2$ – центростремительное ускорение точки.

Сумма сил F и J_{en} называется силой тяжести:

$$P = F + J_{en}.$$

Отношением модуля силы тяжести P к массе материальной точки называется ускорением силы тяжести: $g = \frac{P}{m}$, т.е.

$$P = mg.$$

Направление линии действия силы тяжести P называется вертикальным направлением в данной точке земной поверхности. Угол φ , образуемый вертикальным направлением с экваториальной плоскостью, называется географической широтой в данной точке земной поверхности.

Ускорение Кориолиса ω_c определяется по формуле $\omega_c = 2\omega \times v_r$.

Тогда кориолисова сила инерции:

$$J_c = -2m\omega \times v_r.$$

Будем рассматривать падение тела вблизи поверхности Земли, поэтому считаем, что сила тяжести g и широта φ постоянны.

Запишем уравнение динамики относительного движения материальной точки $m\omega_r = P + J_c$ с учётом всех выведенных формул:

$$\omega_r = g - 2\omega \times v_r.$$

Проецируя полученное уравнение на оси x, y, z при начальных условиях

$$\begin{cases} t = 0, \\ x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = u, \\ y(0) = 0, \quad \dot{y}(0) = v, \\ z(0) = 0, \quad \dot{z}(0) = w, \end{cases} \text{ получаем [1]:}$$

$$\begin{cases} \ddot{x} = 2\omega(\dot{z}a + \dot{y}b), \\ \ddot{y} = -2\omega\dot{x}\sin\varphi, \\ \ddot{z} = -g - 2\omega\dot{x}\cos\varphi, \end{cases}$$

где $a = \cos\varphi, b = \sin\varphi$.

В [2] рассматривается решение данной системы с помощью степенных рядов.

Решения этой задачи может быть осуществлено методом операционного исчисления [3-5].

Для решения полученной системы воспользуемся преобразованием Лапласа:

$$f(t) \leftarrow pF(p), \quad f'(t) \leftarrow pF(p) - f(0), \quad f^n(t) \leftarrow p^n F(p) - f(0) - f'(0).$$

Получим следующие изображения:

$$\begin{aligned} x(t) &\leftarrow X(p), & \dot{x}(t) &\leftarrow pX(p), & \ddot{x}(t) &\leftarrow p^2 X(p) - u; \\ y(t) &\leftarrow Y(p), & \dot{y}(t) &\leftarrow pY(p), & \ddot{y}(t) &\leftarrow p^2 Y(p) - v; \\ z(t) &\leftarrow Z(p), & \dot{z}(t) &\leftarrow pZ(p), & \ddot{z}(t) &\leftarrow p^2 Z(p) - w; \\ g &\leftarrow \frac{g}{p}. \end{aligned}$$

Применим преобразование Лапласа к каждому из уравнений системы:

$$\begin{cases} p^2 X(p) - 2\omega pbY(p) - 2\omega apZ(p) = u, \\ 2\omega bpX(p) + p^2 Y(p) = v, \\ 2\omega apX(p) + p^2 Z(p) = w - \frac{g}{p}. \end{cases}$$

$$\Delta(p) = \begin{vmatrix} p^2 & -2\omega bp & -2\omega ap \\ 2\omega pb & p^2 & 0 \\ 2\omega ap & 0 & p^2 \end{vmatrix} = p^4(p^2 + 4\omega^2);$$

$$\Delta_1(p) = \begin{vmatrix} u & -2\omega bp & -2\omega ap \\ v & p^2 & 0 \\ w - \frac{g}{p} & 0 & p^2 \end{vmatrix} = p^3 \left(pu + 2\omega a \left(w - \frac{g}{p} \right) + 2\omega bv \right);$$

$$\Delta_3(p) = \begin{vmatrix} p^2 & -2\omega bp & u \\ 2\omega bp & p^2 & v \\ 2\omega ap & 0 & w - \frac{g}{p} \end{vmatrix} = p^2 \left(p^2 w - pg - 4\omega^2 abv - 2\omega aup + 4\omega^2 b^2 w - \right. \\ \left. - 4\omega^2 b^2 \frac{g}{p} \right).$$

$$\Delta_2(p) = \begin{vmatrix} p^2 & u & -2\omega ap \\ 2\omega bp & v & 0 \\ 2\omega ap & w - \frac{g}{p} & p^2 \end{vmatrix} = p^4 v - 4\omega^2 abp^2 w + 4\omega^2 abpg + 4\omega^2 a^2 p^2 v - \\ - 2\omega bp^3 u;$$

Следовательно, изображения имеют вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} X(p) = -\frac{ag}{2\omega} \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{2\omega} \frac{2\omega}{p^2 + 4\omega^2} \right) + \frac{u}{2\omega} \cdot \frac{2\omega}{p^2 + 4\omega^2} + \frac{aw + bv}{2\omega} \left(\frac{1}{p} - \frac{p}{p^2 + 4\omega^2} \right), \\ Y(p) = 4abg\omega^2 \left(\frac{2}{2p^3} \frac{1}{4\omega^2} - \frac{1}{16\omega^4 p} + \frac{p}{16\omega^4 (p^2 + 4\omega^2)} \right) + \frac{v}{p^2 + 4\omega^2} - \\ - 2\omega bu \left(\frac{1}{4\omega^2} \frac{1}{p} - \frac{1}{4\omega^2} \frac{p}{p^2 + 4\omega^2} \right) + 4\omega^2 (a^2 v - abw) \left(\frac{1}{4\omega^2} \frac{1}{p^2} - \frac{1}{4\omega^2} \frac{1}{p^2 + 4\omega^2} \right), \\ Z(p) = -4\omega^2 b^2 g \left(\frac{1}{4\omega^2} \frac{1}{p^3} - \frac{1}{16\omega^4} \cdot \frac{1}{p} + \frac{1}{16\omega^4} \cdot \frac{p}{p^2 + 4\omega^2} \right) + \frac{w}{2\omega} \cdot \frac{2\omega}{p^2 + 4\omega^2} - \\ - \frac{2\omega au + g}{4\omega^2} \left(\frac{1}{p} - \frac{p}{p^2 + 4\omega^2} \right) + (wb^2 - abv) \cdot \left(\frac{1}{p^2} - \frac{1}{p^2 + 4\omega^2} \right). \end{array} \right.$$

Таким образом, получены следующие уравнения движения:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = \frac{ag}{2\omega} \left(\frac{\sin 2\omega t}{2\omega} - t \right) + \frac{u}{2\omega} \sin 2\omega t + \frac{bv}{\omega} \sin^2 \omega t + \frac{aw}{\omega} \sin^2 \omega t, \\ y(t) = \frac{gab}{2\omega^2} (\omega^2 t^2 - \sin^2 \omega t) - \frac{bu}{\omega} \sin^2 \omega t + \frac{v}{2\omega} (b^2 \sin 2\omega t + 2a^2 \omega t) - \\ - \frac{abw}{2\omega} (2\omega t - \sin 2\omega t), \\ z(t) = -\frac{g}{2\omega^2} (b^2 \omega^2 t^2 + a^2 \sin^2 \omega t) - \frac{au}{\omega} \sin^2 \omega t - \frac{abv}{2\omega} (2\omega t - \sin 2\omega t) + \\ + \frac{w}{2\omega} (2\omega t b^2 + a^2 \sin 2\omega t). \end{array} \right.$$

Сравним результаты наших расчётов с результатами, полученными в [2], при отсутствии начальной скорости. При свободном падении с высоты $h=100$ м на широте $\varphi = 60^\circ$, $g=9,81$ м/сек², материальная точка отклонится в восточном направлении на $1,1$ см. Полученные нами результаты соответствуют результатам работы [2].

Выясним, как влияет вращение Земли на дальность полета l . В таблице представлено сравнение расчетных результатов с известными ранее и представленными в работе [3].

№ п/п	V_0 , м/с	θ_0 , град	Дальность полета l , м			Δl , %
			без учёта вращения Земли $l_{бв}$, м	С учетом вращения Земли $l_{св}$, м	$l_{бв}$, м (Правдин В.М.)	
1	800	15	32604,78	32609,27	32700	0,28
2	680	40	46413,68	46456,56	47800	2,81
3	230	40	5309,87	5311,56	5300	0,22
4	60	45	366,97	367,01	367	0,003

Выводы:

1. Предложена методика расчета влияния вращения Земли на падение тела с помощью метода операционного исчисления.

2. Данный метод позволяет определить координаты падения с погрешностью расчётов: от 0,003% при малых скоростях до 3% при больших скоростях.

3. Анализ результатов показывает, что при больших начальных скоростях при учёте вращения Земли дальность полета меньше, чем без его учёта. Данный эффект необходимо принимать во внимание при больших дальностях полета.

Библиографический список:

1. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика: Учебник для студентов вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005.
2. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах. Том 2. Динамика / Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. – М.: Наука, 1966.
3. Правдин В.М., Шанин А.П. Баллистика неуправляемых летательных аппаратов. Снежинск, Издательство РФЯЦ – ВНИИТФ, 1999, 496 с.
4. Пантелеев А. В. Теория функции комплексного переменного и операционного исчисления в примерах и задачах / А. В. Пантелеев, А. С. Якимова. – М. : МАИ, 1998.
5. Свешников А. Г. Теория функций комплексной переменной / А. Г. Свешников, А. Н. Тихонов.– М.: Наука, 1979.
6. Демин, С. Е. Операционное исчисление: учеб. пособие / С. Е. Демин, Е. Л. Демина. – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2012.

STUDY ON THE INFLUENCE OF THE EARTH'S ROTATION ON FALLING BODIES BY THE METHOD OF OPERATIONAL CALCULUS

*Shiryayeva Veronika Yurevna*¹, student, e-mail ver.schi2011@yandex.ru

*Demina Elena Leonidovna*¹, Cand. Sci. (Phys.-Math.), e-mail demina-el@yandex.ru

*Demin Sergey Evgenievich*¹, Cand. Sci. (Phys.-Math.), e-mail demin-se@yandex.ru

*Smagin Konstantin Vladimirovich*¹, Assistant, e-mail smaginkv@gmail.com

¹Nizhny Tagil Technology Institute (branch) Ural Federal University, Krasnogvardeyskaya st., 59, Nizhny Tagil, 622000, Russian Federation.

Abstract: At this article the research of the influence of the Earth's rotation on falling bodies is discusses. Comparisons of the results of calculations for different methods are presented.

Key words: The Earth's rotation; the Coriolis force; range of flight.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СУО МНОГОЦЕЛЕВЫХ МАШИН

*Абдулов Сергей Владимирович, Падурич Сергей Викторович,
Яковлев Антон Геннадьевич*

*Специальное конструкторское бюро машиностроения,
640000, Россия, г. Курган, пр. Машиностроителей, 17*

Абдулов С. В. e-mail skbm@skbm.ru

Падурич С. В. e-mail skbm@skbm.ru

Яковлев А. Г. e-mail skbm@skbm.ru

*Адрес для корреспонденции: Яковлев Антон Геннадьевич,
Специальное конструкторское бюро машиностроения, 640000, Россия,
г. Курган, пр. Машиностроителей, 17, тел. (8-3522) 471-370.*

Аннотация. Боевая машина пехоты предназначена для повышения мобильности, вооруженности и защищенности пехоты. Одним из направлений дальнейшего совершенствования – автоматизация рабочих процессов боевой деятельности экипажей. Особое значение придается системе управления огнем. Она обеспечивает возможность эффективного применения вооружения с хода и с места.

Ключевые слова. Боевая машина пехоты, огневая мощь, система управления огнем, автоматизация.

По всему миру в конструкторских бюро непрерывно ведутся работы по дальнейшему совершенствованию боевых машин пехоты (БМП) с целью повышения основных характеристик – огневой мощи, защищенности, подвижности и командной управляемости.

В условиях высокой насыщенности современного поля боя маневренными малозаметными танкоопасными средствами огневая мощь должна обеспечивать быстрый поиск, распознавание и поражение цели первым выстрелом (очередью), чтобы предупредить противника в открытии огня. Решение данной задачи становится невозможным без применения автоматизированной системы управления огнем (СУО), производящей подготовку исходных данных для производства выстрела.

В состав СУО входит прицел, комплект датчиков условий стрельбы, баллистический вычислитель и стабилизатор вооружения с приводами наведения. Система, основываясь на показаниях датчиков или введенных вручную данных и выбранном типе боеприпасов, автоматически вырабатывает необходимые поправки, которые исполняются стабилизатором. Оператору-наводчику необходимо только удерживать прицельную марку на выбранной цели или использовать автомат сопровождения (АС) и осуществить выстрел.

Стоит подробнее остановиться на АС, так как подобные устройства стали

внедряться в состав СУО относительно недавно и информация о них имеет ограниченное распространение. АС выполняет слежение за целью, таким образом, выключая человека из контура наведения. Точность слежения не зависит от квалификации и психофизического состояния наводчика и становится технически гарантированной характеристикой. Принцип работы АС заключается в выделении контрастного объекта в поле зрения и отслеживании его перемещений на фоне подстилающей поверхности. В случае потери объекта за препятствием производится инерционное сопровождение, то есть прицел сохраняет скорость и направление движения до каких-либо действий оператора. Высокую сложность при реализации АС представляет наличие рельефа и обильные помехи, создаваемые наземными объектами.

Рассмотрим возможности комплекса вооружения БМП-2 и БМП-3, разработанных в ОАО «СКБМ».

БМП-2 является развитием идей, заложенных в БМП-1. Вооружение располагается в двухместной вращающейся башне и включает в себя 30-мм автоматическую пушку (АП) 2А42 со спаренным с ней пулеметом ПКТ и ПТУР «Конкурс».

Блок оружия, состоящий из АП и ПКТ, стабилизирован в двух плоскостях. Наведение осуществляется наводчиком-оператором или командиром. Для этого наводчик располагает комбинированным прицелом с дневной и ночной ветвью с зависимой линией визирования. Командир использует дневной зенитный прицел. Определение дальности осуществляется глазомерным способом по дальномерной шкале прицела.

Перейдем к БМП-3. Данная машина кардинально отличается от предыдущих представителей семейства БМП. Вооружение включает в себя 100-мм орудие-пусковую установку (ОПУ), 30-мм АП и пулемет ПКТМ. За счет возможности применения ОПУ как осколочно-фугасных снарядов, так и ПТУРС, выстреливаемых через канал ствола и управляемых по лучу лазера, значительно возросла эффективность борьбы с разнообразными целями, в том числе и полевой фортификацией.

С целью наиболее полного использования возможностей, предоставляемых вооружением, была внедрена автоматизированная СУО по типу танковой. Она включает в себя прицел наводчика с независимой линией визирования, лазерный дальномер, баллистический вычислитель и комплекс датчиков. Работа наводчика-оператора заключается в наведении и удержании прицельной марки на выбранной цели. После измерения дальности лазерным дальномером СУО автоматически приводит оружие на угол прицеливания, с учетом различных поправок.

Дальнейшее развитие огневой мощи БМП идет как за счет изменения состава вооружения, так и совершенствования СУО.

В ходе работ над БМП-2М было предложено несколько вариантов модернизации боевого отделения под общим названием «Бережок». Первый вариант предусматривает установку нового комбинированного прибора-прицела наводчика с тепловизором и дальномером, замену ПТУР «Конкурс» на

сдвоенную пусковую установку ПТУР «Атака» и усиление броневой защиты. По второму варианту на бортах башни размещаются сдвоенные пусковые установки ПТУР «Корнет», вооружение дополняется автоматическим гранатометом АГС-17. Прицел наводчика аналогичен первому варианту, командир получает возможность вести наблюдение при помощи независимой стабилизированной панорамы с теле- и тепловизионными каналами. В состав СУО вводятся новый стабилизатор и АС.

Благодаря вносимым изменениям, огневая мощь БМП-2М в несколько раз возрастает по сравнению с оригинальной машиной. Применение тепловизора позволяет отказаться от демаскирующих устройств подсветки, вместе с тем увеличиваются возможности по поиску, обнаружению и распознаванию целей, особенно в неблагоприятных условиях – ночное время, пыль, осадки и прочее. Дистанция распознавания цели типа «танк» в ночных условиях возрастает примерно в 3 раза по сравнению с активным режимом работы традиционных ночных прицелов. За счет возросшей дальности поражения и увеличения эффективности огня в движении сокращаются собственные потери во время выполнения боевой задачи.

В свою очередь, БМП-3 также неоднократно подвергалась модернизации. В настоящее время наводчик-оператор осуществляет прицеливание при помощи комбинированного прибора-прицела, включающего в себя оптический и тепловизионный каналы, блок управления и лазерный дальномер. Прорабатываются вопросы установки стабилизированного панорамного прицела командира, АС, системы измерения параметров атмосферы.

Нельзя не упомянуть работы над безэкипажными боевыми модулями, предназначенными для установки на шасси БМП-3, различные конструкции которых сейчас готовятся к прохождению испытаний. Внедрение телевизионных камер взамен оптических прицелов, автоматизация всех процессов выполнения стрельбы позволяет разместить экипаж машины в корпусе. Это повышает защищенность машины и облегчает взаимодействие между членами экипажа.

В результате анализа собранной информации сделаны следующие выводы: развитие СУО есть неотъемлемая часть дальнейшего совершенствования важнейшей характеристики машин – огневой мощи. Целью работ по модернизации становится повышение информированности экипажа об окружающей обстановке. За счет более раннего обнаружения и автоматизации процесса подготовки стрельбы становится возможным упреждение противника в открытии огня. Для реализации данного условия внедряются камеры кругового обзора и технологии так называемой «стеклянной брони», позволяющие экипажу иметь обзор окружающего пространства, не покидая своего рабочего места.

Ведутся работы по дальнейшей автоматизации работы членов экипажа. Так, для повышения эффективности работы командира внедряются системы анализа сигналов, получаемых камерами прицелов. Сравнивая изображения с хранящимися в библиотеке, на экране отмечаются потенциальные цели и

выделяются наиболее опасные из них. Таким образом, командир может выделить приоритетную цель и немедленно передать целеуказание наводчику для открытия огня. Прогнозируемый переход к роботизированным системам позволит вообще исключить наводчика, оставляя за человеком только принятие решения на открытие огня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябов К. БМП-2М: три проекта с одним именем [Электронный ресурс] / Военное обозрение. – URL: www.topwar.ru/21909-bmp-2m-tri-proekta-s-odnim-imenem.html.
2. Yi Guo Ji, Xing Guo Ge, Zhi Huan Lan, Chun Yan Tian, Cui Chen. Analysis of the Development of Fire Control System // Applied Mechanics and Materials, Vol. 509. – 2014.
3. Падури́н С. В., Яковлев А. Г. Безэкипажные модули гусеничных машин // Труды XVII Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона». – 2016.
4. Суворов С. В. Системы управления огнем танков и БМП // Техника и вооружение. – 2004 г. – № 11 – 12.
5. Суворов С. В. Боевые машины пехоты БМП-1, БМП-2, БМП-3. – М.: Яуза. – 2008 г.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF FCS OF MULTI-PURPOSE VEHICLES

Sergey Abdulov e-mail: skbm@skbm.ru

Sergey Padurin e-mail: skbm@skbm.ru

Anton Yakovlev e-mail: skbm@skbm.ru

SPECIAL DESIGN BUREAU OF MACHINE BUILDING

17, Mashinostroiteley Ave, Kurgan, 640000, Russia

Abstract. The infantry fighting vehicle is the main asset of infantry transportation and support. One of the ways of further improvement is automation of operating procedures of the crew fighting activity. The special emphasis is given to Fire Control System. It is responsible for the possibility of the effective weapon's using, both stationary and on the move.

Key words. Infantry Fighting Vehicle, Firepower, Fire Control System, Automation.

СЕКЦИЯ: ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 929

МИНИСТР МАШИНОСТРОЕНИЯ В.В. БАХИРЕВ

*Адриашкина Татьяна Расуловна, Гриф Екатерина Михайловна,
Гуськов Анатолий Васильевич, д.т.н., профессор, Довгаль Анастасия
Ильинична, Милевский Константин Евгеньевич, к.т.н., доцент*

Новосибирский государственный технический университет, Россия
630073, Новосибирск, просп. Карла Маркса, 20.

Адриашкина Т.Р., email: adriashkina.2015@stud.nstu.ru

Гриф Е.М., email: grif.2015@stud.nstu.ru

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

Довгаль А.И., email: dovgal.2015@stud.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. Рассказывается о жизненном пути, организационной и конструкторской деятельности Вячеслава Василевича Бахирева, министра машиностроения СССР. Приводятся воспоминания современников о В.В. Бахиреве, о развитии оборонно-промышленного комплекса СССР и НСО в тот период времени.

Ключевые слова: В.В. Бахирев, министр, ОПК СССР, ОКБ-2, «Шквал», АПР-2, АПР-3.

Наш доклад посвящен жизни и деятельности В.В. Бахирева, министра машиностроения СССР. 7 сентября 2016 года ему исполнилось бы сто лет. В.В. Бахирев - выдающийся организатор советского оборонно-промышленного комплекса, лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, имеющий 4 ордена Ленина и орден Октябрьской Революции - оставил немалый след в развитии оборонной промышленности СССР и России в частности.

Родился В.В. Бахирев 17 сентября 1916 года в крестьянской семье во Владимирском уезде, деревне Дудорово. Закончил ковровское ФЗУ, поступил в Московский железнодорожный техникум. В 1941 году В.В. Бахирев успешно защищает диплом, будучи студентом механико-математического факультета по специальности механика. Заключение Государственной экзаменационной комиссией 3 июля 1941 года Бахиреву были присвоены несколько званий в сфере механики, в том числе и преподавателя высших и средних учебных заведений. После этого Народный комиссариат постановил прибыть

выпускнику «в распоряжение завода №2» сроком до 1 августа того же года [1].

18 июля 1941 г. В.В. Бахирев был принят на должность инженера-конструктора на Завод имени Киркижа. Этот завод являлся одним из самых больших заводов по изготовлению орудий в военные годы. На нем производились танки, стрелковые орудия, а также скорострельные автоматические авиационные пушки («ШВАК» Б.Г. Шпитального и С.В. Владимирова, ВЯ23 В.И. Волкова и С.А. Ярцева), благодаря которым заводу присвоили награду за отличное коллективное исполнение задач Государственного комитета обороны по обеспечению Красной Армии авиационным вооружением (по указу Президиума Верховного совета 16 сентября 1945г.). Тогда Вячеслав Васильевич и получил в награду первую медаль «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг.»

9 мая 1948 г. В.В. Бахирев занимал место заместителя начальника по опытным работам Опытного-конструкторского бюро №2 (ОКБ-2), где начальником был В.А. Дегтярев (Герой Социалистического Труда, генерал-майор инженерно-артиллерийской службы, доктор технических наук). Вскоре В.В. Бахирев стал ведущим конструктором этого бюро.

Вячеслав Васильевич по приказу министра вооружения СССР 10 мая 1952 г. был назначен на должность должности начальника ОКБ-2. 1 сентября 1954 г. министерство оборонной промышленности обязало В.В. Бахирева вернуться на завод В.А. Дегтярева, где вскоре он стал заместителем директора завода, а позже – его директором [2].

В начале мая 1960 г., после вторжения американского самолёта Lockheed U-2 для разведки в СССР, по всей стране вспыхнула волна митингов. Эти события принесли В.В. Бахиреву ещё одну награду: 1 мая 1960 г. в Свердловской области тот самолёт был сбит новой ракетой ЗРК С-75, изготовленной заводом имени В. А. Дегтярева (эта информация долгое время была засекречена). 6 марта 1962 г. Бахирев был награжден первым орденом «Знак Почета» «за выполнение специального задания правительства», далее, в 1962 году, его избрали депутатом Верховного Совета СССР по Ковровскому избирательному округу, в 1964 году ему была присуждена Ленинская премия.

По заключению Совета Министров СССР от 23 марта 1965 г. В.В. Бахирев сразу же занял место первого заместителя Министра оборонной промышленности СССР. В ноябре 1967 г. принимается постановление ЦК КПСС и Совета министров СССР об образовании специального министерства по производству боеприпасов – Министерства машиностроения СССР. Министром нового подразделения назначается В.В. Бахирев. Перед ним стояла сложная задача: В.В. Бахиреву предстояло возродить утратившее значимость в глазах государственного руководства искусство создания лучших в мире боеприпасов [3].

Всей своей трудовой биографией В.В. Бахирев был подготовлен к решению проблемы воссоздания современной отрасли боеприпасов в условиях того времени. Прошедший путь от механика на заводе до начальника ОКБ, а впоследствии до директора завода, депутата Верховного Совета СССР, В.В.

Бахирев как никто другой понимал боеприпасную отрасль изнутри, и ни одна, даже мельчайшая, деталь этого механизма не могла ускользнуть от его внимания.

Для разработки боеприпасов нового поколения требовались создание и поддержка научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро. В 1969 году был основан НИИ прикладной гидродинамики (в настоящее время ФГУП ГНПП «Регион»), оказана поддержка научным подразделениям НИИ-24 и ГСКБ-47. На НИИ-24 нужно остановиться поподробнее. Этот институт стал одним из самых важных в карьере В.В. Бахирева как конструктора: именно там велась большая часть его разработок. Впоследствии переименованный в НИМИ, НИИ-24 с 2016 года гордо носит имя В.В. Бахирева.

Под руководством В.В. Бахирева были разработаны противолодочная торпеда «Шквал», авиационные противолодочные торпеды АПР-2 и АПР-3. Постановлением Совмина СССР от 29 ноября 1977 г. противолодочный комплекс «Шквал» был принят на вооружение [4].

Вскоре после своего 60-летия, 16 сентября 1976 года, В.В. Бахирев удостоился звания: «Герой Социалистического Труда». Также был награжден тремя орденами Ленина в 1966, 1971 и 1986 годах. В 1981 году – орденом Октябрьской революции. У В.В. Бахирева есть награды других государств, с которыми сотрудничал тогда Советский Союз, а также необычные, но от этого не менее значимые для него медали. Одна из таких была вручена 12 апреля 1981 года «за активное участие в обеспечении выполнения программ космических исследований в СССР», медаль летчика-космонавта СССР Ю.А. Гагарина.

5 июня 1987 году указом Президиума Верховного Совета СССР, в связи с уходом на пенсию, В.В. Бахирев был освобожден от занимаемой должности. Но такому деятельному человеку тяжело было спокойно «сидеть» на пенсии, поэтому ему было выдано удостоверение №2760, которое подписал новый министр оборонной промышленности СССР: «Предъявитель настоящего удостоверения тов. Бахирев Вячеслав Васильевич является советником Министерства. 26 мая 1990 г.».

Вячеслав Васильевич Бахирев скончался 2 января 1991 года, во время прогулки. В официальном некрологе, опубликованном в газете «Правда» и подписанном М.С. Горбачевым, Н.И. Рыжковым, П.В. Финогеновым и другими руководителями КПСС и Советского государства, отмечалось:

«В.В. Бахирев проявил талант организатора промышленности, широчайшую техническую эрудицию, высокую принципиальность и требовательность, сочетающиеся с чутким и внимательным отношением к людям... Своей неутомимой работой В.В. Бахирев внес большой вклад в развитие промышленности, в решение сложных научно-технических проблем по созданию новых образцов современной военной техники и обеспечению ими вооруженных сил страны».

5 ноября 1999 г. на здании административного корпуса Конструкторского бюро «Арматура» (бывший корпус ОКБ-2) открыты мемориальные доски,

посвященные бывшим начальникам ОКБ-2, Героям Социалистического Труда В.А. Дегтяреву и В.В. Бахиреву. 6 января 2001 г. на здании административного корпуса (корпуса «А») ОАО «Завод имени В.А. Дегтярева» открыта мемориальная доска, посвященная В.В. Бахиреву (автор художник строительно-архитектурного отдела завода, член Союза художников России П.Я. Раскин). Так коллектив дегтяревцев отметил 10-летие кончины одного из своих директоров.

15 апреля 2016 года прошла научно-практическая конференция «Бахиревские чтения», посвященная столетию со дня рождения В.В. Бахирева, Министра машиностроения СССР. Площадкой НПК стал Новосибирский механический завод «Искра», где своими разработками и докладами делились преподаватели и студенты Новосибирского государственного технического университета.

В рамках мероприятий от научно-практической конференции на кафедре «Газодинамических импульсных устройств» НГТУ было проведено знакомство студентов с директорами заводов, учеными, исследователями, конструкторами, такими как: В.Ф. Минин, И.Л. Попелюх, В.Ю. Шитиков, В.Я. Видяев, В.Н. Девизоров. Все эти люди знали В.В. Бахирева лично и были рады поделиться своими воспоминаниями и впечатлениями об этом человеке [5].

Нельзя не отметить вклад В.В. Бахирева в развитие НГТУ и кафедры ГДУ в частности. Еще в 1960-х годах предприятия бурно развивались, что вызывало нехватку специалистов. Потому Министерство машиностроения, под руководством В.В. Бахирева, совместно с Министерством образования занялись решением этой проблемы. Новосибирскому электротехническому институту (НЭТИ) было поручено обеспечить подготовку специалистов по направлению «Производство корпусов и взрывателей».

Так появилась специальность 0546 «Производство корпусов» на кафедре прикладной механики машиностроительного факультета в 1971 году, а с 1979 года на объединенной кафедре приборных устройств одноименного факультета. Позже, 17 мая 2001 года, эта специальность перешла на кафедру газодинамических импульсных устройств, созданной в 1985 году Приказом Минвуза от 04.11.1985 №701, под названием «Боеприпасы и взрыватели» [6].

Подводя итоги, В.В. Бахирева можно смело назвать отцом оборонной промышленности СССР. С юности и до самой смерти Вячеслав Васильевич не расставался с нею. Пройдя путь от фрезеровщика до Министра машиностроения, В.В. Бахирев сумел поднять ОПК на небывалый уровень. По-отечески строгий и справедливый, Вячеслав Васильевич старался лично контролировать каждую мелочь, поддерживать в трудные времена. Оглядываясь назад, можно утверждать, что расцвет российской оборонной промышленности пришёлся именно на время В.В. Бахирева. «Мы должны быть первыми!» - говорил Вячеслав Васильевич. И они ими были.

Библиографический список

1. Герой Социалистического труда В.В. Бахирев. URL: <http://kvrv.ru/> (дата обращения 19.03.2016)
2. Русаков О.С. «Ковровские оружейники. Известные и неизвестные страницы истории Ковровского конструкторского бюро автоматического оружия с 1921 по 1960 год» - М., 1995. С.317
3. Знаменитый директор нашего завода. URL: <http://ковровскиевести.рф/> (дата обращения 20.03.2016)
4. Ракето-торпеда «Шквал» ВА-111: URL: <http://vvs-site.ru/> (дата обращения 21.03.2016)
5. Материалы научно-практической конференции «Бахиревские чтения» - Новосибирск, 2016
6. Экспериментально-теоретическое исследование быстропротекающих процессов: колл. Монография / под ред. А.В. Гуськова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. С.262

MINISTER OF MACHINE BUILDING OF THE USSR V.V. BAKHIREV
Adriashkina Tatiana Rasulovna, Grif Ekaterina Mikhailovna, Anatoly Guskov,
Dovgal Anastasia Ilinichna, Milevsky Konstantin Evgenievich
Novosibirsk State Technical University, 20, Karl Marx Avenue, Novosibirsk,
630073, Russia

Abstract. It tells about the life path, organizational and design activities of Vyacheslav Vasilevich Bakhirev, the Minister of Machine Building of the USSR. Memories of contemporaries about V.V. Bakhirev, about the development of the defense-industrial complex of the USSR and the NSO at that time.

Keywords: V.V. Bakhirev, Minister, Defense Industry of the USSR, OKB-2, Shkval, APR-2, APR-3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ЧАСТИЦ ТИТАНА

Белоусова Наталья Сергеевна¹, магистрант; Глотов Олег Григорьевич²

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383) 346 08 43

² Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3

Белоусова Н. С., e-mail nata.bel.94@mail.ru

Глотов О. Г., e-mail glotov@kinetics.nsc.ru

Адрес для корреспонденции: Белоусова Наталья Сергеевна, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383) 330-91-50

Аннотация

Разработана методика создания крупных горящих монолитных частиц титана диаметром 250–550 мкм. Исследовано их горение в свободном падении в воздухе. Посредством видеосъёмки определены характерные времена начала фрагментации, окончания фрагментации, окончания горения, закономерности движения частиц, в частности, их скорость и координата в момент начала фрагментации. Оценен размер частиц, при котором изменяется режим фрагментации («звезда» → «еловая ветвь»). Отобраны и исследованы конденсированные продукты горения частиц. В продуктах горения обнаружены: (1) объекты со структурой аэрогеля с габаритным размером до тысячи микрон, состоящие из цепочек сферул со средним арифметическим диаметром 85 нм; (2) сферические частицы оксида с размерами единиц-десятков микрон.

Ключевые слова. Частица титана; горение в воздухе; время горения; закон движения; фрагментация; конденсированные продукты горения; частицы оксида; остатки горения; распределение по размерам; сферулы.

1. Введение

Титан стоит на четвертом месте после Al, Fe, Mg по распространенности в конструкционных материалах. С одной стороны, Ti – лёгкий, высокопрочный и коррозионно-стойкий конструкционный материал, применяемый в экстремальных условиях (в изделиях ракетно-космической и авиационной техники [1], в химических реакторах, и т. п.). С другой стороны, Ti – пирофорное металлическое горючее. В этом качестве Ti применяется в составе пиротехнических композиций [2] и в композициях технологического горения [3]. В 2005 г. было предложено использовать горение частиц Ti в воздухе для создания облака фотокаталитически-активных частиц TiO₂(TiO₂ – основной продукт горения титана) с целью дезактивации вредных или опасных веществ, оказавшихся в атмосферном воздухе в результате техногенной аварии или террористического акта. Изучение механизма горения частиц Ti нацелено на

исследование влияния размера материнских частиц Ti и условий их горения на время горения и на характеристики образующихся частиц TiO_2 .

2. Методика экспериментов

Используется образец, состоящий из безметалльного топлива-матрицы, в которую помещены металлизированные фрагменты. В волне горения матрицы каждый фрагмент превращается в горящую частицу-агломерат. Масса, состав и структура агломератов определены рецептурой и размером включений. Дальнейшее горение частиц происходит в воздухе [11, 12].

Образец представляет собой полоску безметалльной матрицы с внедрёнными включениями, нанесённую на кварцевую трубку как показано на рисунке 1.



Рис. 1. Фотография готового образца (1- кварцевая трубка ($d=12$ мм); 2- матрица ($3 \times 30 \times 2$ мм); 3- отверстия с титановыми включениями ($d= 1.2$ мм, глубиной - 1 мм).

Трубка диаметром 12 мм, играет роль держателя образца. Матрица имеет консистенцию пластилина, её состав приведён в [11]. Размеры матрицы $W \times L \times H$ примерно $3 \times 30 \times 2$ мм. В матрице сделаны глухие отверстия диаметром 1.2 мм глубиной около 1 мм, в которых фиксируются титановые фрагменты.

Фрагменты изготавливали следующим образом. От слитка металлического титана отделяли фрагмент размером 2–3 мм. Фрагмент подвергался ковке, затем прокату на стальных вальцах до толщины около 50–80 мкм. В результате получали титановый «лепесток», от которого затем отрезали требуемое количество кусочков для размещения их в образце. Размер включений около 1 мм.

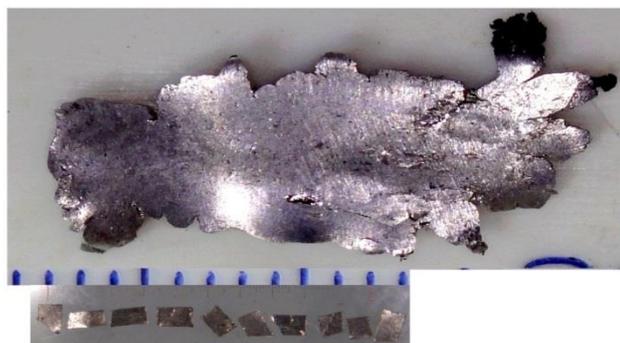


Рис. 2. Титановый «лепесток» и отрезанные от него частицы-включения для одного опыта.

Таблица 1- вес частиц

	Лепесток	Ч. 1	Ч. 2	Ч. 3	Ч. 4	Ч. 5	Ч. 6	Ч. 7	Ч. 8	Ч. 9	Ч. 10
Вес, мг	0,0199	0,1340	0,1415	0,1523	0,1707	0,1465	0,1439	0,1397	0,1246	0,1171	0,174794

Вес лепестка 0.0100–0.0400 г, вес одного включения около 0.0002 г.

Эксперименты проводили следующим образом. Кварцевую трубку-держатель образца закрепляли горизонтально на высоте 2–3 м таким образом, чтобы полоска матрицы находилась на нижней стороне трубки, рисунок 3. По мере прохождения волны горения по полоске матрицы, включения воспламеняются и выбрасываются из матрицы. Вылетевшие частицы превращаются в горящие сферы, свободно падающие в воздухе. В ходе эксперимента производили видеосъемку падающих горящих частиц цифровой фотокамерой со скоростью съёмки 25 кадров в секунду. Обработка видеозаписи и выборка кадров в программе VirtualDubc. Совокупность фрагментов кадров с помощью оригинального программного обеспечения объединяли в единый графический файл – т. н. «видеограмму», рисунок 4. Пиксельные измерения проводили в программе ScorePhoto. Закономерности движения частиц представляли в виде зависимостей координаты и скорости от времени. Скорость вычисляли как производную от координаты, все вычисления и построения графиков проводили в электронных таблицах Origin8.

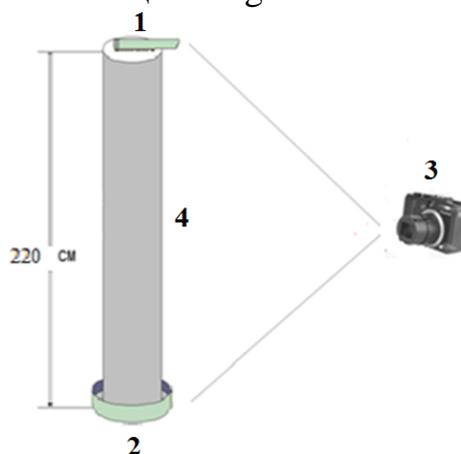


Рис. 3. Схема эксперимента сбор остатков горения. 1- образец, 2-- чашка Петри, 3- фотоаппарат, 4- кварцевая труба.

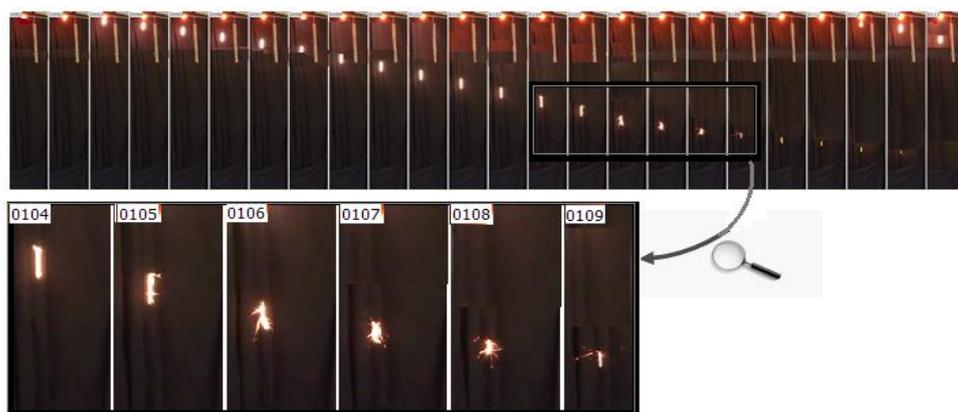


Рис. 4. Видеограмма (104 - начало фрагментации - 109 - конец фрагментации) Последовательность кадров горения частицы Ti в свободном падении в воздухе.

Сбор остатков горения осуществляли следующим образом, образец располагался над открытым торцом большой кварцевой трубы, установленной вертикально на чашку Петри. Труба имела диаметр 9 см и высоту 220 см. Горение и падение частиц происходило внутри трубы. Все отобранные частицы подвергали гранулометрическому анализу с применением подходящих методов с построением изображения. Применяли макросъемку, оптическую и электронную микроскопию. Среди отобранных продуктов выделяли два морфологических типа: (1) Сферические частицы оксида с диаметрами порядка единиц-десятков микрон. Это остатки сгорания фрагментов; (2) Объекты со структурой аэрогеля с габаритным размером до тысячи микрон, состоящие из цепочек первичных оксидных наночастиц (т. н. сферул) с диаметрами в десятки нанометров.

3. Результаты экспериментов

На рисунке 5 в качестве примера представлены результаты траекторных измерения и параметры характерных событий для индивидуальной частицы.

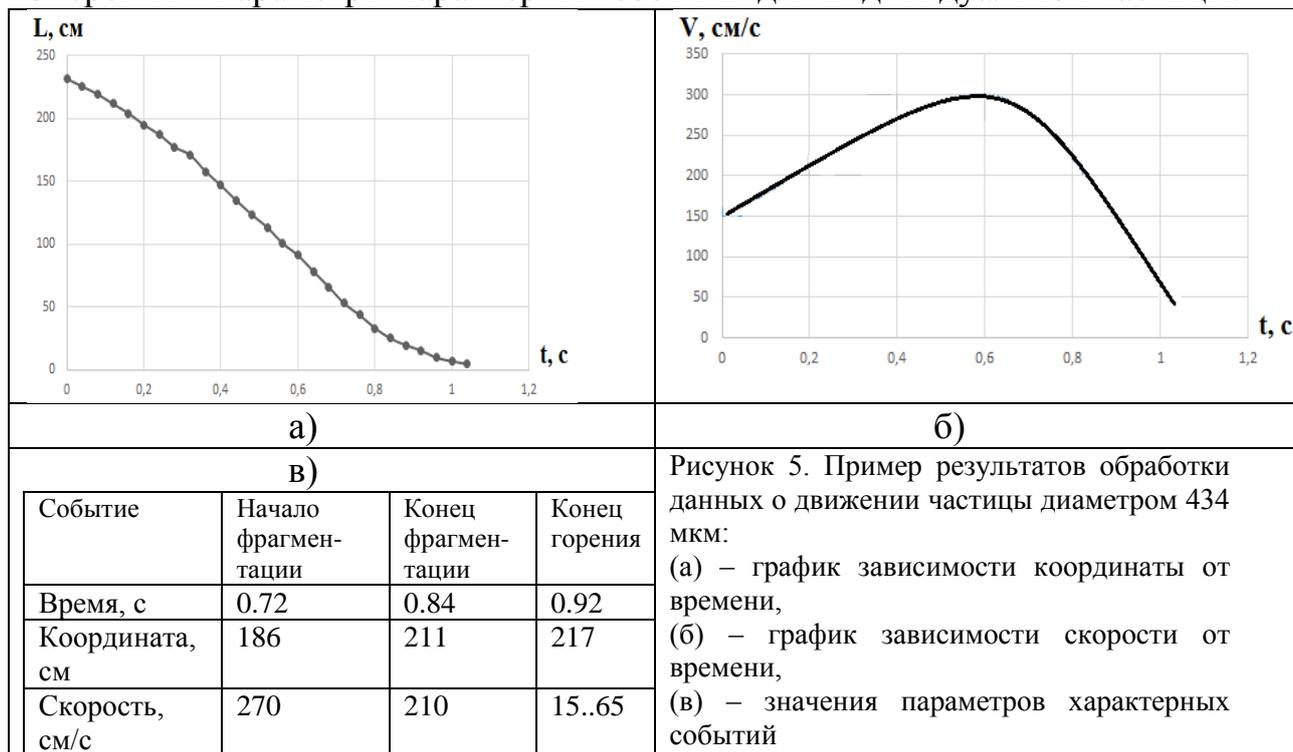


Рисунок 5. Пример результатов обработки данных о движении частицы диаметром 434 мкм:
 (а) – график зависимости координаты от времени,
 (б) – график зависимости скорости от времени,
 (в) – значения параметров характерных событий

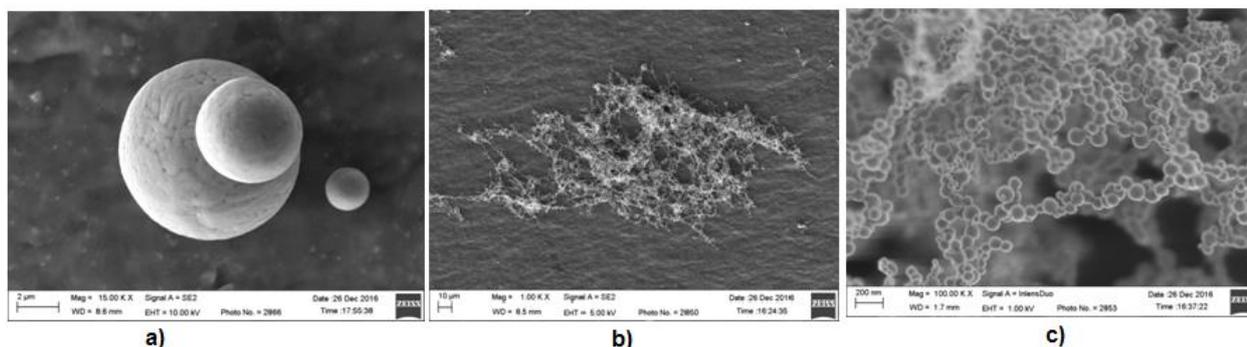


Рисунок 6. Типичные продукты горения. (а) Оксидный остаток диаметром около 250 мкм от материнской частицы с начальным диаметром 393 мкм. (б) Оксидные частицы с диаметрами порядка единиц-десятка микрон – остатки сгорания фрагментов; (с) и (д) Аэрогель из оксидных наночастиц при двух увеличениях. Габаритный размер объекта около 300 мкм.

4. Заключение

Получена информация о характерных временах горения и характеристиках фрагментации монолитных материнских частиц титана диаметром 300–500 мкм. Планируемая задача – количественная характеристика высокодисперсных продуктов горения и фрагментации материнских частиц, в том числе в наноразмерном диапазоне. В экспериментах следует обеспечить максимально полное улавливание частиц-продуктов с тем, чтобы в перспективе хотя бы полуколичественно оценить выход тех или иных продуктов с одной

материнской частицы-источника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков Л. Б. Космический металл. Все о титане. – М: Наука, 1987. – 129 с.
2. Шидловский А. А. Основы пиротехники. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
3. Мержанов А. Г., Сычев А. Е. Осамораспространяющемся высокотемпературном синтезе. <http://www.ism.ac.ru/handbook/shsfr.htm>
4. Weiqiang Pang, Xuezhong Fan, Fengqi Zhao, Huixiang Xu, Wei Zhang, Hongjian Yu, Yonghong Li, Fangli Liu, Wuxi Xie, Ning Yan. Effects of Different Metal Fuels on the Characteristics for HTPB-based Fuel Rich Solid Propellants // Propellants, Explosives, Pyrotechnics. 2013. V. 38. P. 852-859. Weiqiang Pang, Xuezhong Fan, Fengqi Zhao, Huixiang Xu, Wei Zhang, Hongjian Yu, Yonghong Li, Fangli Liu, Wuxi Xie, Ning Yan. Effects of Different Metal Fuels on the Characteristics for HTPB-based Fuel Rich Solid Propellants // Propellants, Explosives, Pyrotechnics. 2013. V.38. P. 852-859.
5. Matias T., Duraes L., Andrade-Campos A., Mendes R. Prediction and experimental Al, Mg, Ti and Zr derived oxides and spinel formation by detonation // 41st Int. Annual Conference of ICT. Energetic Materials for High Performance, Insensitive Munitions and Zero Pollution. Germany, Karlsruhe, June 29 - July 2, 2010. P. 95-1–95-16.
6. Evgeny Shafirovich, Soon Kay Teoh, Arvind Varma. Combustion of levitated titanium particles in air // Combustion and Flame.– 2008. – V.152. P. 262–271.
7. Глотов О. Г., Зарко В. Е., Карасев В. В., Федотова Т. Д., Рычков А. Д. Макрокинетика горения монодисперсных агломератов в факеле модельного твердого топлива // Физика горения и взрыва. – 2003.– Т. 39, № 5. С. 74–85.

INVESTIGATION OF TITANIUM PARTICLES COMBUSTION

*Belousova N. S.*¹, *Glotov O. G.*²

¹ Novosibirsk State Technical University, NSTU

² Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Abstract. The technique for producing the large titanium monolithic burning particles with a diameter of 300-500 microns is developed. The combustion of titanium particles in free fall in air was investigated. The characteristic times for the following events – beginning of fragmentation, end of fragmentation, end of burning, as well as the particle's motion law (including the coordinate and the velocity at the moment when the fragmentation process starts) are defined using the video recording. The size of particle at which the fragmentation picture changes from "star" to "spruce branch" is estimated. The combustion condensed products of particle are sampled and investigated. Three types of products are found: (1) the objects with aerogel structure with overall dimensions up to thousand microns consisting of the oxide spherules chains with an arithmetic mean diameter of spherules ca. 85 nanometers; (2) spherical oxide particles with diameter of units–tens of microns; (3) the spherical residues of mother particles with sizes up to hundreds microns (in the case of fragmentation in spruce branch mode).

Keywords: titanium particle; combustion in air; burning time; law of the motion; fragmentation; condensed combustion products; oxide particles; combustion residues, size distribution, spherules.

ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ О-НУКЛЕОФИЛОВ НА 3-МЕТИЛ-5-ТРИНИТРОМЕТИЛ-ТЕТРАЗОЛО-[1,5- α]-1,3,5-ТРИАЗИН-7-ОН

Заломленков Владимир Александрович, к.х.н., старший преподаватель; Гидаспов Александр Александрович, д.х.н., профессор; Поварова Людмила Викторовна; Степанова Елена Сергеевна; Частухина Кира Дмитриевна; Володина Светлана Николаевна

Самарский государственный технический университет, 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Заломленков В. А., e-mail venom21@rambler.ru

Гидаспов А. А., e-mail xtoca@samgtu.ru

Поварова Л. В., e-mail povarova.luda@yandex.ru

Степанова Е. С., e-mail xtoca@samgtu.ru

Частухина К. Д., e-mail xtoca@samgtu.ru

Володина С. Н., 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

В зависимости от реакционной способности О-нуклеофилов 3-метил-5-тринитрометил-тетразоло-[1,5- α]-1,3,5-триазин-7-он может реагировать либо не реагировать с ними. Достаточно сильные О-нуклеофилы, такие как вода и большинство спиртов, способны к реакциям раскрытия цикла 1,3,5-триазина по связи С7-N8 конденсированной системы тетразоло-[1,5- α]-1,3,5-триазина. Фенолы и тринитроэтанол оказались не способны к такому взаимодействию.

1. Введение

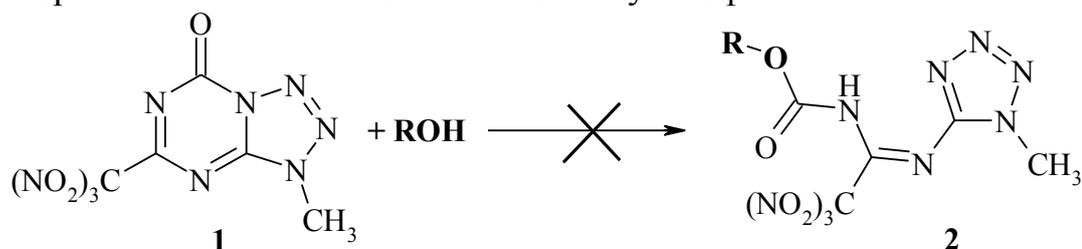
Ранее было показано, что взаимодействие 3-метил-5-тринитрометил-тетразоло-[1,5- α]-1,3,5-триазин-7-она (**1**) с разными О-нуклеофилами: спиртами и фенолами может приводить к продуктам различного характера. Как и в тринитрометил-1,3,5-триазилах тринитрометильная группа в конденсированной системе тетразоло-[1,5- α]-1,3,5-триазин-7-она замещается под действием фенолов в условиях основного катализа (триэтиламино) [1].

Однако взаимодействие **1** со спиртами приводит к другим результатам. При основном катализе гидроортофосфатом натрия кроме замещения тринитрометильной группы на алкоксильную, происходит еще и раскрытие цикла 1,3,5-триазина с образованием алкил-[1-алкокси-((метил-1Н-тетразол-5-ил)имино)мелил]карбаматов [2, 3]. В отсутствие основания взаимодействие **1** со спиртами приводит к продуктам раскрытия – алкил-[1-((метил-1Н-тетразол-5-ил)имино)-2,2,2-тринитроэтил]карбаматов, без замещения

тринитрометильной группы [2, 3].

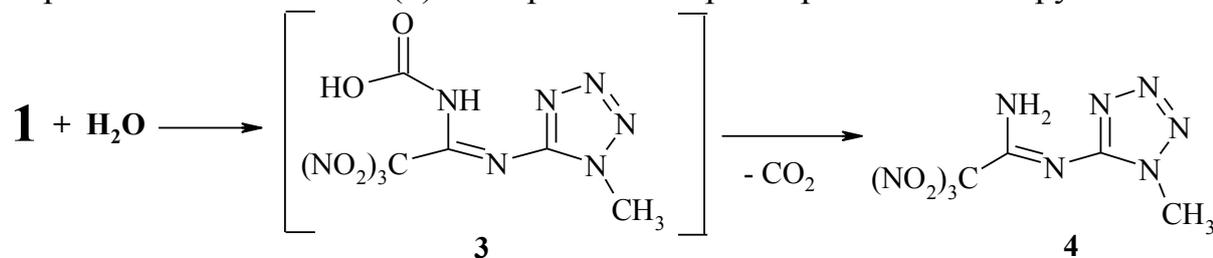
2. Результаты и обсуждение

В настоящей работе нами установлено, что фенолы в отсутствие оснований вообще не взаимодействуют с исходным соединением **1**. По-видимому, это обусловлено тем, что фенолы являются более слабыми нуклеофилами, чем спирты и не способны к нуклеофильной атаке карбонильного атома углерода в тетразола-[1,5- α]-1,3,5-триазин-7-оне **1**. Аналогичные результаты получены и при использовании тринитроэтилового спирта, который также является очень слабым нуклеофилом.



В целях получения нового ВВ также интересно было изучить взаимодействие **1** с водой, т.к. вода является хорошим нуклеофилом и не имеет стерических затруднений.

Нами изучено взаимодействие **1** с водой в среде органических растворителей: ацетона и ацетонитрила. В результате был выделен продукт – N-(1-метилтетразол-5-ил)-тринитроацетимидамид (**4**), образующийся при раскрытии цикла 1,3,5-триазина по связи C7-N8 конденсированной системы тетразола-[1,5- α]-1,3,5-триазина и декарбоксилированием образующейся карбаминовой кислоты (**3**) и сохранением тринитрометильной группы.



Строение продукта **4** было подтверждено данными ИК- и ЯМР-спектроскопии, а также данными рентгеноструктурного анализа.

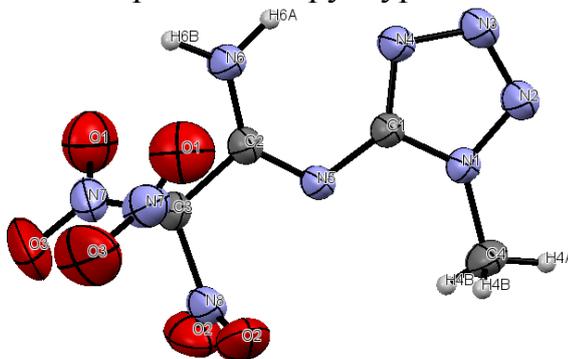


Рис. 1. Молекулярная структура N-(1-метилтетразол-5-ил)-тринитроацетимидама (**4**) по данным РСА в представлении атомов тепловыми эллипсоидами атомных смещений с 50%-ной вероятностью

По данным ^1H ЯМР производное **4** в растворе ацетона находится в виде прототропного таутомера **4б**, на что указывает два сигнала NH протонов одинаковой интенсивности со значениями химических сдвигов 9.54 и 9.19 м. д. (рис. 1). В то время как в кристаллическом состоянии, согласно данным РСА, оно имеет структуру **4а**.

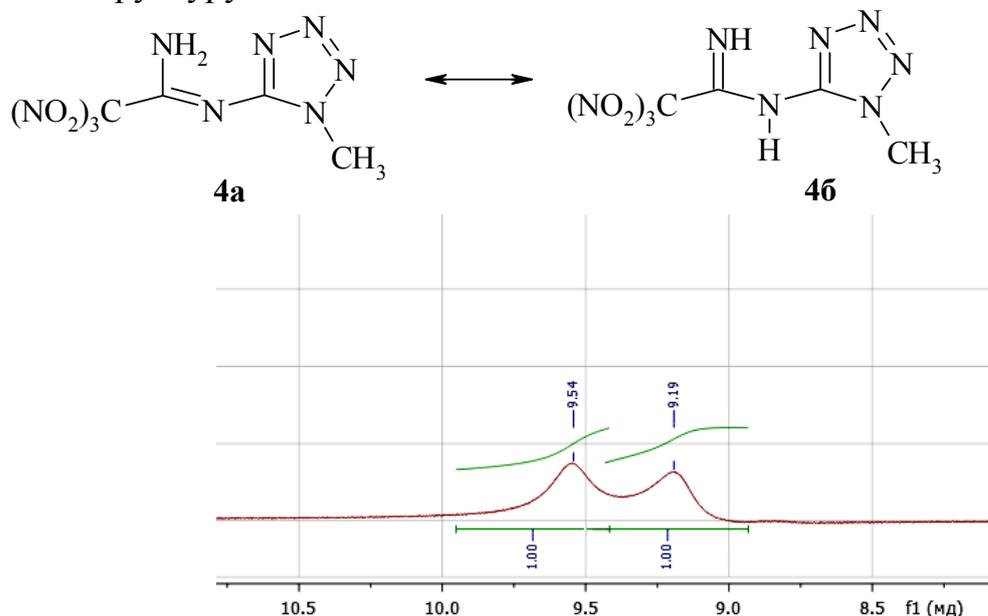


Рис. 2. Сигналы NH протонов в спектре ^1H ЯМР производного **4**

Методом РСА была также определена кристаллическая плотность вещества **4**, которая равна $1,775 \text{ г/см}^3$. По методу аддитивности групповых вкладов была рассчитана энтальпия образования производного **4** [4, 5]: $\Delta H_f^\circ = +1273,8 \text{ кДж/кг}$. По методу А.С. Смирнова [6] были рассчитаны следующие взрывчатые характеристики для плотности монокристалла: $D_{p.m.k.} = 8566 \text{ м/с}$, $Q_{\text{взр.}} = 5304 \text{ кДж/кг}$, $P_D = 31 \text{ ГПа}$, $T_{\text{взр.}} = 4250 \text{ К}$. По рассчитанным данным производное **4** является достаточно мощным ВВ.

Выводы:

1. Изучено взаимодействие 3-метил-5-тринитрометил-тетразоло-[1,5- α]-1,3,5-триазин-7-она с различными О-нуклеофилами. Показано, что относительно слабые нуклефилы такие как фенолы и тринитроэтанол не способны разрывать связь С7-N8 тетразоло-[1,5- α]-1,3,5-триазина с раскрытием цикла 1,3,5-триазина;

2. Показано, что при взаимодействии 3-метил-5-тринитрометил-тетразоло-[1,5- α]-1,3,5-триазин-7-она с водой в среде органических растворителей образуется N-(1-метилтетразол-5-ил)-тринитроацетимидамид. Строение N-(1-метилтетразол-5-ил)-тринитроацетимидамида подтверждено современными методами анализа.

3. Для нового соединения N-(1-метилтетразол-5-ил)-тринитроацетимидамида рассчитаны основные взрывчатые характеристики.

Библиографический список:

1. Федоров Б.С., Утенышев А.Н., Гидаспов А.А., Качановская Е.В., Бахарев В.В., Фадеев М.А., Конденсированные тетразоло-1,3,5-триазины. 2. Реакции алкилирования и нуклеофильного замещения в ряду 5-полинитрометил-тетразоло[1,5- α]-1,3,5-триазин-7-она // Химия гетероциклических соединений. 2005. № 4. С. 582-588.
2. Заломленков В.А, Гидаспов А.А., Бахарев В.В., Парфенов В.Е., Харизина А.М. Раскрытие цикла 1,3,5-триазина в реакциях 3-метил-5-тринитрометил-тетразоло[1,5- α]-1,3,5-триазин-7-она со спиртами // Труды XVII Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона.» (20-22 апреля 2016 г.) - Новосибирск: НГТУ, 2016. – Т.2, С.122-126.
3. Заломленков В.А, Гидаспов А.А., Парфенов В.Е., Бахарев В.В., Харизина А.М., Дрементова Ю.В. Взаимодействие 3-метил-5-тринитрометил-тетразоло [1,5- α]-1,3,5-триазин-7-она со спиртами // Труды Всероссийской научно-технической конференции «Успехи в специальной химии и химической технологии» (18-20 ноября 2015 г.) – М.: РХТУ, 2015. – С.48-50.
4. Сугак Н.Ю., Мочалов С.В. Расчёт взрывчатых характеристик ВВ: учебное пособие / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 106 с.
5. Сунцова М.А. Прогнозирование энтальпий образования новых азотсодержащих высокоэнергетических соединений на основе квантово-химических расчетов: дис. канд. хим. наук: 02.00.04 / МГУ им. М.В. Ломоносова – М.: 2016. - 142 с.
6. Smirnov A.S., Lempert D., Pivina T.S. and Khakimov D.V., Cent. Eur. J. Mater., 2011, 8, 233.

Zalomlenkov Vladimir Alexandrovich, Senior Lecturer, e-mail venom21@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
Povarova Lyudmila Victorovna, student, e-mail povarova.luda@yandex.ru
Stepanova Elena Sergeevna, student, e-mail xtoca@samgtu.ru
Volodina Svetlana Nikolaevna, student, e-mail xtoca@samgtu.ru
Chastukhina Kira Dmitrievna, student, e-mail xtoca@samgtu.ru

Abstract: The O-nucleophiles depending on their reactivity can interact or not interact with 3-methyl-5-trinitromethyl-tetrazolo [1,5- α] -1,3,5-triazin-7-one. Sufficiently strong O-nucleophiles, such as water and most alcohols, can open the cycle of 1,3,5-triazine via the C7-N8 bond of the condensed system of tetrazolo-[1,5- α]-1,3,5-triazine. Phenols and trinitroethanol cannot interact in this way.

К ВОПРОСУ О КРИВИЗНЕ ФРОНТА ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА

*Виноградов Алексей Валерьевич, ст. преподаватель; Зимоглядова
Ольга Алексеевна, студент; Мерзиевский Лев Алексеевич, д. ф.-м.н.,
профессор*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8 (383) 346-27-87

Виноградов А.В., email vinogradov@corp.nstu.ru

Зимоглядова О.А., email zimogldv@rambler.ru

Аннотация

В работе численно моделируется процесс детонации малых цилиндрических зарядов малого диаметра и различной длины из взрывчатого вещества Comp В. Для моделирования используется пакет ANSYS AUTODYN 17.2. Анализируется процесс выхода детонационной волны на стационарный режим, формирование устойчивой кривизны фронта детонации, определяется критический диаметр зарядов.

Ключевые слова: детонация, численное моделирование, кривизна детонационного фронта, стационарный процесс.

Современные представления о стационарной детонации взрывчатых веществ (ВВ) основываются на гидродинамической модели Михельсона – Чепмена - Жуге (МЧГ) и её развитию – модели Зельдовича – Неймана – Дёринга (ЗНД) [1]. Принципиальными в данных моделях являются гипотезы о стационарности процессов и о плоском фронте детонационной волны.

Интерес к моделированию детонации зарядов малого размера связан с тем, что именно такие заряды зачастую используются в экспериментах (например [2]). В этом случае может оказаться, что процесс не является стационарным, в то время, как при обработке результатов экспериментов используются соотношения модели стационарной плоской детонационной волны. Существенное влияние на процесс детонации в зарядах с диаметром, близким к критическому, оказывает кривизна детонационного фронта [3].

Известен ряд экспериментов [4], в которых для зарядов малого диаметра тротила, гексогена и ТГ50/50 кривизна фронта определялась с использованием двух методов: 1) скоростной фотосъемки выхода фронта детонации на торец 2) при помощи контактных датчиков. В первом приближении можно считать фронт детонации частью сферы, тогда величину кривизны удобно характеризовать её радиусом, вычисляемым по экспериментальным данным.

С целью интерпретации результатов экспериментов широко используют численное моделирование, которое дает понимание процессов на более глубоком уровне. Для этого выполнено моделирование в программном пакете ANSYS AUTODYN 17.2. В качестве взрывчатого вещества взят CompBUrtie, модель которого уже использовалась для проведения расчетов процесса

передачи детонации.

Задачей исследования было получить: 1) Выход процесса детонации на стационарный режим (зависимость скорости детонации от пройденного расстояния; эволюция кривизны фронта) полностью соответствующий экспериментальным данным.

На рисунке 1 изображена геометрическая постановка задачи. Моделирование выполнялось для цилиндрических зарядов с диаметрами 20 мм, 15 мм, 13 мм; длиной 50 мм. Для расчетов применялся численный метод SPH, для описания поведения ВВ использовались: модель сопротивления материала фон Мизеса и уравнение состояния Ли-Тарвера. Инициирование детонации осуществляется ударом алюминиевой пластинки со скоростью 2 км/с. На оси зарядов ВВ были расположены датчики (1-8), в которых фиксировалось изменение параметров в зависимости от времени.

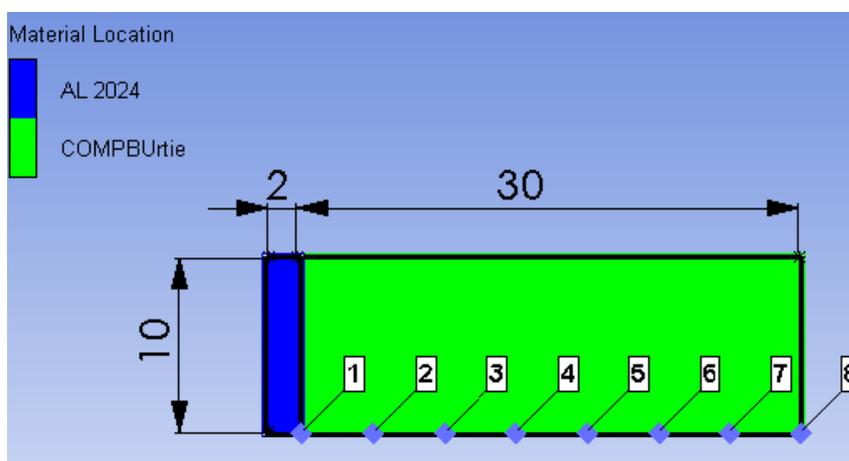


Рис.1. Геометрическая постановка задачи.

Зависимость скорости детонации от пройденного расстояния для заряда с диаметром 20 мм и длиной 50 мм представлена на рис. 2.

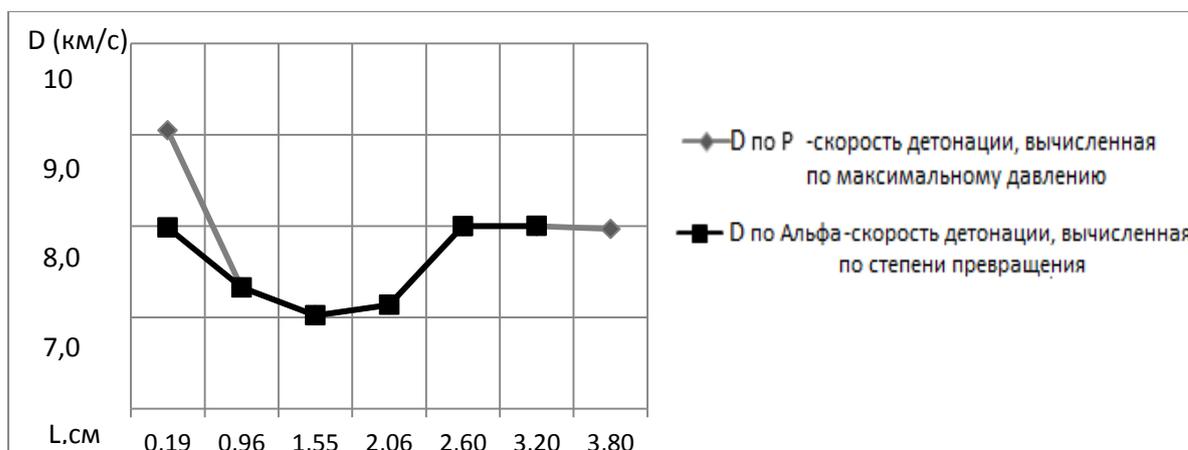


Рис.2. График распределения скорости детонации в зависимости от пройденного расстояния.

На графике (рис.3.) показана форма фронта в зависимости от времени прохождения детонационной волны. По оси x - расстояние от передней точки

фронта, по оси y – радиус заряда от оси.

Выводы, сделанные в ходе выполнения работы можно отождествить с результатом: при детонации заряда $L=50$ $d=20$ расчеты показывают, что на расстоянии $L \geq 30$ мм реализуется практически стационарный режим. Можно считать, что при $L \geq 30$ мм кривизна фронта уже не изменяется.

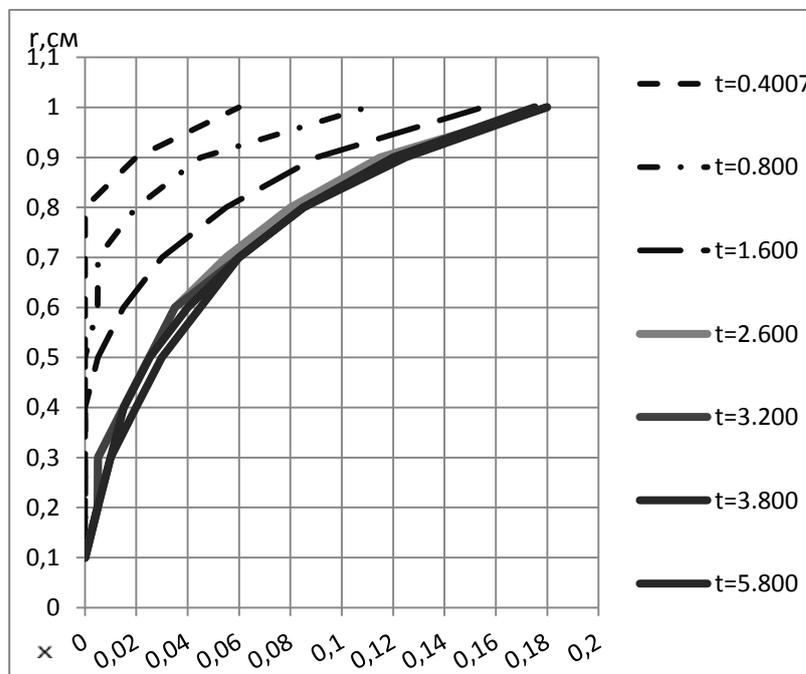


Рис.3. Изменение формы детонационного фронта.

Проведен расчет радиуса кривизны фронта для зарядов с диаметрами 15 мм и 13 мм. Полученные значения величин радиусов приведены в таблице 1.

Таблица 1

$d=15$ мм	Эксперимент.	Расчет.	$d=13$ мм	Эксперимент	Расчет.
Р кривизны, мм	1,28	1,33		1,43	1,36

Выводы, сделанные в ходе выполнения работы можно отождествить с результатом: при детонации заряда $L=50$ $d=20$ расчеты показывают, что на расстоянии $L \geq 30$ мм реализуется практически стационарный режим. Можно считать, что при $L \geq 30$ мм кривизна фронта уже не изменяется.

В сравнении с экспериментальными данными видно, что разница значений составляет не более 10 %

Библиографический список:

1. Физика взрыва / Под. ред. Л.П. Орленко. - 3-е изд., испр. и доп. - В 2т. - М.; ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 1488 с.
2. К. А. Тен, О. В. Евдоков, И. Л. Жогин, и др. Распределение плотности во фронте детонации цилиндрических зарядов малого диаметра. Физика горения и взрыва, 2007, т 43, N 2. С 91--99.
3. М.А. Cook. The science of high explosives. 1958, New York, 440 p.
4. Прууэл Э.Р., Мерзиевский Л.А., Лукьянчиков Л.А., и др. Об измерении кривизны фронта детонации для учета при оценке параметров разлетающихся продуктов. XXII Международная конференция «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество». Сборник докладов. 2007. С 148--149.

TO THE QUESTION OF THE CURVATURE OF THE DETONATION FRONT OF
SMALL-DIAMETER CHAMBERS

Vinogradov Alexey Valeryevich; Olga Zimoglyadova; Merzhievsky Lev Alekseevich

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx
Ave., 20, tel. 8 (383) 346-27-87

Vinogradov AV, email vinogradov@corp.nstu.ru

Zimoglyadova OA, email zimogldv@rambler.ru

Annotation

The process of detonation of small cylindrical charges of small diameter and various lengths from the explosive Comp B is numerically simulated. For modeling, ANSYS AUTODYN package is used 17.2. The process of the detonation wave exit to the stationary regime, the formation of the stable curvature of the detonation front, the critical diameter of the charges are analyzed.

Key words: detonation, numerical simulation, curvature of the detonation front, stationary process.

ИЗУЧЕНИЕ ГОРЕНИЯ ТЭНА В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ, ПОМЕЩЕННОЙ В ГИЛЬЗУ КД-8С

Кожевников Евгений Александрович, ассистент; Гидаспов Александр Александрович, д.х.н., профессор; Янзин Семен Александрович, аспирант; Анисимов Дмитрий Игоревич

Самарский государственный технический университет,
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Кожевников Е.А., e-mail evil_chemist@mail.ru

Гидаспов А.А., Янзин С.А., Анисимов Д.И., e-mail xtoca@samgtu.ru

Адрес для корреспонденции: *Кожевников Евгений Александрович*, Самарский государственный технический университет, 443100, г. Самара, ул.

Молодогвардейская, 244, тел. (846)337-08-89

Аннотация

Экспериментально изучено горение при зажигании ТЭНа в металлической цилиндрической оболочке, помещенной в гильзу КД-8С. Зажигание ТЭНа производилось стандартным электровоспламенителем ЭВ-Ж. Показано, что в ТЭНе горение переходит в ударно-волновые процессы и далее в детонацию, несмотря на разгерметизацию гильзы.

Ключевые слова: переход горения в ударно-волновые процессы, металлическая цилиндрическая оболочка, ТЭН.

1. Введение

На кафедре ХТОСА разработан электродетонатор повышенной безопасности (ЭД-ПБ) без инициирующих взрывчатых веществ [1-5]. Конструкция ЭД-ПБ приведена на рис.1.

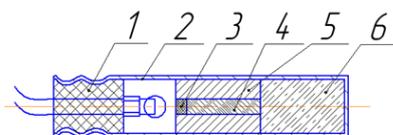


Рис. 1. Конструкция ЭД-ПБ: 1 – электровоспламенитель (ЭВ), 2 – гильза, 3 – воспламенительный состав, 4 – инициирующий заряд ТЭНа, 5 – металлическая цилиндрическая оболочка (МЦО, длина – 20 мм, внешний диаметр 6,4 мм, внутренний диаметр – 2,9 мм), 6 – основной заряд БВВ (гексоген).

В ЭД-ПБ инициирующее взрывчатое вещество (ИВВ) заменено металлической цилиндрической оболочкой (МЦО), имеющей длину 20 мм, внешний диаметр 6,4 мм (равный внутреннему диаметру гильзы КД-8С) и внутренний диаметр 2,9 мм, снаряженной бризантным взрывчатым веществом ТЭНОм. Принцип действия ЭД-ПБ основан на возбуждении детонации основного заряда БВВ – гексогена детонационным импульсом, полученным от инициирующего заряда ТЭНа в МЦО. В МЦО происходит

процесс перехода возбуждаемого электровоспламенителем (ЭВ) горения ТЭНа в детонацию [1-6].

2. Методика экспериментального исследования

Методология опытов заключалась в следующем (рис.3). В экспериментах исследовалось зажигание от ЭВ и горение ТЭНа в МЦО, помещенной в гильзу КД-8С. Увеличивая от опыта к опыту количество ТЭНа (уменьшая количество NaCl), фиксировали характер разрушения гильзы и МЦО.

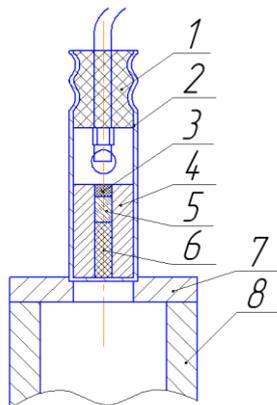


Рис. 3. Схема экспериментов по изучению зажигания и горения ТЭНа в условиях МЦО: 1 – ЭВ, 2 – гильза, 3 – МЦО, 4 – безгазовый воспламенительный состав (20 мг), 5 – ТЭН, 6 – NaCl, 7 – свинцовая пластина с отверстием, 8 – отрезок трубы.

Изготовление изделия включает две операции. Первая - снаряжение МЦО, и вторая – изготовление изделия. Снаряжение МЦО проводилось путем порционного прессования. В опыте №1 (см. табл. 1) в МЦО последовательно засыпались навески – 20 мг воспламенительного состава ТСС (25% титан, 75% свинцовый сурик) для равномерности зажигания ТЭНа + 20 мг ТЭНа и запрессовывались в одно прессование при удельном давлении 425 атм. Оставшееся свободное пространство в МЦО заполнялось навеской NaCl, в несколько приемов. Каждая порция NaCl подпрессовывалась от руки так, чтобы NaCl не высыпался из МЦО при легком постукивании по ней. В остальных опытах (см. табл. 1) в МЦО увеличивалось количество навесок ТЭНа. Оставшееся свободное пространство после запрессовки ТЭНа в МЦО заполнялось в несколько приемов хлористым натрием, как отмечено выше. В опыте №8 (см. табл.1) МЦО была полностью заполнена ТЭНом. Снаряжение изделия проводилось следующим образом. МЦО с натягом запрессовывалась в гильзу КД-8С длиной 50 мм при удельном давлении 1100 атм, в дульце гильзы вводился ЭВ и закреплялся в нем при помощи специального обжимного устройства. Испытания изделий проводились в подрывной кабине на свинцовой пластине с отверстием диаметром 6,1 мм, чтобы не создавать препятствия для выбивания донца гильзы (см. рис. 3). Для проверки воспроизводимости результатов проводилось по 5 экспериментов для каждой навески ТЭНа.

3. Экспериментальные результаты и обсуждение

Результаты экспериментов обобщены в табл. 1. В табл.1 приведен типичный характер разрушения МЦО и гильзы КД-8С при увеличении навески ТЭНа и

комментарии, описывающие опыты. Несмотря на разгерметизацию гильзы, ускорение горения ТЭНа по мере увеличения навески приводит сначала к ударно-волновым, а затем и к детонационным процессам. Описанные в настоящей работе закономерности ранее [1-6] просто констатировались по факту полной детонации основного заряда ЭД-ПБ.

Таблица 1

Результаты испытаний ТЭНа в МЦО

№ п/п	Масса ТЭНа в МЦО, г	Характер разрушения гильзы КД-8С после испытаний	Комментарий
1	0,02		Гильза и пробочка ЭВ остаются без изменений.
2	0,03		Продукты сгорания выбивают пробочку ЭВ, гильза остается без изменений.
3	0,04		Верхняя часть гильзы разрушена продуктами горения ТЭНа, нижняя часть гильзы без изменений.
4	0,06		Верхняя часть гильзы разрушена, донце гильзы практически оторвано. Процесс конвективного горения распространяется и ускоряется в МЦО независимо от того, что верхняя часть гильзы разрушена. Продукты конвективного горения выдавливают NaCl и донце гильзы.
5	0,09		Верхняя часть гильзы разрушена, донце гильзы выбито. МЦО раздута примерно на 0,7 мм в диаметре, что свидетельствует о возникновении в МЦО ударно-волновых процессов.
6	0,12		Верхняя часть гильзы разрушена, донце гильзы выбито. МЦО раздута примерно на 1,4 мм в диаметре, что свидетельствует о развитии в МЦО ударно-волновых процессов.
7	0,14		Гильза разрушена полностью. МЦО раздута примерно на 1,8 мм в диаметре, что свидетельствует о развитии в МЦО высокоскоростных ударно-волновых процессов.
8	0,2		Гильза разрушена полностью. МЦО имеет характерный целый участок, остальная ее часть дробится на мелкие фрагменты, что говорит о прохождении в МЦО детонационных процессов.

3. Выводы

Совокупность физико-химических и взрывчатых свойств ТЭНа такова, что горение ТЭНа в условиях МЦО с открытым торцом способно ускоряться до возникновения ударно-волновых процессов, переходящих в детонацию. Проведенные исследования служат обоснованием применения ТЭНа в качестве инициирующего заряда в МЦО в конструкции ЭД-ПБ вместо ИВВ, что и было экспериментально ранее показано в работах [1-6]. Кроме того, описанные эксперименты, проведенные без использования дорогостоящего оборудования, согласуются с фундаментальными работами по изучению перехода горения БВВ, помещенного в МЦО, в детонацию [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Е.А., Гидаспов А.А., Постнов С.И., Рекшинский В.А. Разработка электродетонатора мгновенного действия для взрывных работ в нефтегазовой промышленности. 1. Обоснование и экспериментальная проверка конструкции. Вестник СамГТУ – Технические науки. – 2012. №2 (34). С. 190-196.
2. Постнов С.И., Кожевников Е.А., Гидаспов А.А., Рекшинский В.А. Разработка конструкции электродетонатора мгновенного действия повышенной безопасности для взрывных работ в нефтегазовой промышленности. 2. Повышение эффективности действия и безопасности конструкции. Вестник СамГТУ – Технические науки. – 2013. №4 (40). С. 186-192.
3. Кожевников Е.А., Гидаспов А.А., Постнов С.И., Рекшинский В.А. Капсюли-детонаторы повышенной безопасности. Труды X Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона». Новосибирск, 2009. С. 166-167.
4. Кожевников Е.А., Гидаспов А.А., Постнов С.И., Янзин С.А. Усовершенствование металлической цилиндрической оболочки электродетонатора повышенной безопасности. Труды XVII Всероссийской научно-технической конференции «Наука. Промышленность. Оборона». Новосибирск, 2016. С. 66-70.
5. Постнов С.И., Рекшинский В.А., Гидаспов А.А., Кожевников Е.А., Трохин О.В. Патент RU 2413166 С1, Российская Федерация, МПК F42В3/10. Капсюль-детонатор на основе бризантного взрывчатого вещества. Приор. 07.09.2009, опубл. 27.02.2011. Бюл. № 6.
6. 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.
7. Сулимов А.А., Ермолаев Б.С. Квазистационарное конвективное горение в энергетических материалах с низкой пористостью. Журнал «Химическая физика», 1997, т.16, №9, с. 51-72.

THE STUDY OF PETN DEFLAGRATION IN METAL CYLINDRICAL CONFINEMENT SET INTO KD-8S BLASTING CAP SHELL

Kozhevnikov Evgeniy Alexandrovich, Assistant, 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

Gidasov 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

Yanzin Semen Alexandrovich, Ph.D. student, 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

Anisimov Dmitriy Igorevich, student, 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

Abstract:

The deflagration of PETN in metal cylindrical confinement which was set into KD-8S blasting cap shell was experimentally studied. The PETN was ignited with the standard EV-Zh electric match. It was shown that the deflagration to detonation transaction happens in PETN although the shell is already depressurized.

Keywords: deflagration-to-detonation transaction, metal cylindrical confinement, PETN.

СЕКЦИЯ: РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

УДК 621.396

РАСЧЕТ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Верёвкина Евгения Владимировна, студент; Непомнящая Виктория Владимировна, студент; Ромодин Валерий Борисович, канд. техн. наук, доцент; Шебалкова Любовь Васильевна, старший преподаватель

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (+7913)005-48-19

Верёвкина Е. В. e-mail: verevkina95@inbox.ru

Непомнящая В.В., e-mail: nepomnyashchayav@inbox.ru

Шебалкова Л.В. e-mail: shebalkova@corp.nstu.ru

Ромодин В.Б., e-mail: romodin@ngs.ru

Адрес для корреспонденции: Верёвкина Евгения Владимировна, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (+7383)346-26-23

Аннотация: В данной работе представлены результаты проектирования микрополосковой антенны для малогабаритного радиолокатора с синтезированной апертурой. Приведены расчеты геометрических параметров излучателей, 3D-модель антенной решетки и результаты моделирования.

Ключевые слова: антенна, антенная решетка, РСА

Введение

На сегодняшний день большой интерес представляют антенны, которые позволяют решать задачи с очень противоречивыми требованиями к электродинамическим, аэродинамическим, габаритным, весовым, конструктивным и экономическим показателям. Микрополосковая антенна изготавливается по интегральной технологии, имеет легкий вес, низкую стоимость, удобную плоскую конструкцию. Из-за дешевизны и надёжности конструкции МПА нашли широкое применение в мобильной связи и аэрокосмической технике[2-3].

В конце 2008 года Компания ImSAR ввела в эксплуатацию миниатюрный радар с синтезированной апертурой весом два фунта (около

0,9 кг) и (рис.1.). В настоящее время мелкосерийные SAR радары весят около 30 фунтов (13,60 кг). Компания ImSAR заменила тяжелую металлическую волноводно-щелевую антенну печатной антенной, тем самым значительно уменьшила вес радара SAR. Печатная плата выполнена из стекловолокна, такая технология используется на платах портативных компьютеров и мобильных телефонов. В работе приведены результаты проектирования аналогичной антенны.

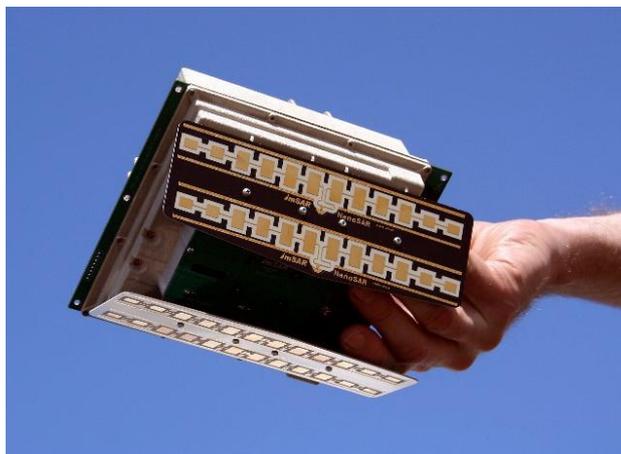


Рис. 1. NanoSAR – самый маленький радар с синтезированной апертурой в мире

Выбор материала и исходных параметров антенной решетки

Принципиальным моментом является выбор материала для изготовления излучающих элементов и схемы питания антенны, при этом необходимо учитывать требования, предъявляемые к материалу:

- малые потери;
- высокая механическая прочность, теплоемкость, однородность материала, устойчивость параметров во времени, малая гигроскопичность;
- возможность изготовления листов фольгированного материала требуемого размера.

Подходящим является материал Arlon AD260A со значением относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon = 2,6$.

Расчет геометрических параметров излучателей

Выберем значение волнового сопротивления питающей линии $Z_0 = 50 \text{ Ом}$.

Зададимся количеством излучателей ($2N=12$), уровнем боковых лепестков ($SLL= -20$) и, используя полином Чебышева, найдем токи и проводимости для четного количества излучателей ($2N$):

$$I_m = \sum_{k=m}^N (-1)^{N-k} * \frac{A^{2k-1} * (2N - 1) * (k + N - 2)!}{(k - m)! (k + m - 1)! (N - k)!} ,$$

где A – параметр, определяющий уровень боковых лепестков и ширину луча при известном числе излучателей; $m = 1, 2 \dots , N$.

$$A = ch \left(\frac{1}{p} * \operatorname{arch} \frac{1}{q} \right),$$

где p – степень полинома Чебышева, q – уровень боковых лепестков [1].

Проводимости найдем по формуле: $g = \frac{I^2}{\Sigma I^2}$.

Ширина излучателя a связана с проводимостью g соотношениями:

$$g = 2G_{11}Z_0;$$

$$G_{11} = \frac{1}{120*\pi^2} * \int_0^\pi \left(\frac{\sin(\pi a_{eff} * \cos\theta * \frac{f_u}{c})}{\cos\theta} \right)^2 (\sin\theta)^3 d\theta;$$

$$a_{eff} = a \left(1 + \frac{h}{a} * \left(1.393 + 0.667 * \ln \left(\frac{a}{h} + 1.444 \right) \right) \right),$$

где G_{11} – собственная проводимость, a_{eff} – эффективная ширина микрополосковой линии, f_u – рабочая частота, c – скорость света, h – толщина подложки[5].

Таблица 1

Результаты расчетов токов I , проводимостей g и ширины излучателей a

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	0.713	0.553	0,709	0,845	0,946	1	1	0,946	0,845	0,709	0.553	0.713
g	0,064	0,039	0,064	0,091	0,114	0,127	0,127	0,114	0,091	0,064	0,039	0,064
a	5,8	4,2	5,8	7,2	8,3	8,8	8,8	8,3	7,2	5,8	4,2	5,8

Длину излучателя вычисляем по формуле:

$$b \cong (0.48. .0.49) * \lambda_0 / \sqrt{\varepsilon}, \text{ где } \lambda_0 \text{ – длина волны.}$$

$$b \cong 9$$

При максимальной рабочей частоте толщина подложки должна

удовлетворять условию:

$$h \leq \frac{0.3c}{2\pi f_u \sqrt{\varepsilon_r}} [4].$$

$h = 0.888$, примем $h = 0,5$ мм (Рис. 2.)

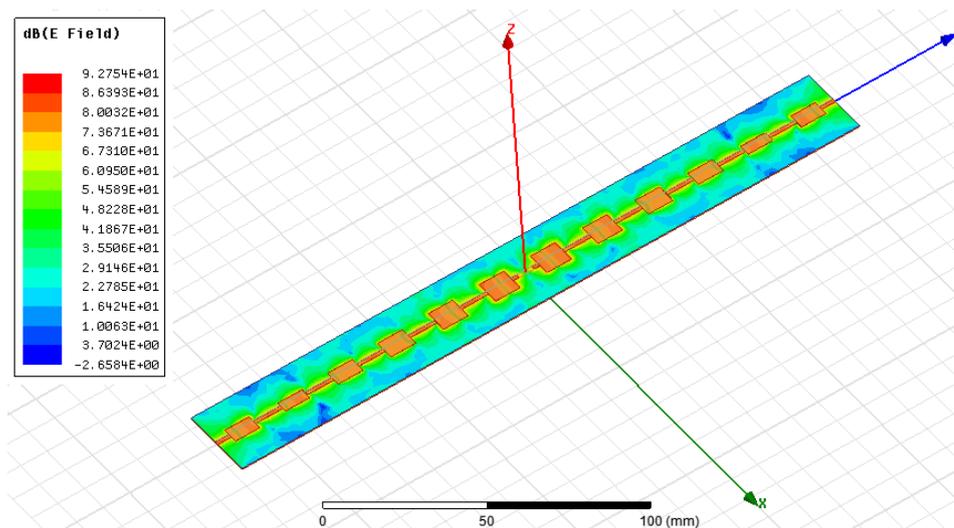


Рис. 2. 3D-модель микрополосковой антенной решетки

Результаты и обсуждение

Коэффициент усиления данной антенной решетки составляет 11 дБ. Объемная диаграмма направленности антенны представлена на рис. 3.

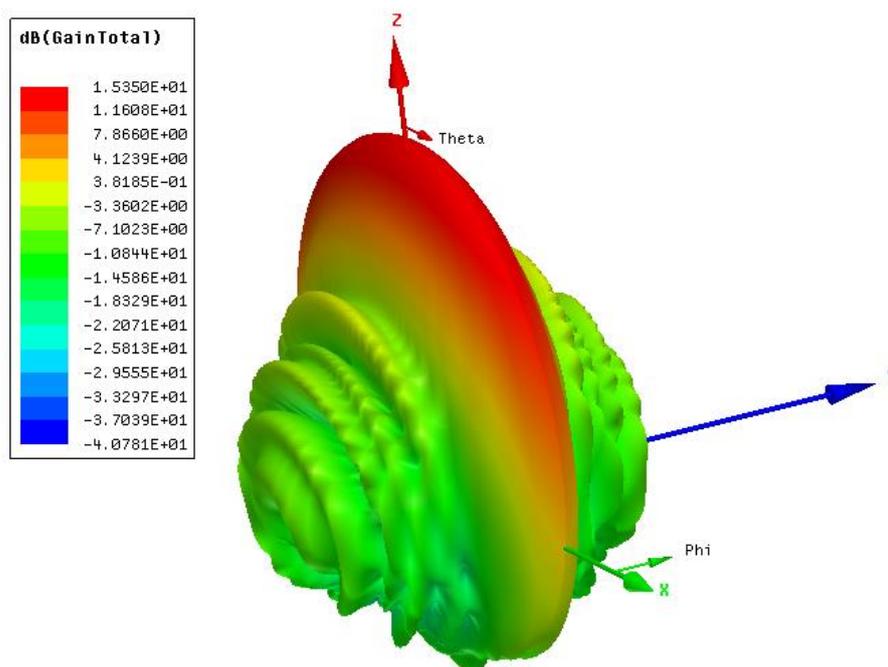


Рис. 3. Объемная диаграмма направленности

Ширина главного лепестка $8,5^\circ$. Уровень боковых лепестков составляет -18 дБ, что считается довольно хорошим показателем для высоконаправленной антенны (рис. 4.)

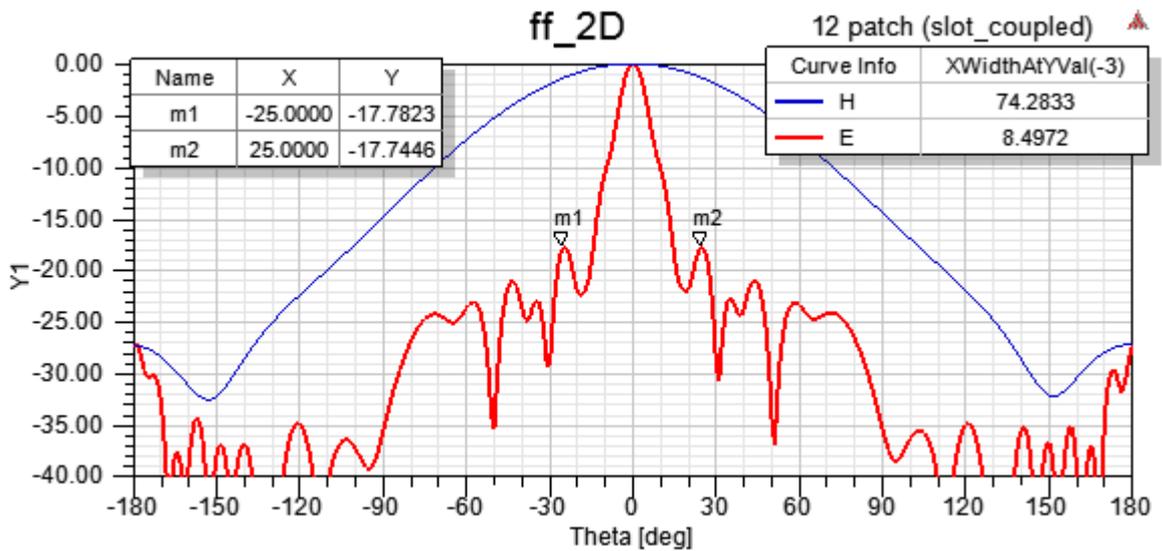


Рис. 4. Сечение нормированной диаграммы направленности в плоскостях E и H

Из графика зависимости коэффициента отражения от частоты (рис. 5) можно определить рабочую полосу частот по уровню -10 дБ: 9,85–10,65 ГГц. В точке, соответствующей частоте 10 ГГц лучшее значение коэффициента отражения -23,5 дБ, в этой точке КСВ равен 1,15.

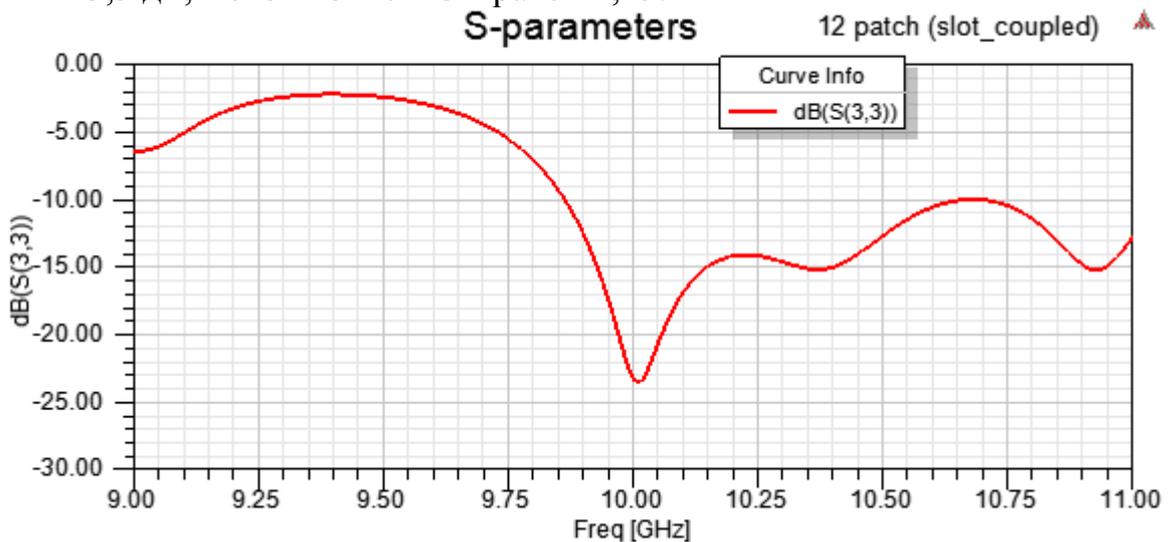


Рис. 5. Коэффициент отражения

Разработанная антенна может быть использована в различных мобильных приложениях, в том числе в малогабаритных SAR.

Библиографический список:

1. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и их излучающих элементов. Под редакцией профессора Воскресенского Д. И. Учебное пособие для вузов. М. Изд-во «Советское радио», 1972, стр. 320.
2. Шебалкова Л. В. Информативные параметры микроволновых систем контроля // В сборнике: НАУКА. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. ОБОРОНА. Сборник научных трудов в 2 частях. 2015. С. 870-874.

3. Ramesh G., Prakash B., Inder B., Apisak I. «Microstrip antenna design handbook», Artech House, Boston, London, 2001.
4. Robert A. Sainati «CAD of microstrip antennas for wireless applications», Artech House, London, 1998.
5. William F. Richards «Microstrip Antennas», Chapter 10 in Antenna Handbook: Theory Applications and Design (Y.T. Lo and S.W. Lee, eds.), Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1988.

SAR MICROSTRIP ANTENNA ARRAY WITH SERIAL FEEDING

Verevkina Evgenia Vladimirovna
Student, e-mail, verevkina95@inbox.ru
Nepomnyashchaya Viktoria Vladimirovna
Student, e-mail, nepomnyashchayav@inbox.ru
Shebalkova Lyubov Vasilievna,
Senior Lecturer, e-mail, shebalkova@corp.nstu.ru
Novosibirsk State Technical University,
Romodina Valery Borisovich
Associate Professor, Ph.D., e-mail, romodin@ngs.ru
Novosibirsk State Technical University,
20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Annotation – The design results of low-weight SAR microstrip antenna array are discussed in this article. The radiator's dimensions, 3D antenna array model, and frequency domain simulation are presented.

Keywords – antenna, antenna array, SAR

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ НАВЕДЕНИЯ КРЫЛАТЫХ РАКЕТ

Веремчук Оксана Леонидовна, студентка
Исаков Дмитрий Сергеевич, студент
Гольдберг Михаил Аркадьевич, старший преподаватель
Легкий Владимир Николаевич, доктор техн. наук, зав. каф. АИУС,

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20

Веремчук О.Л., e-mail okveremchuk@gmail.com

Исаков Д.С., e-mail dmitrij.isakoff2012@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет 630073, Россия, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20

Аннотация:

Одним из основных видов высокоточного орудия являются крылатые ракеты, задачами которых являются поражение наземных и надводных объектов обычными (осколочно-фугасными или кумулятивными боеприпасами), или ядерными боеприпасами. При разработке крылатых ракет (КР) необходимо обеспечить заданную дальность стрельбы, заданную точность наведения высокую техническую надежность, высокую защищенность от воздействия средств ПВО и РЭБ противника. Современные крылатые ракеты относятся к категории «высокоточное оружие», они могут быть разделены на тактические крылатые ракет (ТКР, дальность стрельбы до 300 – 500 км), и стратегические крылатые ракеты (СКР, дальность стрельбы до 5000 – 7000 км.). Крылатые ракеты могут запускаться с наземных установок (автомобильных, железнодорожных), морских установок, универсальных контейнерных установок, с самолетов.

Современные КР оснащены системами управления, которые решают три основные задачи: вывод в заданный район, распознавание целей, распределение целей между ее атакующими ракетами (т.е. задачу целеуказания), наведение каждой ракеты на заданную цель, противодействие средствам РЭБ противника. Для современных крылатых ракет применяются следующие системы наведения: инерциальные и астронавигационные системы выведения КР в нужный район, системы «распознавания образов» для выделения объектов поражения на фоне местных предметов и предметов маскировки объектов поражения, системы телеуправления и самонаведения на выбранные(назначенных в результате целеуказания) цели. Системы самонаведения бывают нескольких видов: радиотехнические, инфракрасные, звуковые и оптические. Каждая из этих систем самонаведения, используя

соответствующий вид энергии, излучаемой целью, может быть активной, полуактивной или пассивной.

Ключевые слова: высокоточное оружие, система управления, наведение на цель, распознавание образов, траектория, стабилизация полета, виды систем.

1. Введение

Анализ результатов современных войн и военных конфликтов позволяет сделать вывод о том, что решающую роль в решении военных задач сыграло высокоточное оружие (ВТО). Характер разработок и применения ВТО показывает, что одним из основных его видов являются крылатые ракеты (КР), использующие различные способы наведения [1].

Прототипом современных крылатых ракет является крылатая ракета FZG-76/V-1, состоявшая на вооружении армии Германии в середине Второй мировой войны. Система управления представляла собой автопилот на базе гиросtabilизированной платформы, удерживающий ракету на заданном при старте курсе и высоте в течение всего полета, а анемометр отслеживал расстояние до цели. Наведение на цель выполнялось перед стартом по магнитному компасу, который входит в состав системы управления [2]. В то время точность наведения КР (определяется величиной среднеквадратичного отклонения) составляла несколько километров при дальности пуска до 80 км, что позволяло при достаточно мощных боевых частях осколочно-фугасного действия буквально терроризировать население Великобритании при частых ударах (по Великобритании за годы второй мировой войны было выпущено около 8000 КР типа ФАУ-1 и ФАУ-2).

До середины 60-х годов путем настойчивого совершенствования КР, удалось достигнуть точности стрельбы до нескольких сотен метров и дальности стрельбы до нескольких сот километров.

В настоящее время современные КР (например, американские крылатые ракеты «Томагавк» и российские крылатые ракеты «Калибр») – это сверхзвуковые и гиперзвуковые летательные аппараты, оснащенные эффективными и постоянно развивающимися информационными управляющими системами, позволяющие при дальностях пуска в несколько сот километров обеспечивать СКО до 0,2 – 0,5 м. (ракета попадает в открытый люк танка или же влетает в трубу ТЭЦ), а при стрельбе до 5000 км. СКО составляет 1 – 1,5 м. (например, американские «Томагавки» попадали точно в центр защищенных ангаров для самолетов сирийских ВВС и складских помещений, а Российские «Калибры» попадали в середину колон из 3-4 машин группировок ИГИЛ или же попадали точно в середину заглубленных командных пунктов).

2. Классификация систем управления

Система управления - совокупность компонентов, которые определяют положение ракеты в пространстве относительно цели, выполняют расчет нужной траектории полета (т.н. «кинематической траектории») и удерживают

ракеты на траектории- заставляют двигаться в итоге по оптимальной т.н. «динамической траектории», близкой к кинематической [3].

В процессе полета крылатой ракеты современная система управления решает основные задачи:

- наведение на цель – это способ управления, при котором ракетам задаются параметры движения, выводящие их к объектам противника, намеченным для поражения [4].
- стабилизация полета – это учет влияния внешних и внутренних возмущений, и их компенсация с учетом предельно допустимых значений (допустимых для данной ракеты) [5].
- распознавание и выбор целей для поражения;
- преодоление системы ПВО противника;
- преодоление противодействия системы РЭБ противника;
- управление расходом топлива - обеспечение максимально эффективного расхода топлива и полного выгорания компонентов (горючего и окислителя) [5].

Для наведения КР на заданные цели применяются системы выведения КР в заданный район, системы распознавания и выбора целей, и системы самонаведения на назначенную цель.

3. Системы вывода КР в заданный район

Их можно условно разделить на внутренние (инерциальные) системы вывода, внешние (астронавигационные) системы вывода, комбинированные системы вывода.

Инерциальные системы вывода (ИСВ) применялись, как основные системы до начала 80-х годов прошлого века и постоянно совершенствовались с момента своего создания в Германии (середина 30-х годов 1900в.). Основой ИСВ являются гиросtabilизированные платформы (первоначально основанные на аналоговых электромеханических устройствах - гироскопах, датчиках линейных ускорений, а затем - на лазерных кольцевых гироскопах и различных аналогово- цифровых и цифровых устройствах), бортовые акселерометры(измерители скорости) и одометры(измерители расстояний), бортовые высотомеры . В автопилот КР закладывается т.н. «маршрутная карта », в которой посекундно записывается положение осей ракеты в пространстве, ее скорость и высота (при этом с помощью платформы фиксируется начальное положение осей ракеты в момент старта). «Кинематическая» (т.е расчетная траектория) полета, которая сегодня может быть разработана на большое количество потенциальных целей и введена для конкретной цели за несколько секунд до старта КР (наземным или корабельным расчётом установки запуска КР, штурманом - оператором бортового оружия бомбардировщика). Кроме этого, могут встраиваться «карты профилей местности», которые позволяют сравнивать реальную карту местности с заложенной и тем самым корректировать полет КР.

Достоинством инерциальных систем выведения является высокая помехозащищённость и независимость от функционирования внешних

(наземных, воздушных и космических объектов) информационных объектов инфраструктуры наведения, а основным недостатком - сравнительно невысокая точность при накоплении ошибок по мере полета КР.

Астронавигационные системы вывода работают на основании систем глобального геопозиционирования (например, GPS для стран военного блока НАТО или «Глонас» для стран ОДКБ), которая включает в себя спутниковые и наземные составляющие. Основным достоинством астронавигационных системы является более высокая точность наведения, а основными недостатками являются подверженность влиянию внешних помех, поставленных противником, и зависимость от функционирования внешних объектов инфраструктуры.

Комбинированные системы выведения позволяют использовать достоинства обеих систем выведения при снижении влияния их недостатков. При этом по ситуации возможно переключение с одной системы выведения на другую (например, при сложной помеховой обстановке или выходе из строя части внутренней или внешней системы вывода).

Система самонаведения — совокупность устройств, предназначенных для автономного вывода метательного снаряда на цель и минимизации отклонения от неё без участия экипажа или внешних средств управления.

На борту ракеты устанавливается специальная система управления, которая определяет свое положение относительно цели с помощью электромагнитных колебаний (радиоволны, видимые световые и невидимые инфракрасные лучи) и автоматически наводится на нее.

Системы самонаведения подразделяются на: радиотехнические, инфракрасные (тепловые), звуковые и оптические. Каждая из этих систем самонаведения, используя соответствующий вид энергии, излучаемой целью, может быть активной, полуактивной или пассивной.

Активные системы самонаведения помимо приёмника обладают и передатчиком (излучателем) - устройством, излучающим зондирующие сигналы и облучающим ими цель. Датчик в этом случае настроен для приёма отражённых от цели эхо-сигналов. Под полуактивным самонаведением понимают такую систему управления, когда цель облучается источником энергии, установленным вне ракеты, а отраженная от цели энергия принимается приемником ракеты. Пассивные системы используют энергию, непосредственно излучаемую целью [3].

4. Этапы разработки крылатых ракет

Первая боевая крылатая ракета FZG-76/V-1

Первой боевой крылатой ракетой была немецкая FZG-76/V-1, более 8000 которых было применено, причем, в основном, по целям в Великобритании.

Если судить по современным меркам то ее система навигации была достаточно примитивной: автопилот на базе гироскопа выдерживал курс, а анемометр расстояние до цели. Ракета выставилась по намеченному курсу перед запуском и на ней выставилось расчетное расстояние до цели и как только одометр указывал, что ракета находится над целью, автопилот уводил её

в крутое пикирование. Ракета обладала точностью в около мили и этого было достаточно для бомбардировки крупных городских целей, таких как Лондон.

Главной целью бомбардировок было терроризирование гражданского населения и отвлечение воинских сил Великобритании от наступательных операций, и направление их на выполнение задач ПВО.

Первая американская крылатая ракета JB-2 - копия немецкой V-1

В непосредственно послевоенный период США и СССР воссоздали V-1 и начали развитие своих собственных программ крылатых ракет. Первое поколение театра военных действий и тактического ядерного оружия вызвало создание крылатых ракет серии Regulus ВМС США, серии Mace/Matador ВВС США и советских серий Комета КС-1 и Комета-20 и дальнейшего развития технологии навигации. Все эти ракеты первоначально используют автопилоты на основе точных гироскопов, но также возможности корректировки траектории ракеты по каналам радиосвязи так, что ядерная боеголовка могла быть доставлена как можно точнее. Промаха в сотни метров может быть достаточно, чтобы уменьшить избыточное давление, произведенное ядерной боеголовкой, было ниже летального порога укрепленных целей. В 1950-х годах на вооружение поступили первые конвенциональные послевоенные тактические крылатые ракеты, прежде всего в качестве противокорабельного оружия. В то время как на маршевом участке траектории наведение продолжалось на основе гироскопа, а иногда и корректировалось по радиосвязи, точность наведения на конечном участке траектории обеспечивалась ГСН с РЛС малой дальности действия, полуактивной на самых ранних версиях, но вскоре вытесненной активными радаром. Ракеты этого поколения летят на средних и больших высотах, при атаке пикируя на цель.

Межконтинентальная крылатая ракета «Northrop SM-62 Snark»

Следующий важный этап в технологии навигации крылатых ракет последовал с принятием на вооружение межконтинентальных крылатых ракет наземного базирования Northrop SM-62 Snark, предназначенных для автономного полета над полярными регионами для атаки крупными ядерными боеголовками целей на территории Советского Союза.

Межконтинентальные расстояния представили перед конструкторами новый вызов - создать ракету способную поражать цели на расстоянии в десять раз больше, чем это могли сделать более ранние версии крылатых ракет. На Snark была установлена надлежащая инерциальная навигационная система использующая гиростабилизированную платформу и точные акселерометры для измерения движения ракеты в пространстве, а также аналоговый компьютер используемый для накопления измерений и определения положения ракеты в пространстве. Однако вскоре выявилась проблема, дрейф в инерциальной системе был слишком велик для оперативного использования ракеты, а ошибки инерциальной системы позиционирования оказались кумулятивными - таким образом, погрешность позиционирования накапливалась с каждым часом полета.

Решением этой проблемы стало другое устройство, предназначенное для

выполнения прецизионных измерений географического положения ракеты на траектории её полета и способное исправить или "привязать" ошибки генерированные в инерциальной системе. Это фундаментальная идея и сегодня остается центральной в конструкции современного управляемого оружия. Так, накопленные ошибки инерциальной системы периодически сводятся к ошибке позиционного измерительного прибора.

Крылатая ракета «Martin Matador»

Для решения этой задачи была применена астронавигационная система или ориентация по звездам, автоматизированное оптическое устройство, осуществляющее угловые измерения известного положения звезд и использующая их для расчета положения ракеты в пространстве. Астронавигационная система оказалась весьма точной, но и довольно дорогой в производстве и сложной в обслуживании. Также требовалось, чтобы ракеты, оснащенные этой системой, летели на большой высоте во избежание влияния облачности на линию визирования к звездам.

Менее известно, что успех астронавигационных систем, повсеместно послужил толчком в развитии в настоящее время спутниковых навигационных систем, таких как GPS и ГЛОНАСС. Спутниковая навигация основывается на аналогичной астронавигации концепции, но вместо звезд используются искусственные спутники Земли на полярных орбитах, а вместо естественного света искусственные СВЧ сигналы, а также используются измерения псевдодиапазона, а не угловые измерения. В итоге эта система значительно снизила расходы и позволила осуществлять определение местоположения на всех высотах в любых погодных условиях. Несмотря на то, что технологии спутниковой навигации были изобретены в начале 1960-х годов, они стали оперативно использоваться только в 1980-е годы.

В 1960-е годы произошли существенные улучшения точности инерциальных систем, а также увеличилась стоимость такого оборудования. В результате это привело к противоречивым требованиям по точности и стоимости. Как результат возникла новая технология в области навигации крылатых ракет основанная на системе определения местоположения ракеты путем сопоставления радиолокационного отображения местности с эталонной картографической программой. Данная технология поступила на вооружение крылатых ракет США в 1970-е годы и советских ракет в 1980-е. Технология TERCOM (система цифровой корреляции с рельефом местности блока наведения крылатой ракеты) была использована, как и система астронавигации, для обнуления совокупных инерциальных системных ошибок.

Крылатая ракета «Комета»

Технология TERCOM относительно проста по замыслу, хотя и сложна в деталях. Крылатая ракета непрерывно измеряет высоту местности под траекторией своего полета, используя для этого радиолокационный высотомер, и сравнивает результаты этих измерений с показаниями барометрического высотомера. Навигационная система TERCOM также хранит в себе цифровые карты высот местности, над которой ей предстоит лететь. Затем с помощью

компьютерной программы профиль местности, над которым пролетает ракета сравнивается с сохраненной в памяти цифровой картой высот с целью определить наилучшее их соответствие. Как только профиль согласован с базой данных, можно с большой точностью определить положение ракеты на цифровой карте, что используется для исправления совокупных ошибок инерциальной системы.

TERCOM обладала преимуществом перед астронавигационными системами: она позволяла крылатым ракетам осуществлять полет на предельно низкой высоте необходимой для преодоления ПВО противника, она оказалась относительно дешевой в производстве и очень точной (до десятка метров). Это более чем достаточно для 220 килотонной ядерной боеголовки и достаточно для 500 килограммовой конвенциональной боеголовки применяемой против множества типов целей. И всё же TERCOM не была лишена недостатков. Ракета которая должна была пролететь над уникальной холмистой местностью, легко сравнимой с профилем высоты цифровых карт, обладала превосходной точностью. Однако TERCOM оказалась неэффективна над водной поверхностью, над сезонно изменяемой местностью, такой как песчаные дюны и местностью с различной сезонной отражательной способностью радара, такой как сибирская тундра и тайга, где снегопады могут изменить высоту местности или скрыть её особенности. Ограниченная емкость памяти ракет часто затрудняла хранение достаточного количества картографических данных.

Крылатая ракета «Boeing AGM-86 CALCM»

Будучи достаточной для оснащенных ядерными боеголовками КР Томагавк RGM-109A ВМФ и AGM-86 ALCM ВВС, TERCOM была явно не достаточной для уничтожения обычной боеголовкой отдельных зданий или сооружений. В связи с этим ВМС США оснастили TERCOM крылатых ракет Томагавк RGM-109C/D дополнительной системой основанной на так называемой технологии корреляции отображения объекта с его эталонным цифровым образом. Эта технология была использована в 1980-е годы на баллистических ракетах Першинг II, советских КАБ-500/1500Кр и американских высокоточных бомбах DAMASK/JDAM, а также на последних китайских управляемых противокорабельных ракетных комплексах, предназначенных для борьбы с авианосцами.

При корреляции отображения объекта используется камера для фиксации местности перед ракетой, а затем информация с камеры сравнивается с цифровым изображением полученным с помощью спутников или воздушной разведки и хранящейся в памяти ракеты. Измеряя угол поворота и смещение, необходимые для точного совпадения двух изображений, прибор способен очень точно определить ошибку местоположения ракеты и использовать её для коррекции ошибок инерциальной и TERCOM навигационных систем. Блок цифровой корреляции системы наведения крылатых ракет DSMAC используемый на нескольких блоках КР Томагавк были действительно точными, но обладал побочными оперативными эффектами похожими на

TERCOM, которую необходимо было запрограммировать на полет ракеты над заданной местностью, особенно в непосредственной близости от цели.

В 1991г. во время операции Буря в пустыне, это привело к тому, что ряд шоссежных развязок в Багдаде были использованы в качестве таких привязок, что в свою очередь позволило войскам противовоздушной обороны Саддама расположить там зенитные батареи и сбить несколько Томагавков. Также как и TERCOM блок цифровой корреляции системы наведения крылатых ракет чувствителен к сезонным изменениям контраста местности. Томагавки, оснащенные DSMAC, также несли лампы-вспышки для освещения местности в ночное время.

В 1980-е годы в американские крылатые ракеты были интегрированы первые приемники GPS. Технология GPS была привлекательна, поскольку она позволяла ракете постоянно исправлять свои инерциальные ошибки независимо от рельефа местности и погодных условий, а также она действовала одинаково как над водой, так и над землей.

Эти преимущества сопровождались слабой помехозащищенностью GPS, так как сигнал GPS изначально слабый, восприимчивый к эффекту "повторного изображения" (когда сигнал GPS отражается от рельефа местности или зданий) и изменению точности в зависимости от количества принимаемых спутников и тому, как они распределены по орбитам. Все крылатые ракеты США на сегодняшний день оснащены приемниками GPS и пакетом инерциальной системы наведения, причем в конце 1980-х и начале 1990-х годов технологию механической инерциальной системы заменили более дешевой и более точной инерциальной навигационной системой на кольцевых лазерных гироскопах.

Крылатая ракета «AGM-158 JASSM»

Проблемы, связанные с точностью GPS, постепенно решаются путем введения широкодиапазонных методов GPS (Wide Area Differential GPS), при которых действительные коррекционные сигналы для данного географического положения, транслируются на приемник GPS по радиоканалу (в случае американских ракет используется WAGE -Wide Area GPS Enhancement). Основными источниками сигналов этой системы являются радионавигационные маяки и спутники на геостационарной орбите. Наиболее точные технологии подобного рода, разработанные в США в 1990-е годы, способны исправить ошибки GPS до нескольких дюймов в трех измерениях и являются достаточно точными, чтобы попасть ракетой даже в открытый люк бронемашины.

Проблемы с помехоустойчивостью и "повторным изображением" оказались наиболее трудно решаемыми. Они привели к внедрению технологии так называемых "умных" антенн, как правило, основанных на "цифровом формировании луча" в программном обеспечении. Идея, стоящая за этой технологией проста, но сложна в деталях. Обычная антенна GPS принимает сигналы со всей верхней полусферы над ракетой, таким образом, включая спутники GPS, а также вражеские помехи. Так называемая антенна с управляемой диаграммой направленности (Controlled Reception Pattern Antenna,

CRPA) при помощи программного обеспечения синтезирует узкие пучки, направленные к предполагаемому месторасположению спутников GPS, в результате чего антенна оказывается нечувствительна во всех других направлениях. Более совершенные конструкции антенн этого типа производят так называемые "нули" в диаграмме направленности антенны направленные на источники помех для дальнейшего подавления их влияния.

Крылатая ракета «Томагавк»

Большая часть проблем получивших широкую огласку в начале производства крылатых ракет AGM-158 JASSM были результатом проблем с программным обеспечением приемника GPS, в результате которых ракета теряла спутники GPS и сбивалась со своей траектории.

Продвинутые приемники GPS обеспечивают высокий уровень точности и надежную помехоустойчивость к расположенным на земной поверхности источникам помех GPS. Они менее эффективны против сложных источников помех GPS развернутых на спутниках, беспилотных летательных аппаратах или аэростатах.

Последнее поколение американских крылатых ракет использует GPS-инерциальную систему наведения, дополняет её установленной в носовой части ракеты цифровой тепловизионной камерой, преследующей цель обеспечить возможности подобные DSMAC против неподвижных целей с соответствующим программным обеспечением и возможностью автоматического опознавания образов и против подвижных целей, таких как зенитно-ракетные системы или ракетные пусковые установки. Линии передачи данных, как правило, происходят от технологии JTIDS/Link-16, внедряемой для обеспечения возможности перенацеливания оружия в случае, когда подвижная цель изменила своё местоположение в время нахождения ракеты на марше. Использование этой функции главным образом зависит от пользователей обладающих разведкой и возможностями выявления таких перемещений цели.

Долгосрочные тенденции в развитии навигации крылатых ракет приведут к их большей интеллектуальности, большей автономности, большему разнообразию в датчиках, повышенной надежности и снижению стоимости.

5. Системы наведения тактических крылатых ракет

Основной идеей всех крылатых ракет является то, что это оружие может быть запущено в цель вне пределов досягаемости систем противовоздушной обороны противника с целью не подвергать стартовую платформу ответной атаке.

В таблице 1 для сравнения приведены крылатые ракеты с разными системами наведения, а также их основные тактико-технические характеристики (ТТХ).

Таблица 1. ТТХ крылатых ракет

Название	Х-22 «Буря»	Р-27 (АА-10 Alamo)	КСР – 5П
Тип	КР	КР класса «Воздух-воздух»	КР воздушного базирования
Статус	Состоит на вооружении	Состоит на вооружении	Снята с вооружения
Разработчик	А.Я. Березняк (СССР)	КБ «Вымпел» (СССР, Россия)	А.Я. Березняк (СССР)
Принятие на вооружение	1971 год	1990 год	1969 год
Система наведения	Активная и пассивная	Полуактивная	Пассивная
Тактико-технические характеристики			
Длина	11,6 м	4 м	10,6 м
Диаметр	0,9 м	0,23 м	0,92
Размах крыла	3,35 м	0,97 м	2,6 м
Масса	5635 - 5780 кг	253 кг	3952 кг
Скорость полета	М=3,5 - 4,6	М=4,5	М=3,0
Дальность стрельбы	140 - 300 км	58 км	300-700 км
Высота полета	25 км	25 км	22 км
Носитель	Ту-22	Су-27, Су-33, Су-35, МиГ-29, Як-141	Ту-16КРМ

Х-22 «Буря» — сверхзвуковая крылатая противокорабельная ракета воздушного базирования большой дальности. Входит в состав авиационного ракетного комплекса К-22. Ракета разрабатывалась в двух вариантах: для поражения радиолокационно-контрастных точечных целей (т.е. отдельных кораблей) и площадных целей (авианосные ордера, конвои, наземные цели). Систему наведения К-22У разрабатывало КБ-1 ГКРЭ в трех вариантах — с автономным инерциальным счислителем пути ПСИ, а также с активной и пассивной радиолокационными ГСН. Оснащалась фугасной или специальной боевой частью (БЧ).

Аппаратура головки самонаведения отрабатывалась на летающей лаборатории Ту-16К-22 [6].

Р-27Р (Р-27Т, Р-27П) — Управляемая ракета класса «воздух-воздух» средней дальности, предназначенная для поражения воздушных целей (высокоманевренных самолетов, вертолетов и т. п.) в любое время суток, на всех ракурсах при наличии естественных и организованных помех, на фоне земной и водной поверхностей.

Р-27 предназначена для поражения целей в диапазоне высот от 20 м до 25 км с максимальным превышением (принижением) 10 км при скорости целей до 3500 км/ч и о 8g. Возможен пуск двух ракет по двум целям. Обеспечена готовность ГСН к применению через 1 с после получения целеуказания от

системы управления вооружением носителя типа МиГ-29.

Взрывательные устройства ракет выполнены на основе радиолокационных неконтактных и контактных датчиков цели. В компоновке ракет реализован модульный принцип конструкции. Ракеты входят в состав вооружения самолетов марки МиГ, Су и др.

Подвеска ракеты на самолет-носитель, обеспечение необходимым электропитанием в совместном полете, боевой пуск и аварийный сброс осуществляется с помощью авиационного пускового устройства АПУ-470 или авиационного катапультного устройства АКУ-470 [7].

КСР-5 (Д-5) (по классификации НАТО AS-6 Kingfish) — советская сверхзвуковая крылатая ракета воздушного базирования дальнего радиуса действия авиационного ракетного комплекса К-26. Предназначена для поражения радиолокационно-контрастных морских или наземных целей (надводные корабли, мосты, плотины, электростанции) [8].

Выводы

1. Современные крылатые ракеты являются одним из наиболее перспективных видов высокоточного оружия (наряду с ракетами класса « земля- воздух» « воздух –воздух» , « воздух-земля», корректируемыми авиабомбами и артиллерийскими снарядами, управляемыми системами залпового огня и др. видами ВСТО) , они постоянно подвергаются новейшим разработкам и модернизации .

2. Системы наведения современных КР являются очень сложными мобильными информационными системами , в которых заложены как большие автономные информационные возможности , так и современные внешние информационные возможности .

3. Системы наведения современных КР включают в себя системы вывода КР в нужный район и систему самонаведения, а так же системы выбора объекта поражения, помехозащиты и преодоления системы ПВО .

4.Системы самонаведения обеспечивает большую точность наведения, чем телеуправляемая система. Однако система самонаведения имеет небольшую дальность действия, что считается существенным ее недостатком. Особенность системы самонаведения в том, что относительные ошибки в определении взаимного положения ракеты и цели уменьшаются с уменьшением расстояния между ракетой и целью

Библиографический список:

1. <http://militaryarticle.ru/nauka-i-voennaya-bezopasnost/2008/12107-sistemy-upravlenija-i-navedenija-krylatyh-raket-i>
2. <https://topwar.ru/17195-metody-navigacii-krylatyh-raket.html>
3. <http://samonavedenie-raket.ru/obshchie-printsipy-samonavedeniya/klassifikatsiya-sistem-upravleniya>
4. Военный энциклопедический словарь (ВЭС), ВИ, 1984 г., стр. 468
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_управления_ракетой

6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/X-22>
7. [https://ru.wikipedia.org/wiki/P-27_\(авиационная_ракета\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/P-27_(авиационная_ракета))
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/КСР-5>

THE CRUISE MISSILES GUIDANCE SYSTEMS

Veremchuk Oksana Leonidovna, Student;

Isakov Dmitry Sergeevich, Student;

Goldberg Michail Arkadevich, Senior Lecturer

Legkiy Vladimir Nikolaevich, D.Sc. (Engineering), Associated Professor,
Novosibirsk State Technical University, Prospect K. Marksa, 20, Novosibirsk,
630073, Russia

Veremchuk O.L., e-mail okveremchyk@gmail.com

Isakov D.S., e-mail dmitrij.isakoff2012@yandex.ru

The address for correspondence: Novosibirsk State Technical University,
Prospect K. Marksa, 20, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract

One of main types of the high-precision tool are cruise missiles which main developing objectives are fire range increasing, targeting accuracy on the final site of a trajectory, and also lethality increasing. Cruise missiles are equipped with a control system that solves three main objectives: aiming at the target, stabilization of flight and management of fuel consumption. Systems of telecontrol and homing are applied to cruise missiles. Systems of homing happen several types: radio, infrared, sound and optical. Each of these systems of homing, using the corresponding type of the energy radiated by the purpose can be active, semi-active or passive.

Keywords

Guidance system, aiming at the target, trajectory, cruise missile

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

*Гириной Дмитрий Вадимович¹, магистрант; Русский Евгений
Юрьевич², к.т.н., с.н.с;*

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8-953-809-83-46

²Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН 630091, Россия,
Новосибирск, Красный проспект, 54

Гириной Д. В., email girivoydima@rambler.ru

Русский Е. Ю., email geomining@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Гириной Дмитрий Вадимович,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8-953-809-83-46

Аннотация: в статье приводится описание типового участка системы, рассчитана суточная потребность расхода воздуха на станции метрополитена в течении суток, рассмотрены функциональная и структурная схемы работы вентилятора, произведены расчеты для преобразователя частоты, пропорционального регулятора. Построены асимптотическая ЛАЧХ, желаемая ЛАЧХ, проведен синтез алгоритмов автоматического управления проветриванием станции метрополитена и получена принципиально новая передаточная функция регулятора.

Ключевые слова: регулятор, синтез алгоритмов управления, передаточная функция, переходный процесс.

Метрополитен является одним из наиболее совершенных видов городского транспорта, способного справиться с высокой интенсивностью пассажиропотока. Вентиляция – важнейшая система жизнеобеспечения метрополитенов. Эксплуатационные показатели метрополитена в значительной степени зависят от эффективности и конструктивного совершенства его системы вентиляции, на которую большое влияние оказывают как интенсивность перевозок, так и метеорологические и гидрогеологические условия города, в котором он расположен. Постоянно возрастающий пассажиропоток ведет к увеличению частоты движения поездов и как следствие – к выделению и накоплению на станциях и в тоннелях значительного количества вредных веществ в виде избыточного тепла, газовых выделений, пыли и т.п. Своевременное удаление вредных веществ и подача требуемого количества свежего воздуха зависит от работы систем вентиляции. Поэтому, тоннельной вентиляции метрополитена отводится важная роль по поддержанию требуемого состояния микроклимата, в том числе и по поддержанию теплового баланса в

подземных сооружениях [1].

Таким образом, анализ работы вентиляционной системы метрополитена и учет всех ее особенностей позволяет выполнить синтез алгоритмов системы управления тоннельными вентиляторами и обеспечить безопасность, экономичность и эффективность проветривания станций метро.

Тоннельная вентиляция метрополитена предназначена для выноса на поверхность всевозможных вредностей с целью поддержания в тоннелях, поездах и на станциях заданных метеорологических условий и химического состава воздуха.

Типовой участок метрополитена мелкого заложения приведен на рис. 1 [1].

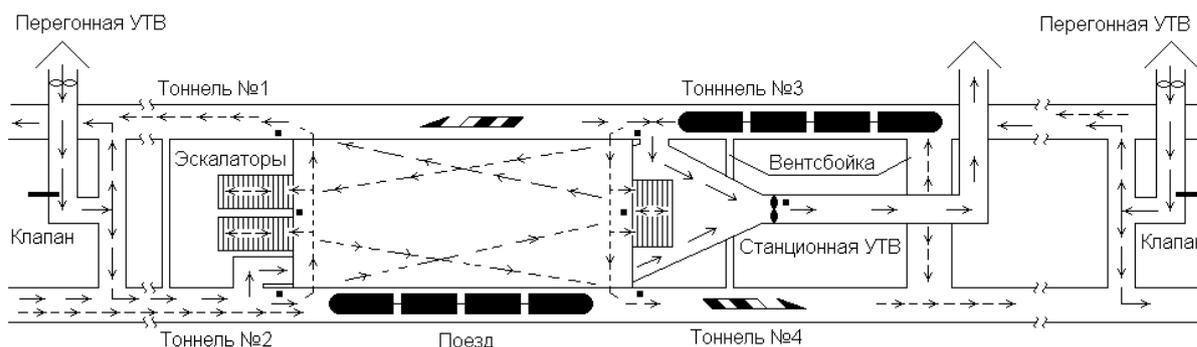


Рис. 1. Схема типового участка метрополитена мелкого заложения: \rightarrow - направление движения воздуха, вызванное работой станционной вентилятора; \dashrightarrow - направление движения воздуха, вызванное действием поездов; \blacksquare - места установки датчиков давления; \blacktriangleleft - направление движения поездов

Участок включает в себя станцию с размещенной на ней станционной установкой тоннельной вентиляции (УТВ) и два полуперегона с перегонными УТВ.

Расчетная суточная потребность воздуха приведена на рис. 2. Без суточного регулирования вентиляторных агрегатов при их круглосуточной работе со 100% расчетной производительностью перерасход энергии составит, примерно, 42% [2].

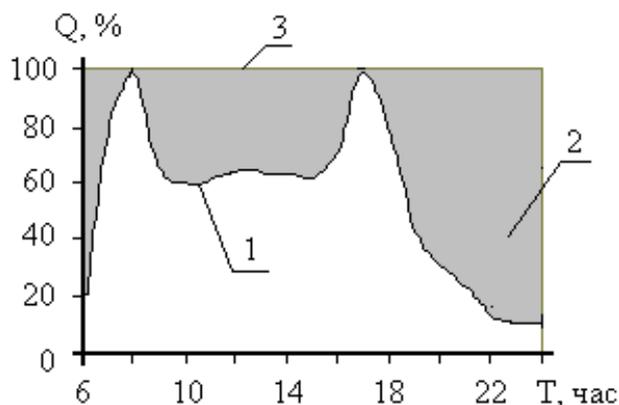


Рис. 2. Суточное изменение требуемого расхода воздуха на станции метрополитена: 1 – требуемый расход воздуха; 2 - избыточный расход воздуха; 3 – расход воздуха, подаваемый нерегулируемым вентилятором

Для уменьшения перерасхода энергии целесообразно изменять производительность стационарных вентиляторов не чаще одного раза в час.

Система автоматического управления (САУ) стационарным вентилятором с изменением скорости вращения приводного электродвигателя предназначена для управления режимами работы вентилятора при помощи изменения частоты его вращения в зависимости от текущих потребностей в воздухе на станции метро.

Функциональная схема САУ стационарного вентилятора показана на рис. 3 [3, 4].

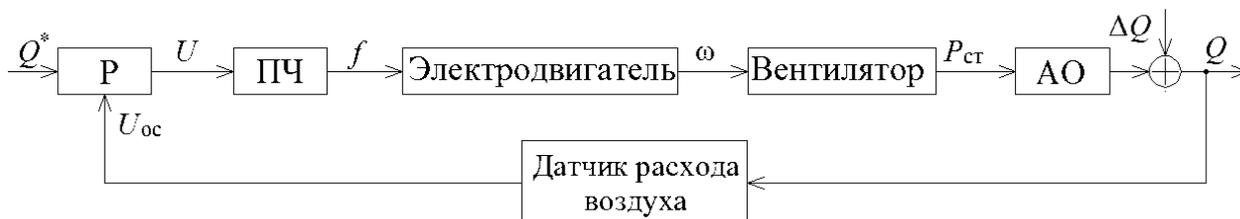


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматического управления производительностью стационарного вентилятора: P- регулятор; ПЧ - преобразователь частоты питающего напряжения; АО – аэродинамический объект (вентиляционная сеть)

На основе функциональной схемы САУ стационарным вентилятором с изменением частоты вращения приводного электродвигателя строится структурная схема (рис. 4).

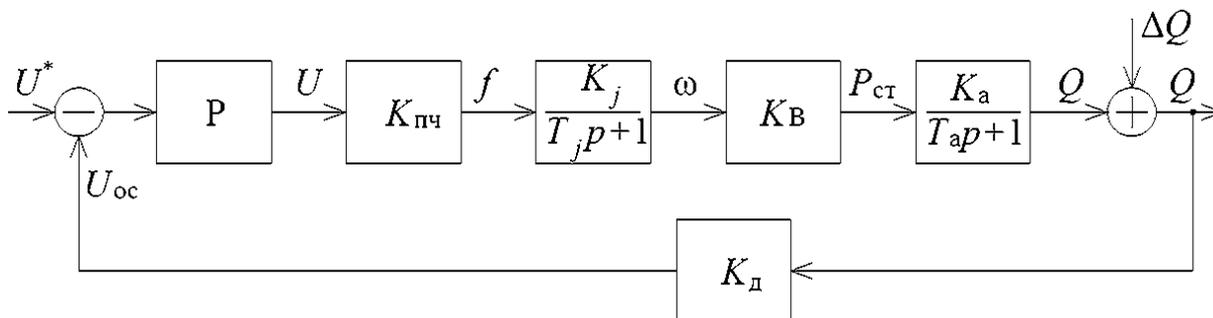


Рис. 4. Структурная схема системы автоматического управления производительностью стационарного вентилятора: U^* – сигнал задания желаемой производительности вентилятора.

В данной работе рассматривается обобщённый преобразователь частоты. Передаточная функция ПЧ представляется в виде [4]

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{f(p)}{U(p)} = K_{\text{ПЧ}},$$

Сигнал управления U , подаваемый на вход ПЧ находится в диапазоне от 0 до 10 В. Частота тока статора электродвигателя f может меняться в пределах от 0 до 50 Гц.

$$K_{\text{ПЧ}} = \frac{50}{10} = 5$$

Используя полученные данные нами была построена желаемая и асимптотическая ЛАЧХ

ЛАЧХ объекта, регулятора и желаемая ЛАЧХ приведены на рис 5.

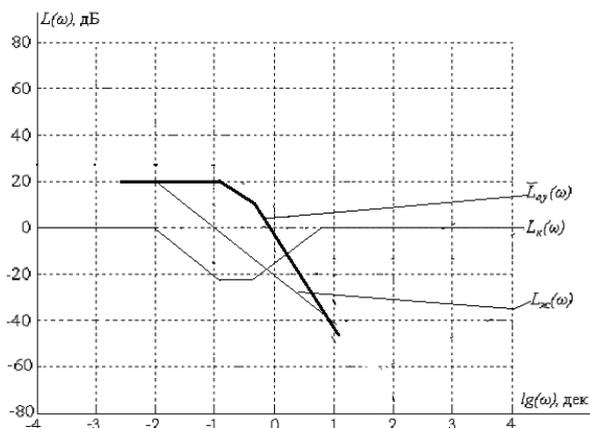


Рис.5. Логорифмические амплитудно- частотные характеристики.

В результате синтеза системы управления была получена передаточная функция регулятора:

$$W_K(p) = \frac{10 \cdot (9,1 \cdot p + 1)(2,17p + 1)}{(100 \cdot p + 1)(0,17 \cdot p + 1)}$$

Выводы

Алгоритмы управления вентиляционным оборудованием, полученные на основе синтеза системы автоматического управления тоннельным вентилятором, позволяют регулировать производительность вентиляторов в течение суток, что позволяет значительно сократить расходы электроэнергии на вентиляцию, а также повысить надежность систем вентиляции в чрезвычайных ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красюк А.М. Тоннельная вентиляция метрополитенов / А.М. Красюк. – Новосибирск: Наука, 2006. – 164 с.
2. СНиП 32-08: Метрополитены. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 45 с.
3. Зедгенизов Д.В. Новый подход к управлению проветриванием метрополитенов мелкого заложения // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение "Безопасность". М. МГГУ. – 2005. – С. 312 – 323.
4. Гиривой Д.В., Русский Е.Ю. Синтез алгоритмов автоматического управления проветриванием станции метрополитена // Труды XVII Всероссийской научно- технической конференции: «Наука. Промышленность. Оборона.» – Новосибирск, Издательство: Новосибирский государственный

ALGORITHMS SYNTHESIS OF AUTOMATIC CONTROL OF SUBWAY AIRING STATION

Girivoj D.V., graduate students, girivoydima@rambler.ru
Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, Novosibirsk,
630073, Russia

Rusky E.Yu., Ph.D, Associate Professor, geomining@mail.ru
Institute of mining SB RAS, Krasnyj prospect, 54, Novosibirsk, 630091, Russia

Annotation: the description of a standard section of system is provided in article, daily need of the expenditure of air is expected stations of the subway within days, the functional and structural diagrams of fan operation are considered, calculations for the frequency converter, the proportional regulator are made. Are constructed the asymptotic Bode's diagram, wished Bode's diagram, synthesis of automatic control algorithms of subway airing station is carried out and essentially new gear function of the regulator is received.

Key words: regulator, synthesis of control algorithms, gear function, transient process.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОННЕЛЬНЫМ ВЕНТИЛЯТОРОМ МЕТРОПОЛИТЕНА МОДАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

*Гундарева Мария Олеговна¹, магистрант; Русский Евгений Юрьевич²,
к.т.н., с.н.с.*

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8-923-178-86-27

² Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия,
г. Новосибирск, Красный проспект, 54

Гундарева М.О., e-mail gundareva_manya@mail.ru

Русский Е.Ю., e-mail geomining@mail.ru

*Адрес для корреспонденции: Гундарева Мария Олеговна, Новосибирский
государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр.
Карла Маркса, 20, тел. 8-923-178-86-27*

Аннотация: В данной работе проведен синтез системы управления проветриванием функционального участка станции метрополитена для поддержания параметров микроклимата при изменении пассажиропотока. Получена новая передаточная функция регулятора, рассчитанная модальным методом синтеза, построены структурные схемы системы автоматического управления с регуляторами, рассчитанными модальным и частотным методами синтеза, проведено моделирование системы в Matlab Simulink и выполнен анализ переходных процессов и их сравнение для двух методов. Модальный метод синтеза обеспечивает значительно меньшее значение ошибки регулирования и в 3,5 раза более быструю отработку внешнего возмущающего воздействия.

Ключевые слова: регулятор, синтез алгоритмов управления, передаточная функция, переходный процесс.

Метрополитен – это один из современных видов городского транспорта, способный справиться с большим количеством пассажиров. В виду того, что метрополитен расположен под землей, без открытого доступа свежего воздуха, необходима эффективно функционирующая система вентиляции для удаления пыли, тепла, влаги, газов, различных микроорганизмов и бактерий, поддержания параметров микроклимата, уменьшения эффекта "дутья" на станциях, а также, для экономного расхода электроэнергии.

Анализ работы существующей вентиляции в Новосибирском метрополитене и учет всех факторов, влияющих на нее, позволяет выполнить синтез алгоритмов системы управления тоннельными вентиляторами и обеспечить безопасность, экономичность и эффективность проветривания

станций метро [1,2]. Синтез заключается в проектировании регулятора по желаемым требованиям к показателям качества переходных процессов (минимальное перерегулирование, значение ошибки регулирования менее 10 %, время установления требуемого режима работы от 30 до 120 с) [3].

Действующий в настоящее время СНиП 32–02–2003 «Метрополитены» регламентирует подачу наружного воздуха на станции в объеме не менее 50 м³ на одного человека в часы «пик» и не менее 30 м³ на человека в остальное время суток [4].

Для поддержания микроклимата подземных сооружений необходимо изменять объем подаваемого воздуха в течение суток в зависимости от числа пассажиров, температуры наружного воздуха и других величин [5].

Расчетная суточная потребность воздуха приведена на рис.1. Без регулирования системы вентиляции в течении суток при их работе с расчетной производительностью перерасход энергии составит, примерно, 42% [3].

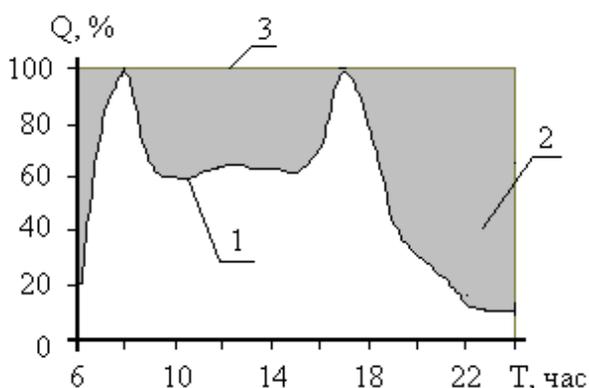


Рис. 1. Суточное изменение требуемого расхода воздуха на станции метрополитена: 1 – требуемый расход воздуха; 2 - избыточный расход воздуха; 3 – расход воздуха, подаваемый нерегулируемым вентилятором.

Целесообразно менять производительность вентиляторов один раз в час, одновременно с изменением пассажиропотока. Следовательно, вентиляционная сеть должна содержать устройство для изменения производительности вентилятора по оптимальным алгоритмам управления для обеспечения экономия электроэнергии.

Модальный метод синтеза обычно используют при необходимости отработки возмущений и начальных условий. Регулятор, в данном случае, состоит из корректора статики $W_s(p)$ и корректора динамики $W_d(p)$. Метод сводится к определению их передаточных функций [5].

В качестве корректора статики используется интегратор

$$W_s(p) = \frac{k_s}{p}, \quad (1)$$

где k_s – коэффициент усиления регулятора.

Передаточная функция (ПФ) корректора динамики имеет вид

$$W_d(p) = \frac{D(p)}{B(p)}, \quad (2)$$

где $B(p)$ – полином числителя ПФ объекта управления;

$D(p)$ – расчетный полином с неизвестными коэффициентами d_i .

Требуется рассчитать желаемое характеристическое уравнение, с учетом показателей качества переходного процесса и приравнять его к действительному характеристическому уравнению замкнутой системы, и вычислить параметры регулятора [6].

Основное аэродинамическое возмущение, которое действует на вентиляционную систему, представляет собой «поршневой» эффект от движущихся поездов. Они вызывают потоки воздуха с разными скоростями и давлениями [1,2].

Достоинства применения параллельного корректирующего звена (корректора динамики), рассчитанного модальным методом синтеза:

- чувствительность к изменениям параметров системы меньше, чем при последовательной коррекции (частотный метод синтеза);
- питание корректора не вызывает трудностей, т.к. на выходе системы развиваются большие мощности;
- корректор менее подвержен влиянию помех.

Недостатки:

- дорогостоящие элементы;
- необходимы высокие коэффициенты усиления;
- обратная связь может шунтировать вход усилителя.

В ходе расчетов из (1) и (2) получены ПФ корректоров статики и динамики

$$W_s(p) = \frac{0,12}{p} \quad (3)$$

$$W_d(p) = \frac{0,034z + 0,06}{0,05} \quad (4)$$

и построена структурная схема системы управления производительностью стационарного вентилятора с корректором, рассчитанным модальным методом синтеза (рис.2).

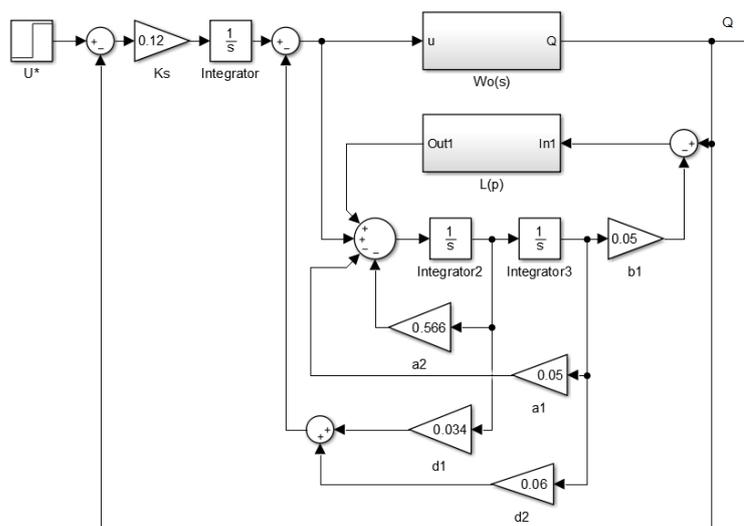


Рис. 2. Структурная схема системы управления производительностью стационарного вентилятора с корректором, рассчитанным модальным методом синтеза.

Результаты моделирования системы представлены на рис.3.

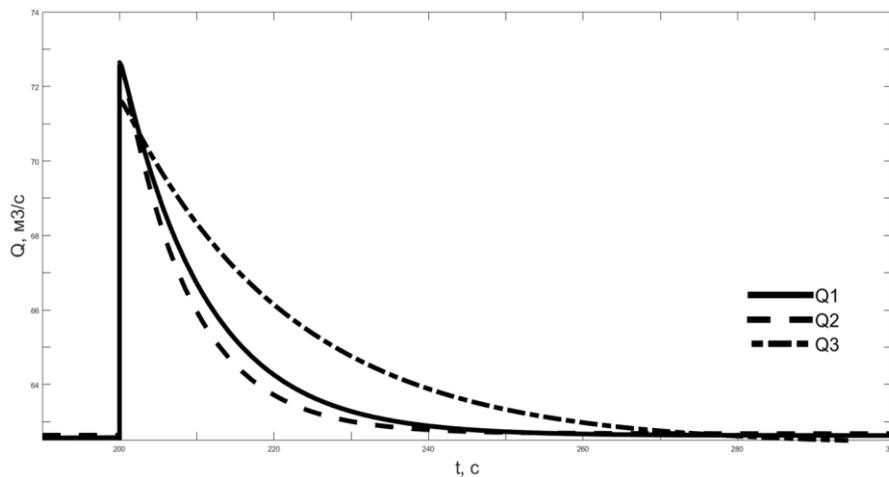


Рис. 3. Функциональная зависимость $Q = f(t)$ при наличии возмущающего воздействия: $Q_1(t)$ – производительность вентилятора при номинальной характеристики сети; $Q_2(t)$, $Q_3(t)$ – производительность вентилятора при действии "поршневого эффекта".

Для более точного анализа полученных результатов сравним показатели качества переходного процесса системы с регулятором, рассчитанным частотным методом синтеза. Структурная схема данного моделирования и его результаты представлены на рис.4-5.

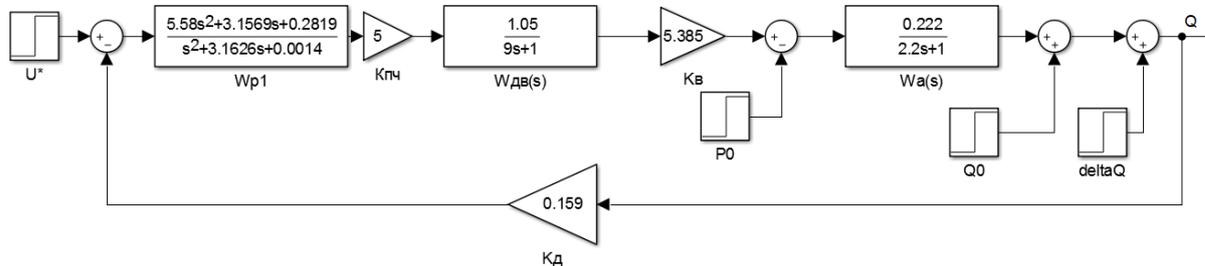


Рис. 4. Структурная схема системы управления производительностью стационарного вентилятора с корректором, рассчитанным частотным методом синтеза.

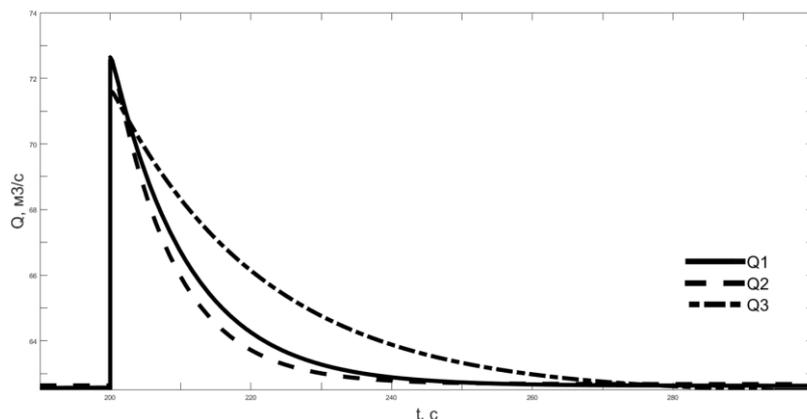


Рис. 5. Функциональная зависимость $Q = f(t)$ при наличии возмущающего воздействия: $Q_1(t)$ – производительность вентилятора при номинальной характеристики сети; $Q_2(t)$, $Q_3(t)$ – производительность вентилятора при действии "поршневого эффекта".

Таблица

Показатели качества переходного процесса	Частотный метод		Модальный метод	
	Отсутствие возмущения	Наличие возмущения	Отсутствие возмущения	Наличие возмущения
Время переходного процесса $t_{\text{пн}}, \text{с}$	30÷65	17÷30	34,5÷37	5
Перерегулирование $\sigma, \%$	0	16,07	0	15,96
Ошибка регулирования $\Delta^0, \%$	8,8	7,4	0,03	0,06

Анализ регуляторов показал, что время установления требуемого режима в системе не выходит за рамки допустимого, при этом регулятор, рассчитанный модальным методом, обеспечивает меньший разброс значений времени переходного процесса в зависимости от характеристик сети.

Ошибка регулирования в частотном методе на два порядка больше, чем в модальном, но не превышает требуемого значения.

Перерегулирование в системе отсутствует при отсутствии возмущения. При возмущении, отличном от нуля, рассчитанные методы синтеза обеспечивают примерно одинаковое перерегулирование, не превышающее 17 %, что допустимо, т.к. система инерционна и не может мгновенно отработать внешнее возмущающее воздействие.

Отработка возмущающего воздействия с регулятором, рассчитанным модальным методом происходит минимум в 3,5 раза быстрее, чем при частотном методе синтеза.

Используемые методы синтеза обеспечивают требуемые показатели качества переходного процесса, однако модальный метод справляется с этой задачей лучше.

Выбор проектирования того или иного регулятора зависит от обеспечения им заданного качества работы, сложности процесса производства, стоимости используемых элементов, помехоустойчивости, точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красюк А.М. Тоннельная вентиляция метрополитенов / А.М. Красюк. – Новосибирск: Наука, 2006. – 164 с.
2. Russky, E. Yu. Research and engineering of aerodynamics and design parameters for axial fans with the various hub/tip diameter ratios / E.Yu. Russky, I.V. Lugin, P.V. Kosyh, E.L. Alferova, L.A. Kiyantsa // 16th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2016 (30 June – 6 July, Albena, Bulgaria) : abstracts. – Albena, 2016. – Volume II. – С. 727-734.
3. Зедгенизов Д.В. Система автоматического управления частотным электроприводом тоннельного вентилятора метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. М. МГГУ. – 2008. - №4. – С. 207 – 210.
4. СНиП 32-02-2003 «Метрополитены».

5. Цодиков В.Я. Вентиляция и теплоснабжение метрополитенов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Недра», 1975. –568 с.

6. Востриков А.С. Теория автоматического регулирования: Учебн. пособие / А.С. Востриков, Г.А. Французова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 369 с. – ("Учебники НГТУ").

ANALYSIS OF WORK OF VO SERIES MINE AXIAL FANS IN EMERGENCY MODE

Gundareva M.O., graduate students, gundareva_manya@mail.ru

Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, Novosibirsk,
630073, Russia

Rusky E.Yu., Ph.D, Associate Professor, geomining@mail.ru

Institute of mining SB RAS, Krasnyj prospect, 54, Novosibirsk, 630091, Russia

Annotation: In this work, a synthesis is made of the ventilation control system of the functional section of the subway station to maintain the microclimate parameters when changing passenger traffic. A new transfer function of the regulator calculated by the modal synthesis method is obtained, structural diagrams of the automatic control system with regulators calculated by the modal and frequency synthesis methods are constructed, the system is simulated in Matlab Simulink, and the transient analysis and comparison are performed for the two methods. The modal synthesis method provides a much smaller value of the control error and 3.5 times faster excitation of external disturbance.

Key words: regulator, synthesis of control algorithms, transfer function, transient process.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

*Евтушенко Семен Викторович, студент;
Лех Дмитрий Юрьевич, студент;
Заруев Антон Антонович, студент;
Литвиненко Сергей Алексеевич, инженер*

Новосибирский государственный технический университет,

Евтушенко С.В. evtyshenkosemen@mail.ru

Заруев А.А. anton4shka@gmail.com

Лех Д.Ю. leh_dmitrii@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация: Рассматривается вариант системы автоматизированного определения параметров электронных компонентов (САОПЭК), построенной на основе

устройства сбора данных, ATMEЛ или PIC микроконтроллеров, одноплатных компьютеров Raspberry Pi, Omega 2 и др. Основная задача системы – определение наименования электронного компонента и его параметров.

Ключевые слова: Микроконтроллер, одноплатный компьютер, сервер облачных вычислений.

В ходе работы с электронными устройствами часто возникает необходимость достоверного определения параметров электронного компонента по следующим причинам:

1. Возможная неисправность электронного компонента
2. Необходимость подбора аналога
3. Повреждение или полное отсутствие маркировки
4. Для электронных устройств, имеющих стратегическое назначение – умышленное несоответствие маркировки компоненту или её отсутствие

Система автоматизированного определения параметров электронных компонентов (САОПЭК) может быть использована для гражданского применения – разработки и наладки электронных устройств. В областях ВПК может быть найдено дополнительное применение системы – обратная разработка (реверс инжиниринг) электронных устройств стратегического назначения для получения полной электрической схемы, понимания принципа работы устройства и его

воспроизводство из доступных компонентов.

САОПЭК должна реализовывать следующие функции:

1. Классификация полупроводникового компонента

- a. Структура элемента (*Транзистор, тиристор,*
- b. *диодная сборка и т. д)*
- c. Тип (*Маломощный, НЧ, ВЧ, СВЧ, PNP, NPN*)

2. Измерение параметров компонента

(*Например, для транзисторов: Коэффициент передачи по току, напряжение и время открытия, граничная частота работы и др.*)

3. Определение наименования и подбор аналогов

4. Определение происхождения элемента на основе базы данных

электронных компонентов

(*Страна и фирма производитель*)

На рисунке 1 приведена структурная схема САОПЭК, в скобках указаны устройства, на основе которых может быть построено каждое из звеньев.

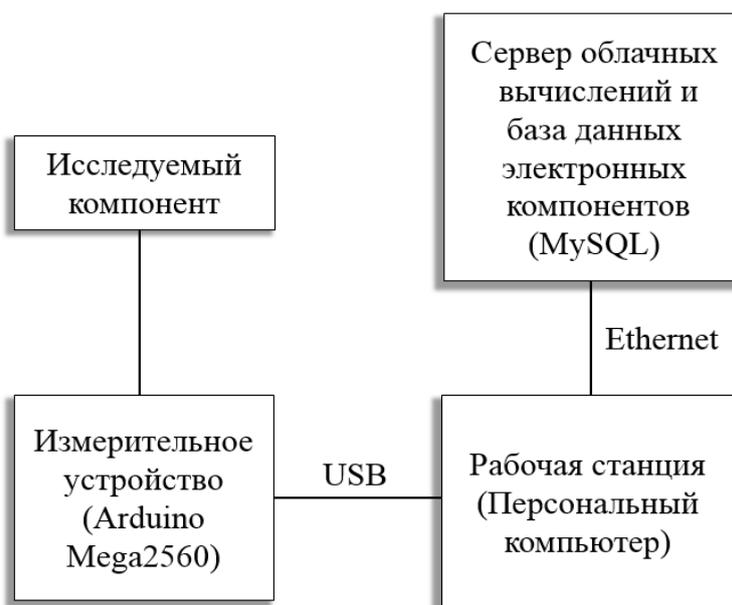


Рис. 1. Структурная схема САОПЭК

– Исследуемый компонент – электронный компонент, подключённый к зажимам измерительного устройства для его исследования.

– Измерительное устройство – печатный узел, базирующийся на микропроцессорном устройстве. Предназначен для проведения измерений параметров электронного компонента.

– Рабочая станция – компьютер, содержащий набор программ для приёма и транслирования данных с измерительного устройства на сервер облачных вычислений, приёма результатов с него.

– Сервер облачных вычислений – серверный компьютер, содержащий набор программ для обработки данных с измерительного устройства и работы с базой данных электронных компонентов.

– База данных электронных компонентов – электронная база данных, в которой содержатся наименования всех известных электронных компонентов, их характеристики информация о заводе и стране изготовителе.

Аналогом рассматриваемой системы является устройство AVR-Transistortester (Рис. 2) (англ. Тестер транзисторов), разработанное Markus Frejek, схожее по принципу работы с САОПЭК, но не обладающее возможностью подключения к компьютеру и прочими функциями. Устройство построено на AVR микроконтроллере и позволяет определять тип и параметры электронного компонента, подключённого к зажимам тестера. Несмотря на название, данное устройство может работать не только с транзисторами, но ещё и с резисторами, конденсаторами, катушками, тиристорами, диодами.

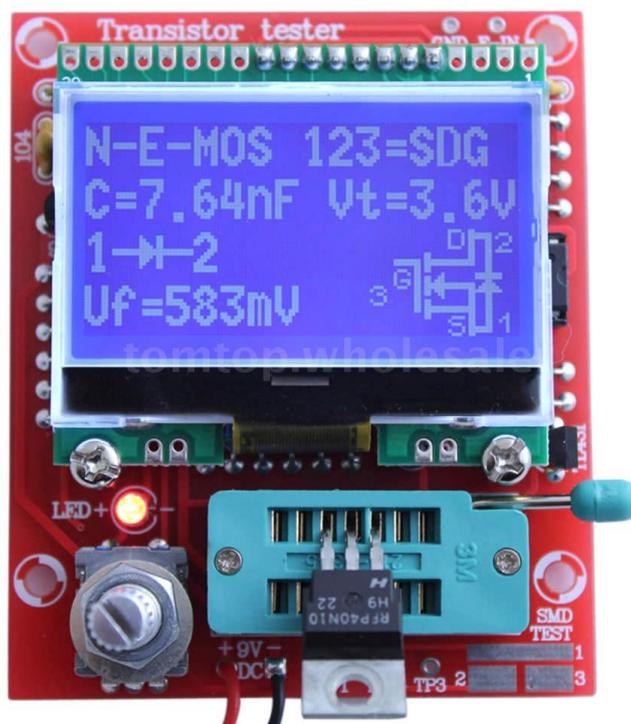


Рис. 2 Пример исполнения устройства AVR-Transistortester и результат исследования полевого транзистора

Устройство обладает недостатками такими как малая точность и небольшой набор электронных компонентов, доступных для определения, которые являются следствием ограниченного объёма памяти микроконтроллера и технических сложностей исследования некоторых компонентов. Для открытия диода часто необходимо приложить к его выводам напряжение большее, чем напряжение питания микроконтроллера. Для ионисторов измерение ёмкости невозможно из-за большого времени заряда. Стабилитроны определяются устройством как диоды по причине того, что напряжение лавинного пробоя также часто превышает напряжение питания микроконтроллера.

В основу САОПЭК могут быть положены некоторые алгоритмы микропрограмм AVR-Transistortester и его многочисленных модификаций

сторонними разработчиками, исходные коды на языке Си доступны для изучения на сайте разработчика.

Вывод

САОПЭЖ – уникальная система, которая может повысить скорость сборки, наладки и реверс-инжиниринга электронных устройств. Безусловно, разработка и доводка системы – дело сложное и весьма длительное. База данных электронных компонентов, программное обеспечение и аппаратная платформа измерительного устройства должны непрерывно совершенствоваться. Тем не менее, первые образцы системы могут принимать участие в работе, даже при небольшой базе элементов и сразу же начать приносить пользу.

Библиографический список:

1. Наука. Промышленность. Оборона : труды 17 Всерос. науч.-техн. конф., – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – С. 214–218.
2. <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/default.aspx>
3. <http://www.microchip.com/design-centers/microcontrollers>
4. <https://www.raspberrypi.org/>
5. <https://docs.onion.io/omega2-docs/>
6. <https://www.mikrocontroller.net/articles/AVR-Transistortester>

SYSTEM FOR AUTOMATED IDENTIFYING OF ELECTRONIC COMPONENTS

Evtushenko Semyon Viktorovich, Student; evtyshenkosemen@mail.ru

Zaruev Anton Antonovich, Student; anton4shka@gmail.com

Lekh Dmitriy Yurevich, Student; leh_dmitrii@mail.ru

Litvinenko Sergey Alekseevich, Engineer

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk,
630073, Russia, (383)3462623, (905)955-96-69

Annotation: We consider an implementation of electronic component computer-assisted system (ECCS) based on Data collectors, ATMEL or PIC microcontrollers, Raspberry Pi, Omega 2Single board computers, etc. The main system problem is to specify names and parameters of electronic components.

Keywords: Microcontroller, single-board computer, cloud computing server.

МЕТОД АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ФИНАНСОВЫХ СТРУКТУР ТИПА «ПИРАМИДА»

Заруев Антон Антонович, студент; Евтушенко Семён Викторович, студент; Лех Дмитрий Юрьевич, студент, Швец Владимир Викторович, доцент кафедры АИУС

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Заруев А.А., email anton4shka@gmail.com

Евтушенко С.В., email evtyshenkosemen@mail.ru

Лех Д.Ю., email leh_dmitrii@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Заруев Антон Антонович, Евтушенко Семён Викторович, Лех Дмитрий Юрьевич Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Аннотация: Рассматривается анализ целесообразности вкладов в финансовую структуру, построенную по принципу Понзи. Проведены усреднения и расчет устойчивости системы при различных входных данных.

Ключевые слова: Схема Понзи, финансовая «пирамида», линейное разностное уравнение, прибыль.

Тема актуальна тем, что многие организации используют схему Понзи для собственного обогащения, и среди людей распространены заблуждения по поводу выгодности вкладов в такие организации. Представлен усредненный метод расчёта устойчивости бюджета и прибыли «пирамиды», требующий только подстановки конкретных значений входной функции средств и коэффициентов, определяющих распределение средств в организации, и оценки её будущего бюджета.

Система организации, работающей по схеме Понзи, представлена на рис. 1, заключается в том, что организатор полностью контролирует все поступления финансов, распределение в организации и выплаты вкладчикам. Вкладчики не зависят друг от друга [4].

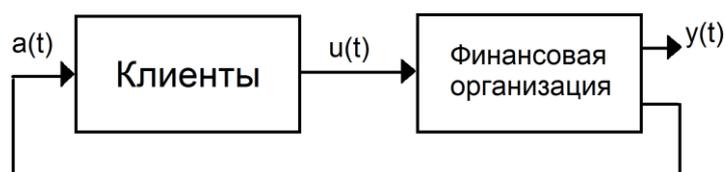


Рис.1. Общее представление организации, работающей по схеме Понзи; $u(t)$ – дискретная функция вкладываемых денег, $a(t)$ – дискретная функция начисляемых процентов вкладчикам, $y(t)$ – дискретная функция свободных денег (если отрицательна – долга).

Функция $a(t)$ должна на прямую зависеть от $u(t)$, $y(t)$ является разностью $u(t)$ и $a(t)$, так же возможно сама организация изымает некоторую часть свободных средств. Примем за единицу дискретизации 1 месяц. Суммарная накапливаемая сумма (1) в определенный месяц:

$$y(t) = ky(t-1) + u(t) - a(t) \quad (1)$$

где $ky(t-1)$ – средства, оставшиеся с прошлого месяца в организации, $u(t)$ – новые вклады в этом месяце, $a(t)$ – функция ежемесячных выплат.

Тогда организация изымает $(1-k)y(t-1)$ средств. Обозначим множителем k ($0 < k < 1$) долю оставленных средств в обороте для дальнейших выплат вкладчикам.

Определим функцию $a(t)$. Представляет обязательные выплаты, которые будут получать вкладчики в течении нескольких месяцев. Соответственно возвращаемая сумма $a(t)$ определяется как:

$$a(t) = m(u(t-1) + u(t-2) + \dots + u(t-n)) \quad (2)$$

где n количество месяцев в течении которых должны производиться выплаты; m – коэффициент, определяющий возвращаемый процент по вкладу.

Получим линейное разностное уравнение подстановкой (2) в (1), полностью описывающее интересующую нас схему:

$$y(t) = ky(t-1) + u(t) - m(\sum_{i=1}^n u(t-i)) \quad (3)$$

Для расчётов удобно представлять уравнение (3) структурной схемой рис.2.

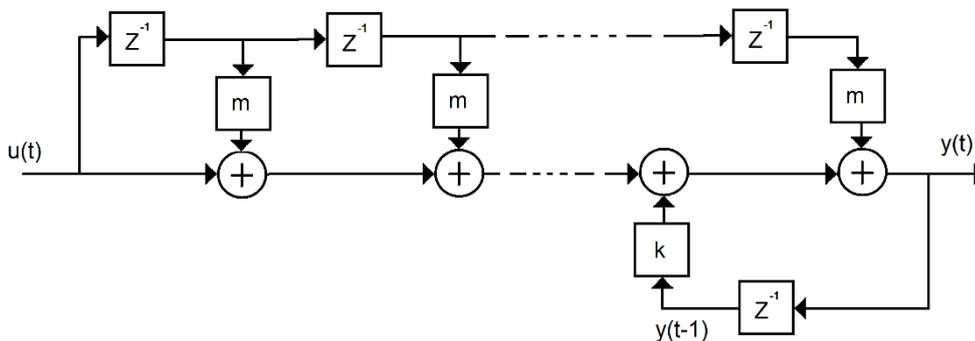


Рис.2. Структурная схема уравнения (3).

Решая уравнение (3), через Z-преобразования [1], можно найти оригинал функции $y(t)$, при подстановке $u(t)$. Входная функция должна быть решетчатой [1]. Рассмотрев $y(t)$ в предельном переходе на бесконечности, можно оценить перспективы организации.

Для подтверждения справедливости приведенного метода и уравнения (3) рассмотрим финансовую пирамиду МММ 2011. Средний процент по вкладу, составлял 40%/мес. Средний вклад составлял 1000 условных единиц. Наиболее популярным был вклад на 6 месяцев. Выберем функцию $u(t)$, которая бы точно приближала количество людей, присоединяющихся каждый месяц. Подставив эти значения в уравнение (3) получим:

$$y(t) = \begin{cases} 0 & ; & t \leq 0 \\ 2.461 \cdot 10^7; & & t = 1 \\ 1.132 \cdot 10^8; & & t = 2 \\ 2.854 \cdot 10^8; & & t = 3 \\ 5.413 \cdot 10^8; & & t = 4 \\ -1000(11482t^3 - 189459t^2 + 694681t - & & \\ -1033410); & & t \geq 4 \end{cases} \quad (4)$$

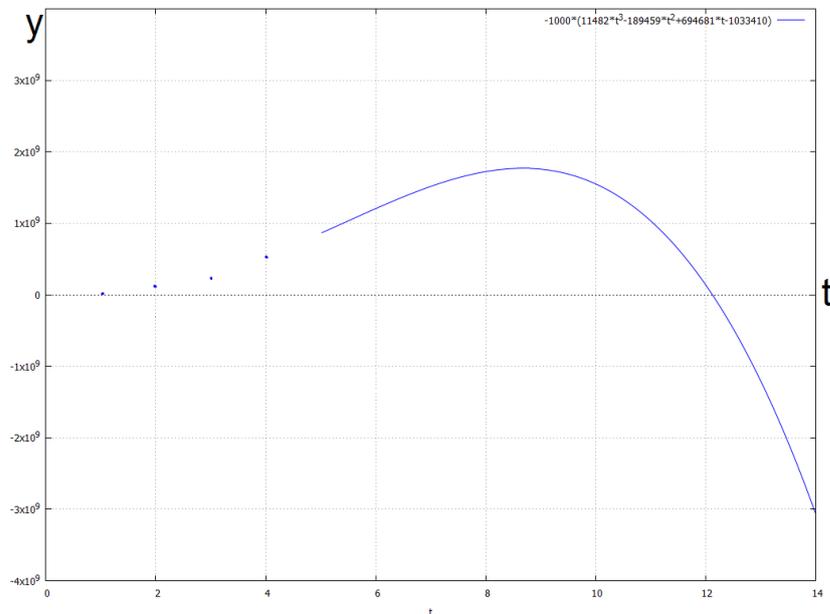


Рис.3. График функции (4). Свободные деньги в МММ 2011

По официальным данным МММ 2011 проработала 14 месяцев, выплаты перестали производиться на 13 месяце, и насчитывала до 25 млн. вкладчиков. Судя по графику на рис. 3 уже по прошествии 12 месяцев начал формироваться долг перед вкладчиками. В расчёте коэффициент k был равен 1, что означает полный возврат средств вкладчикам.

Судя по графику на рис.3 вклады в МММ2011, начиная с 8 месяца были не целесообразны. Что бы долг не появлялся требовалось намного более большое поступление вкладчиков с 10 месяца, число людей, присоединяющихся должно описываться решётчатой показательной функцией, тогда «пирамида» будет прибыльной.

Данный метод расчёта возможно применять не только к финансовым пирамидам, в дальнейшем необходимо проверить его пригодность для расчёта баланса предприятий, других учреждений. Для этого предстоит уменьшить единицу дискретизации, рассмотреть погрешность, а так же рассмотреть другие факторы которые будут влиять на баланс рассматриваемой организации.

Библиографический список:

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 312с. – ISBN 978-5-9221-0857-7
2. Вадутов О.С. Лекции по дисциплине «Математические основы обработки сигналов». – Томский политехнический университет.
3. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. — 5-е изд., стер. — М. : КНОРУС, 2010. — 480 с. ISBN 978-5-406-00565-1
4. Принципы работы финансовой пирамиды [Электронный ресурс]/ Режим доступа: <http://smart-lab.ru/blog/47473.php>

THE ANALYSIS METHOD OF THE STABILITY OF FINANCIAL STRUCTURES SUCH AS "PYRAMID"

Zaruev Anton Antonovich, Student; Evtushenko Semyon Viktorovich, Student, Schwez Vladimir Viktorovich

Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone: (913) 005-48-19

Zaruev AA, email anton4shka@gmail.com

Evtushenko SV, email evtyshenkosemen@mail.ru

Address for correspondence: Zaruev Anton Antonovich, Evtushenko Semyon Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, phone: (913) 005-48-19

The analysis of the feasibility of contributions to the financial structure built on the principle of Ponzi is considered. Averaging and calculating the stability of the system are carried out for various input data.

Keywords: Ponzi scheme, financial "pyramid", linear difference equation, profit.

РОБАСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Зюрин Кирилл Эдуардович, магистрант; Канцырев Антон Иванович, магистрант; Русский Евгений Юрьевич, к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.

Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Зюрин К.Э., email mr.reals@yandex.ru

Канцырев А.И., email kakbekonoos@bk.ru

Русский Е.Ю., email russkij@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Русский Евгений Юрьевич, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 383-3462623, (913)753-62-14

Аннотация: в статье рассматривается проектирование электронных схем на основе принципов робастного анализа. Проводится анализ влияния компоновки платы на степень нагрева компонентов и возникновение тепловых деформаций.

Ключевые слова: электронная схема, робастное проектирование, метод конечных элементов, тепловые деформации, надежность

Традиционно проектирование печатных плат ведется с учетом технологических и электрических требований [1]. Однако в настоящее время к большинству современных устройств всё больше предъявляется требований по стойкости к тепловым, механическим, электромагнитным и другим внешним видам воздействий.

Для оценки тепловых воздействий проводят расчеты тепловых режимов приборов с учетом топологии и структуры печатных плат. К механическим воздействиям можно отнести сопротивления изгибу, разрыву, скручивания, а также вибро- и ударопрочность. Как пример оценки электромагнитных воздействий можно привести расчет электромагнитного экрана устройства и др.

В настоящей работе рассматривается метод робастного проектирования печатных плат в ПО Altium Designer с использованием программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS, позволяющий также проводить междисциплинарные расчеты.

Робастность (англ. robustness, "Надежность", "Устойчивость") - свойство электронной аппаратуры выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, при соблюдении режимов эксплуатации, правил технического обслуживания, хранения и транспортирования.

На этапе проектирования задаются входные и выходные параметры устройства, производится подбор комплектующий в соответствии с

необходимым требованиями к температурному режиму, ведется расчет и проектирование посадочных мест и выявление ошибок в технических требованиях, после чего проводится синхронизация схемы электрической принципиальной и спроектированных посадочных мест. Далее размещаются все компоненты на печатной плате, проводится предварительная проверка и трассировка.

При размещении компонентов и трассировке из-за серьезных отличий аналоговой схемотехники от цифровой, аналоговая часть схемы должна быть разведена отделено от остальной части, а при ее разводке должны соблюдаться особые методы и правила. Эффекты, возникающие из-за не идеальности характеристик печатных плат, становятся сильно заметными в высокочастотных аналоговых схемах, но погрешности общего вида могут оказывать воздействие на качественные характеристики устройств, работающих даже в звуковом диапазоне частот.

Проектирование печатной платы может производиться в любом САПРе для проектирования печатных плат. На этапе моделирования и конструирования проводится синтез трёхмерных моделей плат и модулей [2,3]. Подготавливаются фотошаблоны слоёв, данные сверловки и сопроводительная документация. И уже после передаются в среду моделирования.

Моделирование проводилось в программном комплексе конечно-элементного анализа ANSYS, в модуле ANSYS Mechanical с передачей всей топологии печатной платы из Altium Designer.

Топология исследуемой печатной платы представлена на рис. 1.

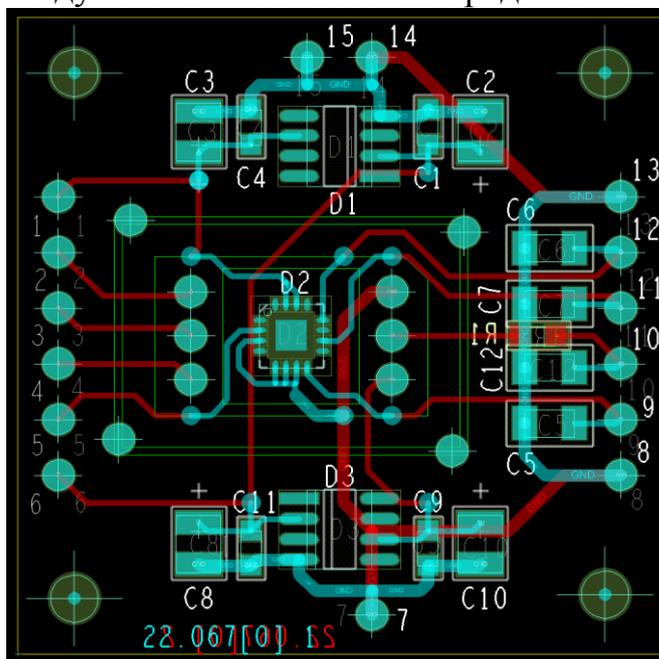


Рис. 1. Топология печатной платы в Altium Designer

Рассмотрим расчет механических деформаций при нагреве печатной платы в установившемся режиме (Steady-State Thermal).

Для проведения расчетов была подготовлена расчетная модель, состоящая из трехмерной геометрии (преобразованной из топологии), сетки конечных

элементов, свойств материалов и граничных условий.

Синтезированная геометрия из топологии платы представлена на рис. 2.

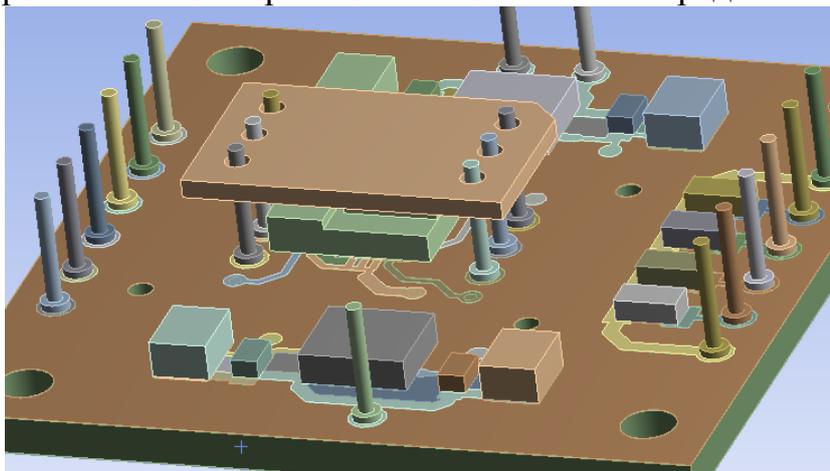


Рис. 2. Трехмерная геометрия платы из Altium Designer

Процесс генерации конечно элементной сетки проводился в полуавтоматическом режиме, с выдерживанием одинаковых качественных характеристик элементов для двух моделей [4,5]. Свойства материалов задавались в соответствующем модуле ANSYS Engineering Data и присваивались элементам модели.

В качестве граничных условий заданы:

1. ограничения степеней свобод перемещений (fixed support) коэффициент конвекции в автоматическом режиме из библиотеки модуля mechanical
2. температура окружающей среды +22 °С
3. Также мощности тепловыделений элементов (представлены в таблице 1.)

Таблица 1. Мощности тепловыделений элементов.

Поз. обозначение	Мощность, Вт
Q1	1 Вт
D1	0,05 Вт
D2	0,01 Вт
D3	0,05 Вт
D4	0,0001 Вт

В результате выполнения тепловых расчетов были получены распределения температур. На рис. 3 показан результат теплового расчёта конструкции платы с учетом топологии. Элементы конструкции платы прогрелись до температуры +42 °С, разница между самым нагретым и самым холодным участком платы незначительная, в то время, когда элементы плата без учета топологии прогрелась до +50°С.

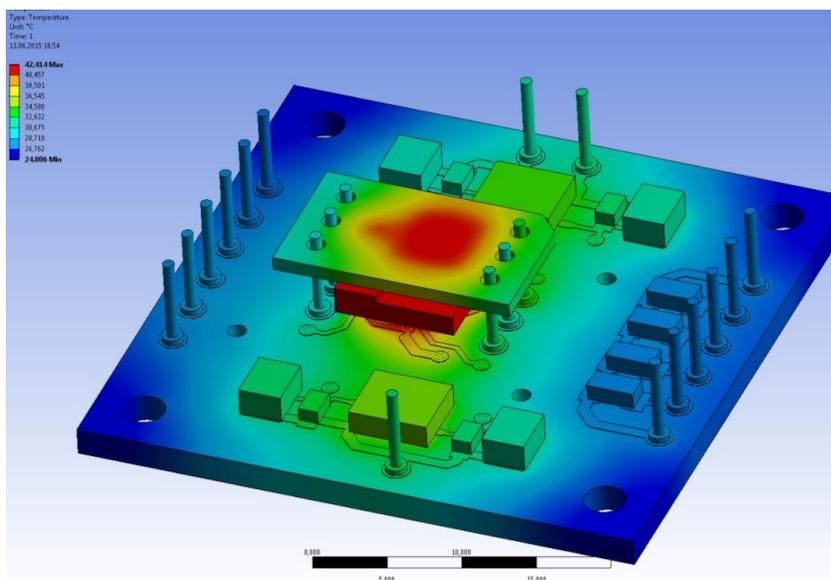


Рис. 3. Результаты теплового расчета конструкции с учетом топологии печатной платы

По результатам проведения теплового расчета было проведено междисциплинарное моделирование и получены деформации конструкции и элементов под действием температуры (рис. 4). Максимальная деформация платы с учетом топологии – незначительная и составила порядка $1e-7$ мм.

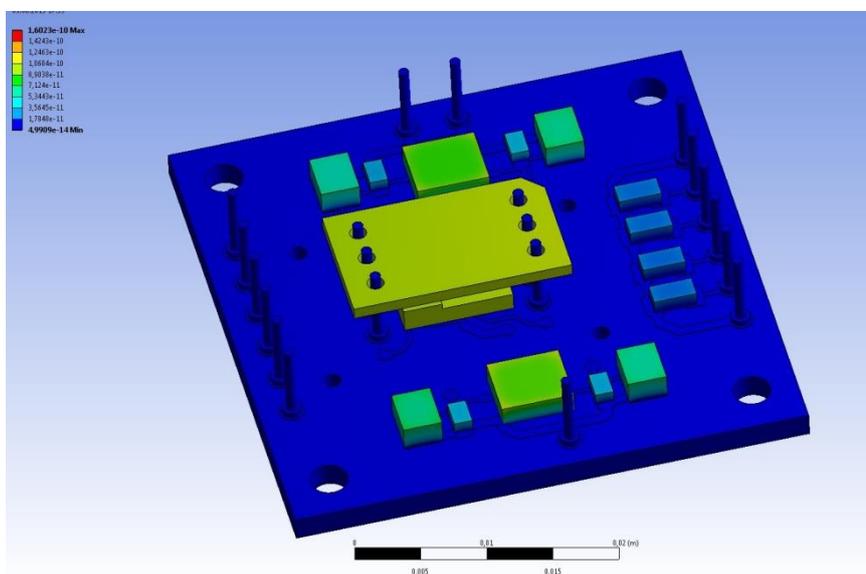


Рис. 4. Деформации печатной платы по результатам теплового расчета

Выводы

Робастное моделирование при проектировании электронных схем позволяет выявить особенности влияния возмущающих факторов на компоненты схемы. Комплексный подход к анализу состояния печатной платы с учетом температурного режима работы компонентов обеспечивает

достоверность расчетных характеристик компонентов, и повышает надежность работы электронных схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.А. Шаханов Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. -М. :МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2002. –35-44 с.
2. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник. – М.: ФОРУМ. 2005. – 560 с.
3. Макаренко Ю.А., Добрынченко В.В., Русский Е.Ю. Измерительный комплекс для исследования уровня акустического шума, создаваемого на местности при заходе самолета на посадку // Труды XVII Всероссийской научно- технической конференции: «Наука. Промышленность. Оборона.» – Новосибирск, Издательство: Новосибирский государственный технический университет. – 2016. – 2 т. – С. 224–227.
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. – 248 с.
5. Русский Е.Ю. Исследование динамических свойств узлов вентиляторов в возмущенном воздушном потоке. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 7. С. 168-174.

ROBUST DESIGN OF ELECTRONIC SCHEMES

Zurin K.E., graduate student, mr.reals@yandex.ru

Kancerev A.I., graduate student, kakbekonoos@bk.ru

Rusky E.Yu., PhD, associate professor, russkij@corp.nstu.ru

Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, 630073, Russia

Abstract: in article design of electronic schemes on the basis of the robust analysis principles is considered. At a stage of modeling and designing synthesis of three-dimensional models of payments and modules is carried out, the principles of a robustness for the concrete scheme are defined. After calculation of thermal emissions of components of the scheme, calculation of mechanical deformations when heating the printed circuit board in the set mode is carried out. For calculations the finite elements method is used. The analysis of influence of board configuration on extent of components heating and emergence of thermal deformations is carried out. Pictures of temperatures distribution and deformations are given.

Keywords: electronic scheme, robust design, finite elements method, thermal deformations, reliability

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ГАЗОПРОВОДОВ

Канцырев Антон Иванович¹, магистрант; Зюрин Кирилл Эдуардович¹, магистрант; Русский Евгений Юрьевич², к.т.н., с.н.с.

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 8-923-178-86-27

² Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54

Канцырев А.И., email kakbekonoos@bk.ru

Зюрин К.Э., email mr.reals@yandex.ru

Русский Е.Ю., email geomining@mail.ru

Адрес для корреспонденции: *Канцырев Антон Иванович*, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 383-3462623, (913)753-62-14

Аннотация: в статье рассматривается разработка системы автоматизированного контроля толщины стенок наземного газопроводов. Объектом исследования является участок надземного газопровода, включая его поворотные элементы. Приводится обзор методов и подходов, используемых при моделировании аэродинамики процессов прохождения природного газа с механическими примесями. Описываются принципы формирования научно-методических основ выявления мест локализации пылеабразивного износа внутренней поверхности газового магистрального трубопровода.

Ключевые слова: газопровод; стенка трубы; система контроля; абразивный износ; суровые климатические условия; напряженно-деформированное состояние.

Растущее в последнее время потребление углеводородов приводит к высоким темпам развития и увеличения систем транспортировки природного газа с помощью надземных трубопроводов. В связи с этим, растут и объемы затрат на обслуживание элементов фонтанной арматуры, что приводит к возникновению потребностей газодобывающих предприятий к максимальной автоматизации процессов контроля за ее состоянием. Особенно актуальна эта проблема для регионов с суровыми климатическими условиями, что значительно усложняет ручной контроль состояния и толщины стенок трубопроводов. Разработка автоматизированных систем контроля и сбора данных позволит существенно сократить эксплуатационные затраты на обслуживание трубопроводных сетей.

Износ надземных трубопроводов происходит по целому ряду причин, одной из которых являются эрозийные изменения стенок труб на

криволинейных участках (до 0,3 мм в год), вызванные высокими скоростями твердых частиц, переносимых газом. Контроль таких участков газопроводов осуществляется операторами дефектоскопистами путем сравнения результатов измерения толщины стенок в опорной точке и четырех точках, расположенных попарно слева-справа и сверху-снизу относительно опорной точки на расстоянии 20 мм (рис.1). В каждой точке регистрируют толщину стенки не менее трех раз. По мере износа трубопроводов число выездов специалистов резко возрастает, что приводит к значительным затратам.

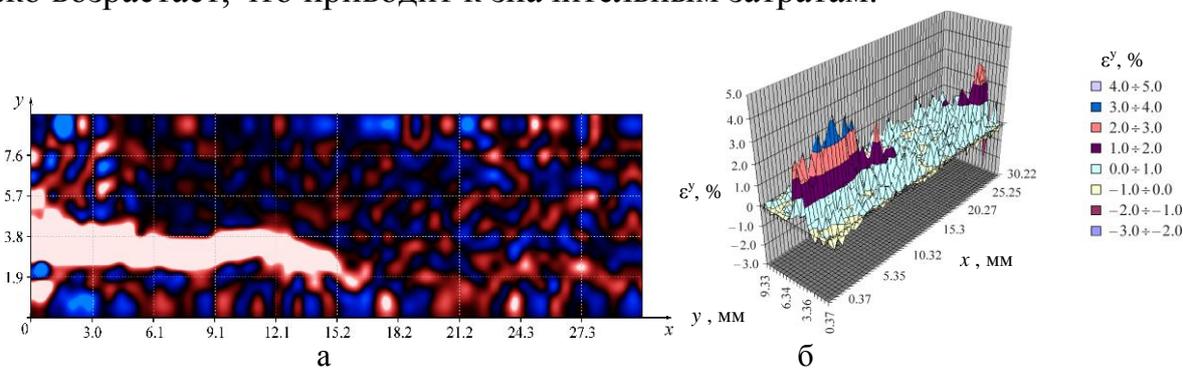


Рис. 1. Снимки деформационного картирования отсканированной поверхности образца геоматериала (а) и график распределения (б) компоненты деформации ϵ_y в продольном направлении при одноосном нагружении) в момент нагружения, соответствующий 0,5 предела прочности образца.

В этой связи, особое значение приобретает разработка методов диагностики и технических средств, позволяющих в режиме мониторинга оперативно оценивать состояние контролируемых участков газопровода, своевременно реагировать на возникновение опасной ситуации и предотвратить преждевременный выход объекта из строя.

Внедрение систем, основанных на автоматической регистрации данных, позволит обеспечить для газодобывающих предприятий следующие положительные эффекты:

- снижение материальных и энергетических затрат, а именно: трудозатрат на контроль состояния трубопроводов за счет сокращения персонала; расходов на горюче-смазочные материалы и амортизацию транспорта, ввиду резкого сокращения выездного контроля;
- экономия времени, за счет возможности автоматического контроля и передачи информации по беспроводным каналам связи в режиме реального времени;
- экономия капитальных затрат за счет оптимизации газотранспортных потоков при получении своевременной информации о состоянии трубопроводов;
- экологические эффекты за счет снижения вероятности загрязнения окружающей среды при прорыве газопровода;
- социальные эффекты за счет минимизации ручного труда, что особенно важно при осуществлении работ в регионах с аномально низкими

температурами, где высока вероятность профессиональных заболеваний, связанных с переохлаждением.

Цель исследований – обеспечение безопасности эксплуатации магистральных надземных газопроводов в жестких климатических условиях Сибири и Крайнего Севера за счет формирования новых подходов при изучении проблем прочностного анализа и разрушения внутренней поверхности элементов газопроводов в процессе транспортирования природного газа вследствие воздействия пылеабразивного износа для прогнозирования аварийных ситуаций и анализа деформационных ресурсов материала, из которого они изготовлены.

Задачи исследования:

- изучение процессов, происходящих при транспортировании природного газа по магистральным трубопроводам с учетом вариации их эксплуатационных параметров, а именно:
- определение закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния поворотных элементов газопроводов при вариации их геометрических размеров, формы, температуры окружающей среды, степени пылеабразивного износа внутренней поверхности трубопровода, давления подачи газа;
- разработка структурной схемы Системы контроля толщины стенки газопровода;

Решение этих задач подразумевает выполнение значительного объема численного моделирования аэродинамики процессов прохождения природного газа с механическими примесями по трубопроводу [1]; моделирование напряженно-деформированного состояния элементов газопровода в широком диапазоне условий работы (с учетом вариации температуры окружающей среды); исследование полей микродеформаций и зон разрушений на внутренней поверхности трубопровода с помощью методов физического моделирования [2,3]; разработку алгоритма, позволяющего на стадии проектирования сети надземных магистральных газопроводов осуществлять выбор эксплуатационных параметров их основных элементов.

Объектом исследования является участок надземного газопровода, включая его поворотные элементы. Одними из основных проблемных участков газопроводов являются повороты, на которых в результате перекачки природного газа, происходит эрозионный износ их внутренней поверхности, вызванный высокими скоростями движения мелких твердых абразивных частиц, переносимых газом. Скорость износа составляет до 0,3 мм в год. На этих участках в первую очередь должны устанавливаться измерительные системы для мониторинга толщины стенки трубопровода. Контроль должен проводиться не менее чем в 6-х точках поворотного элемента трубопровода. Период съема информации должен находиться в пределах 1 неделя ÷ 1 месяц.

Для выявления мест локализации пылеабразивного износа внутренней поверхности газового магистрального трубопровода необходимо определить траекторию движения пылевых частиц во внутреннем пространстве

трубопровода в зависимости от различных факторов.

Движение и теплообмен текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды. Кроме того, используются уравнения состояния компонентов текучей среды, а также эмпирические зависимости вязкости и теплопроводности данных компонентов среды от температуры. Этими уравнениями моделируются турбулентные, ламинарные и переходные течения.

Для моделирования наиболее часто встречающихся в магистральных газопроводах турбулентных течений, упомянутые уравнения Навье-Стокса усредняются по критерию Рейнольдса, то есть используется осредненное по малому масштабу времени влияние турбулентности на параметры потока, а крупномасштабные временные изменения осредненных по малому масштабу времени составляющих газодинамических параметров потока (давления, скоростей, температур) учитываются введением соответствующих производных по времени. В результате уравнения имеют дополнительные члены – напряжения по Рейнольдсу, а для замыкания этих уравнений используются уравнения переноса кинетической энергии турбулентности и диссипации в рамках моделей турбулентности: k - ϵ (модель Лаундер-Шарма) и SST k - ω (модель Ментера) [1].

Многовариантные исследования локализации пылеабразивного износа с использованием современных расчетных методов в зависимости от материального и фракционного состава пылегазового потока, его скорости и рабочего давления, ориентации прямого и поворотного элемента относительно действия силы тяжести, влияния температуры окружающей среды и сочетания поворотных и прямолинейных элементов больших диаметров газопроводов позволяет получить результаты, существенно повышающие уровень современных знаний об объекте исследования и использовать их в процессе эксплуатации газопровода, что поднимает их актуальность.

Численные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) поворотных элементов трубопроводов с учетом вариации геометрических размеров, типов, проводимые с учетом степени пылеабразивного износа внутренней поверхности поврежденных трубопроводов, позволяют получить точные картины распределения НДС в стенках газопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов В.К., Шкадов В.Я. Численное моделирование вязких вихревых течений для технических приложений. М: АСВ, 2009
2. А.М. Krasnyuk, Е.У. Russky, N.A. Popov. Estimating strength of high-loaded impellers of large-size mine axial fans // Journal of Mining Science, 2012, Volume 48, Issue 2, pp 314-321. DOI 10.1134/S1062739148020128.
3. Русский Е.Ю. Анализ прочности роторов шахтных осевых вентиляторов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 2. С. 31-34.

DEVELOPMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF THICKNESS WALLS GAS PIPELINES

Kancerev A.I., graduate student;

Zurin K.E., graduate student, mr.reals@yandex.ru

Rusky E.Yu., PhD, associate professor, geomining@mail.ru

*Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, 630073,
Russia*

Abstract: Development of systems of independent monitoring of thickness of a wall of a terrestrial gas conduit. A research object is a section of an elevated gas conduit, including its turning elements. Possible methods and approaches by calculation and numerical modeling of processes aerodynamics of gas passing with mechanical impurity on the pipeline. Formation of scientific and methodical bases for the purpose of places detection of abrasive wear localization of an internal surface of the gas trunk pipeline.

Keywords: gas pipe line; pipe wall; control system; measuring system; abrasive wear; severe climatic conditions; intense deformed state.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВЫХ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ

*Курзина Анастасия Дмитриевна, студент;
Гнибедюк Владимир Игоревич, студент;
Шелковой Денис Сергеевич, доцент*

*Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)346-08-43*

Курзина А.Д., email a.d.kurzina@yandex.ru

*Адрес для корреспонденции: Курзина Анастасия Дмитриевна,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)346-08-43*

Аннотация: По принципу действия радиовысотомера А-037 анализируются параметры бортовых радиовысотомеров. Более подробно рассмотрен принцип работы радиовысотомера с частотной модуляцией с возникающими погрешностями измерения и способами их минимизации. Рассмотрены тактико-технические характеристики различных радиовысотомеров. Описаны недостатки и преимущества использования радиовысотомеров.

Ключевые слова: Радиовысотометрия, высота, частотная модуляция, радиовысотомер, частота биения.

1. Введение

В состав бортового обеспечения современных самолетов входит ряд сложных устройств: указатели воздушной скорости, вариометры, компасы, тахометры, высотомеры и пр. Все они важны для обеспечения безопасности полета. Более подробно рассмотрим назначение и принцип действия радиовысотомеров.

В широком понимании, радиовысотомер – это устройство для определения высоты полета летательного аппарата (самолет, вертолет, спутник, ракета и т.д.) над поверхностью Земли радиотехническими методами.

Радиовысотомер имеет ряд преимуществ: высокая точность измерения высоты, отсутствие зависимости от метеоусловий, степени освещенности, благодаря чему и получил такое широкое распространение. Именно поэтому, настоящая работа будет содержать анализ параметров бортовых радиовысотомеров.

2. Принцип работы радиовысотомера

Бортовые радиовысотомеры классифицируются по типу используемого радиоизлучения и методу его обработки:

- радиовысотомер с частотной модуляцией (ЧМ) имеют диапазон измерений до нескольких сотен метров (обычно до 1500 м) и используются в основном при заходе самолета на посадку;

- радиовысотомеры с импульсной модуляцией (ИМ) предназначены для измерения больших высот и применяются преимущественно в военной авиации, в космонавтике, при аэрофотосъемке и в других специальных целях.

Принцип действия импульсного радиовысотомера основан на определении времени прохождения радиосигнала от передающей антенны до отражающей поверхности и обратно, к приемной антенне (основной принцип радиолокации). Высота и время задержки сигнала связаны формулой:

$$h = ct_3/2 ,$$

где h – высота, t_3 – время запаздывания отраженного сигнала, c – скорость распространения электромагнитных волн в свободном пространстве (равное скорости света) [1].

Импульсные радиовысотомеры применяются для измерения больших высот так, как имеют относительно малую погрешность (не превышает 0,25%) от измеряемой высоты. Но из-за сложности отсчета малого времени запаздывания отраженных сигналов относительно излученных (меньше, чем длительность импульсов) измерение малых высот затруднительно.

Поэтому для измерения малых высот применяют радиовысотомеры с непрерывным излучением и частотной модуляцией. Но для измерения больших высот этот метод не подходит из-за сравнительно низкой точности. Случайные ошибки могут достигать 3%.

Исходя из этого, на летательных аппаратах устанавливают как импульсные радиовысотомеры, так и частотные.

Рассмотрим более подробно радиовысотомер А-037 (РВ-5М), который решает следующие задачи:

- измерение истинной высоты летательного аппарата;
- сигнализация об опасной высоте;
- непрерывный контроль собственной исправности [2].

Частотно-модулированный по несимметричному пилообразному закону сигнал с выхода передатчика через высокочастотную головку поступает в передающую антенну и излучается по направлению к земной поверхности. Отраженный от земной поверхности сигнал поступает в приемную антенну и поступает на вход смесителя высокочастотной головки.

Одновременно через делитель мощности в высокочастотной головке на другой вход смесителя подается часть мощности передатчика в качестве гетеродинного сигнала. В смесителе отраженный и гетеродинный сигналы преобразуются в сигнал разностной частоты (частоты биений). Частота биений $F_б$ связана с временем прохождения высокочастотного сигнала τ и параметрами модуляции соотношением:

$$F_б = \tau \frac{\Delta F_M}{T_M},$$

где F_6 – частота биений, τ – время распространения излучаемого сигнала до земли и обратно, ΔF_M – полоса частотной модуляции, T_M – длительность рабочего хода модуляции [3].

Частота биений, в данном радиовысотомере, поддерживается постоянной и обеспечивается контуром стабилизации частоты.

Со смесителя поступает сигнал частоты биения и усиливается усилением низкой частоты. Усиление регулируется автоматически с изменением высоты и не зависит от уровня принимаемого сигнала.

Частота усиленного сигнала биений сравнивается с частотой настройки частотного дискриминатора F_0 . Интегратор обеспечивает равенство частот F_6 и F_0 , благодаря чему улучшаются динамические характеристики. Так же из этого равенства частот следует, что длительность рабочего хода модулирующего напряжения будет пропорциональна измеряемой высоте:

$$T_M = \frac{2\Delta F_M \cdot H_{\text{изм}}}{c \cdot F_0},$$

где F_0 – частота настройки дискриминатора.

Из формулы видно, что погрешность высоты будет определяться нестабильностью полосы частотной модуляции Δf . Для уменьшения этой погрешности в радиовысотомере применяются два СВЧ резонатора с высокой добротностью, один из которых настроен на частоту f_1 , другой – на частоту f_2 . Разность частот $f_2 - f_1$ настройки резонаторов определяет эталонную полосу частотной модуляции f_1, f_2 (рис.1.) [3].

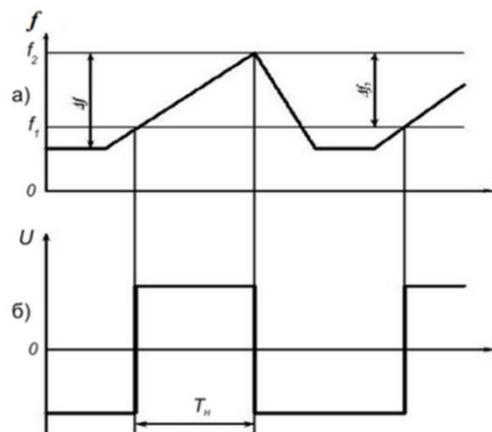


Рис.1. Эюры напряжений, поясняющие принцип формирования измерительного интервала

Когда частота сигнала передатчика достигнет значения, близкого к частотам настройки резонаторов, на их выводах образуются сигналы, которые поступают в модулятор для формирования измерительного интервала.

Из вышеперечисленного следует, что поддержание равенства $F_6 = F_0$ и постоянство эталонной полосы частотной модуляции, обеспечивает независимость длительности измерительного интервала от дестабилизирующих факторов.

Недостатком радиовысотомера с частотной модуляцией является трудность эффективного разделения излучаемых и принимаемых сигналов, из-за чего необходимо устанавливать две антенны: приемную и передающую.

Так же рассмотрим принцип работы барометрического высотомера.

Известно, что с изменением высоты падает давление. И чтобы определить высоту нужно знать давление на уровне полета, а так же на поверхности земли, которые получают по радиосвязи. Помимо этого, атмосферное давление меняется в зависимости от погодных условий. Даже в стабильный день, значение атмосферного давления варьируется из-за температуры воздуха на 1 миллибар, что соответствует изменению температуры на 8 метров. Вследствие чего, барометрический высотомер необходимо калибровать, что не совсем удобно.

3. Тактико-технические характеристики радиовысотомеров

Тактико-технические характеристики (ТТХ) радиовысотомера А-037 занесены в таблицу 1, туда же занесены ТТХ различных радиовысотомеров.

Таблица 1

Тактико-технические характеристики радиовысотомеров

Модель радиовысотомера	Тип модуляции	Рабочая частота, МГц	Диапазон измерения, м	Погрешность измерения, м
А-037	ЧМ	4200...4400	0...750	$\pm 0,1H$
А-053	ЧМ	4200...4400	0...1500	$\pm (1,5+0,05H)$
А-075	ИМ	4200...4400	0...25000	$\pm (1,5+0,015H)$
А-078	ИМ	4200...4400	0...10000	$\pm (0,5+0,1H)$

где H – измеряемая высота.

Диапазон измерения зависит от типа модуляции, о чем говорилось ранее. Целесообразнее измерять малые высоты с помощью частотной модуляции, а большие – импульсной модуляцией для получения более точного результата. При необходимости измерения малых и больших высот в бортовое обеспечение летательного аппарата устанавливают два радиовысотомера с частотной и импульсной модуляцией.

Данные из таблицы 1 показывают, что погрешность измеряемой высоты мала, благодаря чему радиовысотомер и получил такое широкое применение.

4. Выводы

Радиовысотомер не зависит от метеоусловий и является более точным измерителем высоты по сравнению с барометрическим высотомером. Достоинства радиовысотомеров с частотной модуляцией является измерение высот при малых мощностях излучения, в сравнении с импульсными радиовысотомерами, что значительно уменьшает массу и габариты аппаратуры.

Радиовысотомеры с частотной модуляцией и измерением больших высот имеют две разные антенны: передающую и принимающую, что является недостатком.

Радиовысотомеры используются практически во всех летательных аппаратах, а также в системах высокоточного вооружения: крылатые ракеты,

противокорабельные ракеты, снаряды РСЗО с КБЧ и др.

Библиографический список:

1. Чердынцев В.А., Радиотехнические системы. – Мн: «Высшая школа», 1988.
2. Ковалев М.А., Хабло И.И., Золоторев А.Л., Велижанин С.П., Елуфимов, Радиотехнические навигационные средства самолётовождения и посадки. В 2 ч. Ч.1: учеб. пособие. – Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011.
3. Радиовысотомер А-037, руководство по технической эксплуатации. ГУ1.000.051 РЭ.
4. Радиоэлектронные приборы для авиации, ОАО “Уральское проектно-конструкторское бюро «Деталь»”.

AIRBORNE RADAR ALTIMETER PERFORMANCE ANALYZE

Kurzina Anastasia Dmitrievna, Student;

Gnibedyuk Vladimir Igorevich, Student;

Schelkovoy Denis Sergeevich, Associate Professor, Ph.D.

Novosibirsk State Technical University, Prospect K. Marksa, 20, Novosibirsk, 630073, Russia

Kurzina A.D., email a.d.kurzina@yandex.ru

The address for correspondence: Novosibirsk State Technical University, Prospect K. Marksa, 20, Novosibirsk, 630073, Russiatel. (+7383)346-08-43

Annotation: The principle of radio altimeter A-037 operation reveals the parameters of the airborne altimeter. The principle of operation of the radio altimeter with frequency modulation with emerging measurement errors is described in more details and ways of errors minimization too. Tactical and technical characteristics of the different radio altimeters were reviewed. The advantages and disadvantages of the radio altimeters application were described.

Keywords: altimeter, barometric altimeter, pulse altimeter, frequency modulation, radar altimeter, beat frequency

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

*Лех Дмитрий Юрьевич, студент; Заруев Антон Антонович, студент;
Евтушенко Семён Викторович, студент; Кирильчик Антон Александрович,
старший преподаватель*

*Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19*

Лех Д.Ю., email leh_dmitrii@mail.ru

Заруев А.А., email anton4shka@gmail.com

Евтушенко С.В., email evtyshenkosemen@mail.ru

*Адрес для корреспонденции: Лех Дмитрий Юрьевич, Заруев Антон
Антонович, Евтушенко Семён Викторович Новосибирский
государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск,
пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19*

Аннотация: Рассматриваются критерии эффективности комплексов радиоэлектронной борьбы (РЭБ), анализируются и прогнозируются критерии эффективности систем и комплексов РЭБ в ближайшем будущем.

Ключевые слова: Радиоэлектронная борьба, критерии эффективности, помехи.

В настоящее время радиоэлектронная борьба (РЭБ) является одним из ключевых видов обеспечения ведения боевых действий. Принцип действия средств РЭБ заключается в целенаправленном воздействии электромагнитным излучением на различные радиоэлектронные объекты противника в целях:

1. разрушения информационных каналов связи;
2. создания различного рода помех для работы вражеского высокоточного оружия;
3. снижения возможностей противника вести разведку;
4. защита собственных объектов и радиоэлектронных систем от воздействия противника.

Актуальность темы заключается в том, что при разработке и проектировании средств и комплексов РЭБ первостепенное значение придается выбору критериев эффективности, который в значительной степени может оказать влияние на выполнение боевой задачи.

В качестве критерия эффективности средств и комплексов РЭБ должен быть выбран показатель, удовлетворяющий следующим основным требованиям [1]:

1. Соответствие показателя цели исследования и отражение основных назначений изучаемого комплекса или средства РЭБ.
2. Показатель должен быть функционально связан с характеристиками

комплекса или средства РЭБ и чувствителен к изменениям этих характеристик.

3. Показатель должен быть наглядным и в максимальной степени простым.

Критерии эффективности средств и комплексов РЭБ делятся на две группы:

1. Критерии боевой и технической эффективности – определяет степень выполнения комплексом или средством РЭБ стоящих перед ним задач в заданное время. Критерии боевой и технической эффективности являются определяющими при разработке концепции РЭБ.
2. Экономические критерии – характеризуют затраты на создание и эксплуатации комплекса РЭБ. Экономические критерии являются одними из основных критериев при принятии решения о разработке комплексов РЭБ [1].

На практике необходимо оценить эффективность того или иного комплекса РЭБ по некоторому обобщающему критерию, который учитывает боевую (техническую) и экономическую эффективность комплекса РЭБ. Обобщающим критерием является отношение показателя боевой эффективности P_6 к затратам C на создание комплекса, вычисляется по формуле (1):

$$\mathcal{E} = \frac{P_6}{C} \quad (1)$$

Критерий (1) имеет название «эффективность – стоимость», но возможен вариант применения другой разновидности обобщающего критерия, который равен разности показателей P_6 и C , рассчитывается по формуле (2):

$$\mathcal{E} = P_6 - C \quad (2)$$

Проблема применения критерия (2) заключается в не наглядности, т.е. данный критерий не в полной мере отвечает третьему требованию. Показатель эффективности (1) удовлетворяет всем трем требованиям, которые предъявляются к обобщающим критериям, им удобно пользоваться при оценке однотипных средств и комплексов РЭБ.

Сравнение эффективности однотипных средств РЭБ производится с помощью критерия «относительная эффективность – стоимость», расчет ведется по формуле (3):

$$\mathcal{E}_{\text{отн}} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2}, \quad (3)$$

где:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{P_{61}}{C_1}, \quad \mathcal{E}_2 = \frac{P_{62}}{C_2},$$

P_{61} , C_1 , P_{62} , C_2 – показатели боевой эффективности и стоимости, относящиеся к исследуемому первому или второму средству РЭБ.

В случае, когда имеется большое число исследуемых средств РЭБ, то более удобно оценивать их эффективность путем сравнения с эффективностью эталонного средства, рассчитываемой по формуле (4):

$$\mathcal{E}_{\text{эт}} = \frac{P_{6,\text{эт}}}{C_{\text{эт}}}, \quad (4)$$

где $P_{6,\text{эт}}$, $C_{\text{эт}}$ – соответственно боевая эффективность и стоимость эталонного

средства РЭБ.

Для проведения исследований по оценке эффективности средств на различных этапах жизненного цикла (разработка, изготовление опытного образца, испытания, эксплуатация, боевое применение) необходимо установить функциональные зависимости P_6 и C от технических и оперативно-тактических характеристик исследуемого средства.

Технические характеристики представляют собой совокупность параметров величин $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, описывающих схемные, конструктивные, энергетические, информационные и другие особенности средства. Значения технических характеристик зависят от состояния элементной базы, уровня профессиональной подготовки разработчиков и заказчиков. К техническим характеристикам комплекса РЭБ относят энергетический потенциал станции помех, чувствительность разведывательного приемника, массу, надежность и др.

Оперативно-тактические характеристики $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ определяют способы и условия боевого применения средства РЭБ. Примеры подобных характеристик: варианты комплекса РЭБ, виды помеховых сигналов, параметры боевых порядков самолетов и др.

С учетом технических и оперативно-тактических характеристик показатель «эффективность – стоимость», примет вид:

$$Э(\alpha, \beta) = \frac{P_6(\alpha, \beta)}{C(\alpha, \beta)} \quad (5)$$

Где: $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ – вектор технических признаков средства РЭБ;

$\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ – вектор оперативно-тактических признаков средства РЭБ.

В ближайшем будущем следует ожидать резкий рост интереса к средствам РЭБ. Это объясняется достаточно высоким показателем «эффективность – стоимость», а также ростом стоимости на современные системы ПВО, которые являются основным инструментом борьбы с высокоточным оружием.

Стоит учесть зависимость затрат на жизненный цикл (разработка, изготовление опытного образца, испытания, эксплуатация, боевое применение) комплексов РЭБ от их эффективности. При низких затратах мы получим большое количество комплексов РЭБ с меньшей эффективностью средств. При увеличении затрат на жизненный цикл комплексов РЭБ уменьшится количество комплексов, но их эффективность будет повышаться. Зависимость произведенных комплексов РЭБ (k) от затрачиваемых средств на жизненный цикл комплекса РЭБ (s) показана на рисунке 1:

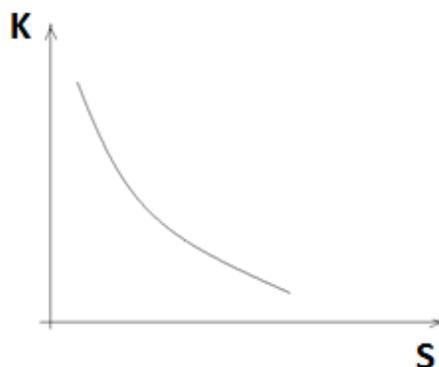


Рис.1. Зависимость произведенных комплексов РЭБ (K) от затрачиваемых средств на жизненный цикл комплекса РЭБ (S)

Зависимость эффективности комплексов РЭБ (H) от затрачиваемых средств на жизненный цикл комплекса РЭБ (S) показана на рисунке 2.

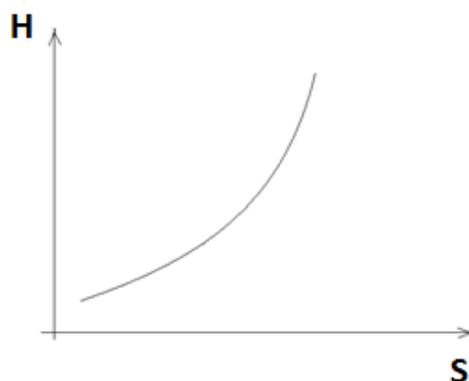


Рис.2. Зависимость эффективности комплексов РЭБ (H) от затрачиваемых средств на жизненный цикл комплекса РЭБ (S)

Таким образом, зная зависимость (5) можно приступить к решению различных задач, которые связаны с исследованием эффективности средств РЭБ:

- 1) Синтез средства, комплекса РЭБ.
- 2) Оптимизация отдельных характеристик средства РЭБ.
- 3) Оценка эффективности применения комплексов РЭБ при решении конкретных боевых задач.
- 4) Поиск и определение рациональных путей совершенствования комплексов РЭБ.
- 5) Определение новых способов боевого применения комплексов РЭБ.

Библиографический список:

1. Радиоэлектронная борьба. Основы теории / А.И. Куприянов, Л.Н. Шустов. – М.: Вузовская книга, 2011. – 800с.: ил. ISBN 978-5-9502-0444-9

ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS PERFORMANCE CRITERION

Lekh Dmitry Yuryevich, student, leh_dmitrii@mail.tu; Saruev Anton Antonovich, student, anton4shka@gmail.com; Yevtushenko Semyon Viktorovich, student, evtyshenkosemen@mail.ru, Kirilchik Anton Aleksandrowich, Senior Lecturer

*Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk,
Avenue Karl Marx, 20*

Abstract: The relevance of the topic lies in the fact that the development and design of vehicles and electronic warfare systems based on a high priority of effectiveness criteria selection, which can noticeably affect the execution of combat missions.

Keywords: Electronic warfare, jammer, effectiveness criterion

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОРРЕКТИРУЕМЫХ АВИАБОМБ

Мишушин Дмитрий Андреевич, студент;

Шибков Илья Анатольевич, студент;

Кропачева Ирина Петровна, старший преподаватель;

Новосибирский государственный технический университет

Кропачева И.П., e-mail i.p.kropacheva@gmail.com

Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

Аннотация: в докладе представлен аналитический обзор отечественных управляемых авиабомб, сравнение с зарубежными аналогами тактико-технических характеристик. Принцип действия систем управления и навигации авиационных бомб необходимо учитывать при проектировании неконтактных датчиков цели.

Ключевые слова: управляемые авиабомбы, корректирующие авиабомбы, радиовзрыватели авиабомб.

1. Введение

Управляемая (корректируемая) авиационная бомба (КАБ) относится к высокоточному оружию. Свойство планирования, которым обладают КАБ, позволяет самолётам-носителям применять их без входа в зону ПВО противника. КАБ может комплектоваться двигательной установкой для достижения возможно большей дальности планирования. Предназначается в основном для поражения малоразмерных и высокопрочных объектов (стратегических КП, тактических ядерных ракет, ВПП, мостов и др.).

В докладе рассмотрены современные управляемые (корректируемые) авиационные бомбы российских Военно-Космических сил (ранее - ВВС), применяемые для поддержки правительственных войск Сирийской Арабской Республики в борьбе с запрещенной в России террористической группировкой «Исламского государства» (ИГИЛ, деятельность организации запрещена в России) и КАБ зарубежного производства.

2. Отечественные управляемые авиабомбы

КАБ-500С

Масса: 560 кг/195 кг ВВ

Круговое вероятное отклонение: 4-7 м

Фугасная управляемая (корректируемая) авиационная бомба относится к высокоточному оружию с принципом «сбросил-забыл», предназначена для поражения стационарных наземных и надводных целей типа складов, военно-промышленных объектов, кораблей на стоянках в любое время суток и при любой погоде.

Система радиовзрывателя основана на распознавании карты местности по телевизионной головке. Головка самонаведения КАБ использует не сам объект,

а ориентиры на местности, чтобы знать свои точные координаты и наводиться на цель, которая не выделяется из ландшафта. Это делает ее более надежной в условиях применения современных средств радиоэлектронной борьбы, когда сигналы GPS/GLONASS могут быть подавлены [1].

Недостатком телевизионной головки наведения является зависимость от погодных условий, поэтому при плохой погоде применяется модель КАБ-500С, использующая ГЛОНАСС-навигацию (именно такие применяют в Сирии) или же КАБ-500Л с системой наведения по лазерному лучу, который может позиционироваться на цели подразделениями спецназа с земли.

Стоимость одной такой бомбы — около 3 миллионов рублей.

КАБ-250С или ЛГ

Масса: 250 кг/127 кг ВВ

Круговое вероятное отклонение: 4-7 м

Самая компактная в своем классе корректируемая авиабомба, которая была впервые продемонстрирована публике лишь в 2011 году. Оснащена как системой приема спутниковых координат, так и собственной тепловизионной головкой самонаведения. Модификация ЛГ позволяет наводить ее при помощи лазерного целеуказания [1].

КАБ-1500

Масса: 1500 кг

Круговое вероятное отклонение: 7-10 м

Корректируемая авиационная бомба КАБ-1500Л-Пр калибра 1500 кг предназначена для поражения высокопрочных стационарных наземных объектов типа складов ядерных боеприпасов, защищенных командных пунктов и других малоразмерных целей. Выполнена по аэродинамической схеме «бесхвостка» с бипланными рулями, оснащена полуактивной лазерной головкой самонаведения, проникающей фугасной боевой частью, способной углубляться в грунт на 20 м и пробивать железобетонные перекрытия толщиной до 3 м. Имеет лазерную полуактивную систему самонаведения [1].

3. Зарубежные управляемые авиабомбы

США

SDB GBU-39

Масса: 130/17 кг ВВ

SDB весит 130 кг и стоит около 70 тыс. долл. SDB была разработана прежде всего, как «умная» бомба, поскольку она была не просто очередной авиабомбой со встроенным комплектом GPS-наведения. SDB имела более эффективную разработку боевой части и систему наведения.

По форме она больше напоминает ракету, чем бомбу (около двух метров длиной и 190 миллиметров в диаметре). SDB выгодно отличается и то, что при взрыве образуется взрывная волна меньшей силы, чем при взрыве обычной бомбы такого размера, что, в частности, позволяет наносить именно точечные удары и, как следствие, приводит к уменьшению числа жертв среди

гражданского населения. Дружественные войска могут находиться ближе к цели при взрыве SDB. Хотя бомбы большего веса при запуске имеют видимый эффект, они, тем не менее, зачастую бывают излишни и даже могут привести к напрасным жертвам.

AGM-154 Joint Standoff Weapon

Масса: 450/108 кг ВВ

Тактическая планирующая управляемая авиационная бомба, предназначенная для поражения широкого спектра стационарных и подвижных целей за пределами зон ПВО.

Наведение на цель применяются при помощи GPS позволяющая уменьшить разброс попадания до 3 м. Бомба разработана в нескольких вариантах различия, в которых определяет тип боевой части. Так же бомба выполнена по технологии стелс [2].

Израиль

Guillotine

Масса: 240 кг

Израильская корректируемая авиационная бомба Guillotine была создана на базе бомбы Griffin с целью обеспечения ВВС Израиля бомбой с увеличенной дальностью и повышенной точностью. Система Guillotine представляет собой модернизационный комплект с лазерной системой наведения, позволяющий переоборудовать обычные бомбы свободного падения в корректируемые.

Данный комплекс предназначен для простой установки на бомбы Mk.82 (240 кг) и Mk.83 (450 кг), находящиеся в большом количестве на вооружении ВВС Израиля.

Благодаря совершенной аэродинамике и улучшенной системе наведения, Guillotine имеет дальность применения около 30 км.

Система наведения выводит бомбу на угол пикирования в 45°, что позволяет бомбе поражать сильноукрепленные цели с наибольшей эффективностью. По заявленным характеристикам, Guillotine имеет КВО 2 метра. Максимальная высота применения до 12 км.

Франция

AASM-125

Масса: 125 кг

Французская управляемая авиабомба оснащена комбинированной системой наведения – инерциальной/спутниковой GPS позволяющая поражать подвижные наземные и морские цели с точностью 10-15м и на дальности 15-60км.

Траектория конечного участка наведения полностью вертикальна, что дает возможность гарантированного поражения цели и сводит к минимуму риск сопутствующих разрушений [3].

4. Сравнения ТТХ управляемых авиабомб

Таблица 1

	КАБ-500С	GBU-39	AGM-154	Guillotine	AASM-125
Масса, кг	560	130	450	240	125
Максимальная дальность, км	70	110	130	30	60
Точность попадания, м	4-7	5-8	-	2	10-15
Система наведения	Телевизионная Спутниковая	Спутниковая	Спутниковая	Лазерная	Инерциальная, спутниковая

5. Принцип действия радиовзрывателей управляемых авиабомб

Существует несколько типов радиовзрывателей отличающихся по принципу навигации и заходу на цель.

Авиабомбы с инерциально-спутниковой навигацией имеющие две антенны глобальной спутниковой связи и одна для приема информации от наземной станции дифференциальных поправок, а также аппаратура глобальной спутниковой и инерциальной навигации [4]. Такая система обеспечивает сверхвысокую точность 3...5 м только при наличии станции дифференциальной привязки. Создание подобных наземных станций в районах военных конфликтов проблематично, что является существенным недостатком.

Авиабомба содержащая последовательно соединенный головной отсек с телевизионным координатором цели [5]. Существенным недостатком является отсутствие круглосуточности и всепогодности авиационных бомб. Такими же недостатками является авиабомбы, оснащенные флюгерной лазерной головкой самонаведения.

Авиационная бомба, стабилизированная по крену, с инерциально-спутниковой системой наведения, без наличия в авиабомбе приборов и антенны дифференциальных поправок, с тепловизионной головкой самонаведения (ГСН) [6]. В данной авиабомбе в носовом приборном отсеке устанавливается тепловизионная головка самонаведения с дальностью действия 2...3 км, в которую перед отделением авиабомбы вводится эталонное изображение цели и которая обеспечивает автономный корреляционный принцип захвата цели и ее автосопровождение. Вместе с тем, тепловизионная ГСН подвержена воздействию уводящих помех и может быть дезориентирована трассерами или ложными целями.

В настоящее время предлагается ввести в использовании системы управления, включающие в себя инерциально-спутниковую систему, активную фазированную антенную решетку ГЛОНАСС (АФАР ГЛОНАСС), доплеровский радиолокационный высотомер и штатную тепловизионную ГСН для обеспечения режима наведения по рельефу местности. Таким образом, будет реализован алгоритм измерения относительных высот местности, над которой осуществляется пролет КАБ, и их сравнения в режиме реального времени с заложенными в память бортового компьютера данными с последующей коррекцией траектории полета бомбы.

Вывод:

В работе представлен аналитический обзор отечественных управляемых авиабомб, сравнение с зарубежными аналогами тактико-технических характеристик. Принцип действия систем управления и навигации авиационных бомб необходимо учитывать при проектировании неконтактных датчиков цели, моделирование параметров которых является следующим этапом исследования.

Библиографический список:

1. <http://www.aveaprom.ru/oruzie-bomb-kab.php>
2. <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-154.html>
3. <http://nevskii-bastion.ru/aasm-guided-bomb-france>
4. Патент РФ 2247314, заявка 2003123742/02 от 01.08.2003.
5. Патент РФ 2014559, заявка 92001864/23 от 22.10.92.
6. Патент РФ 2339905, заявка 2006145550/02 от 22.12.2006.

THE AIR BOMBS CONTROL SYSTEM

Mishushin Dmitriy Andreevich, Student;

Shibkov Iliya Ahatolievich, Student;

Kropacheva Irina Petrovna, Senior Lecturer

Novosibirsk State Technical University, Prospect K. Marksa, 20, Novosibirsk,
630073, Russia

Kropacheva I.P., e-mail i.p.kropacheva@gmail.com

*The address for correspondence: Novosibirsk State Technical University,
Prospect K. Marksa, 20, Novosibirsk, 630073, Russia*

Abstract: the article presents an analytical review of Russian guided air bombs and the comparison with foreign analogues of tactical and technical characteristics. The principle of control systems operation and navigation of aerial bombs are considered.

Keywords: controlled bombs, corrective bombs, radio fuses

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Николаев Павел Андреевич, магистрант; Слободяненко Александр Александрович, магистрант; Русский Евгений Юрьевич, к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Николаев П.А., e-mail dismail30@mail.ru

Слободяненко А.А., e-mail sepwood@gmail.com

Русский Е.Ю., e-mail russkij@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: Николаев Павел Андреевич, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 383-3462623, (913)467-28-23

Аннотация: в статье рассматривается анализ устойчивости схемы стабилизатора напряжения на основе моделирования в программе OrCAD. Вывод о устойчивости схемы делается путём построения ЛАЧХ, ЛФЧХ схемы, а также годографа Найквиста.

Ключевые слова: устойчивость электрической схемы, моделирование в OrCAD, моделирование в SPICE.

При разработке аналоговых устройств необходимо учитывать возможность самовозбуждения устройства. Под самовозбуждением понимается наличие в схеме нарастающих во времени свободных напряжений и токов. Самовозбуждение в схеме появляется по причине наличия паразитных обратных связей, которые образуются через емкостные и индуктивные элементы. Более того, зачастую схема может быть устойчива на определенном диапазоне частот и переходить в самовозбуждение в другом диапазоне. Подробное рассмотрение этого вопроса можно встретить в теории автоматического управления, где возможность системы самовозбуждаться определяется степенью устойчивости.

Любую электрическую схему можно представить в виде системы автоматического регулирования с обратной связью (рис.1) и применяя к ней критерии устойчивости (Гурвица, Михайлова, Найквиста) можно определить устойчива ли схема, и, если схема устойчива, можно оценить запас устойчивости.

Чтобы применить любой из критериев устойчивости необходимо получить систему алгебраических уравнений (САУ). Для простых электрических схем это не является проблемой, поскольку задача решается путём построения контурных уравнений по первому и второму правилу Кирхгофа, а также закону Ома.

Для сложных электрических схем эта задача обычно не решаема, поскольку система контурных уравнений получается большого порядка. В таких случаях удобно использовать специальное программное обеспечение, в котором используется технология SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) моделирования. Примером такой программы является Cadence OrCAD. Программа Cadence OrCAD способна выполнять все основные типы анализа схем, присущие SPICE-моделированию и, в отличие от аналогов, позволяет проводить анализ устойчивости схемы (Stability Analysis).

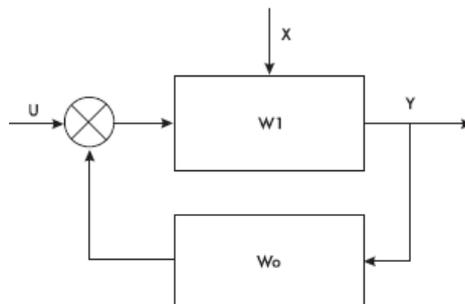


Рис.1. Система автоматического регулирования с обратной связью

Основные составляющие программы это OrCAD Capture – графический редактор схем, OrCAD PSpice A/D – программа моделирования аналоговых и смешанных аналого-цифровых устройств, данные в которую передаются из OrCAD Capture, Probe – графическое отображение результатов моделирования.

Эта и подобные ей программы обладают максимальной точностью и достоверностью в схемотехническом моделировании и зарекомендовали себя уже на протяжении 20 лет.

Применяя вышесказанное, рассмотрим схему стабилизатора напряжения (рис.2). Элементы C2 и C3 выступают в роли корректирующих.

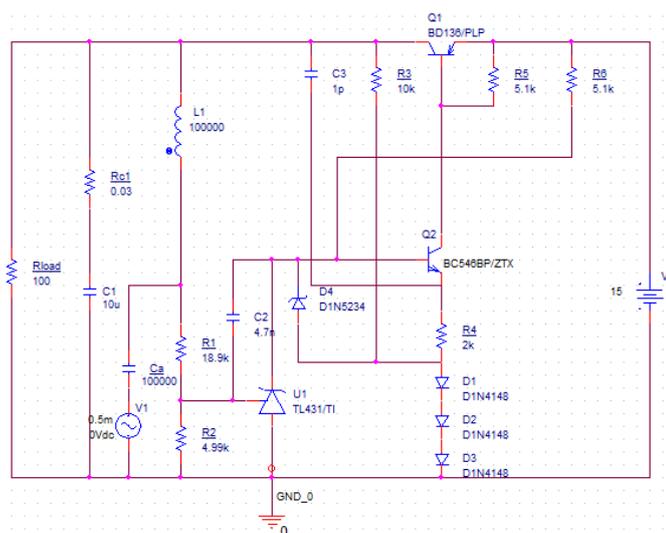


Рис. 2. Схема стабилизатора напряжения

Источник переменного напряжения V1 используется как возмущающее воздействие. Конденсатор Ca и индуктивность L1 используется для разрыва обратной связи по переменному току, а их номиналы выбраны большими для получения неискаженной характеристики на низких частотах.

Для исследования схемы на устойчивость в программе OrCAD проводится моделирование по директиве AC Sweep в диапазоне частот от 1Гц до 1МГц с последующим построением ЛАЧХ и ЛФЧХ, а также годограф Найквиста. Стандартными средствами в программе OrCAD не предусмотрено построение годографа Найквиста, поэтому для его построения необходимо изменить градацию шкалы X на линейную и откладывать на ней вещественную часть АФЧХ, а по оси Y откладывать мнимую часть АФЧХ. Учитывая вышесказанное проведем моделирование схемы без корректирующих элементов C2 и C3 построим годограф Найквиста (рис.3).

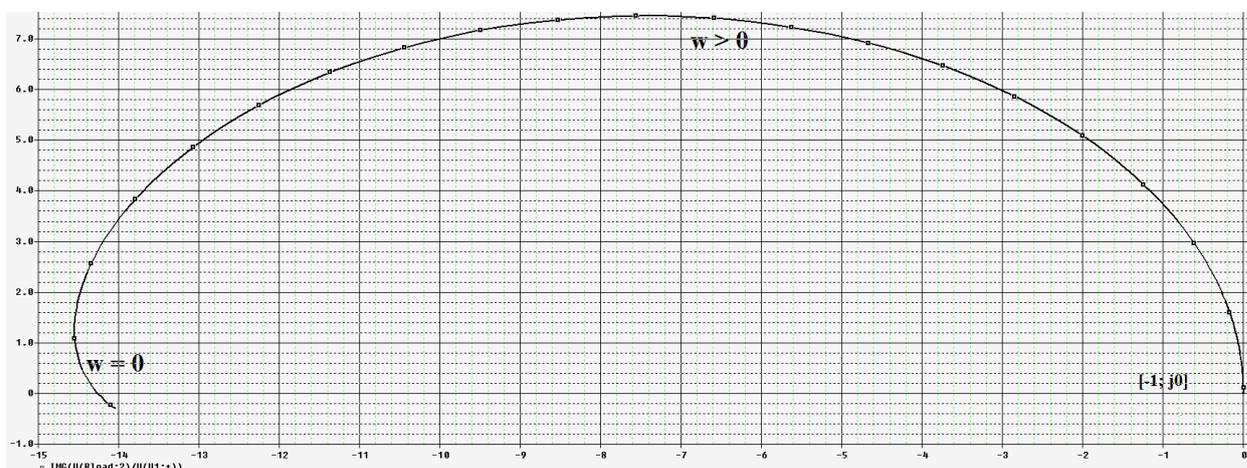


Рис.3. Годограф Найквиста для схемы без коррекции

Согласно критерию устойчивости Найквиста – Михайлова, замкнутая система будет устойчивой, если АФЧХ разомкнутой системы не охватывает точку с координатами (-1;j0). Поскольку годограф охватывает точку (-1; j0) схема неустойчива.

Вводя корректирующие элементы C2 и C3 и подбирая их номиналы можно добиться устойчивости схемы. Задав C2 = 4.7нФ и C3 = 1пФ построим ЛАЧХ и ЛФЧХ полученной схемы (рис.4).

Анализируя полученные графики можно судить о устойчивости схемы. Чтобы схема была устойчива необходимо чтобы ЛАЧХ пересекала ось X раньше (на меньшей частоте), чем ЛФЧХ достигала -180°. Запас устойчивости определяется следующим образом: сначала определяется частота единичного усиления, т.е. точка пересечения ЛАЧХ с осью X, затем по графику ЛФЧХ определяется разница (φ2зап) между углом на частоте единичного усиления и углом -180°.

Из графиков можно сделать вывод, что схема без коррекции (А) возбуждается, поскольку у неё отсутствует запас по фазе на частоте единичного

усиления, в то время как схема с коррекцией (Б) на частоте единичного усиления (6кГц) имеет запас по фазе $> 60^\circ$.

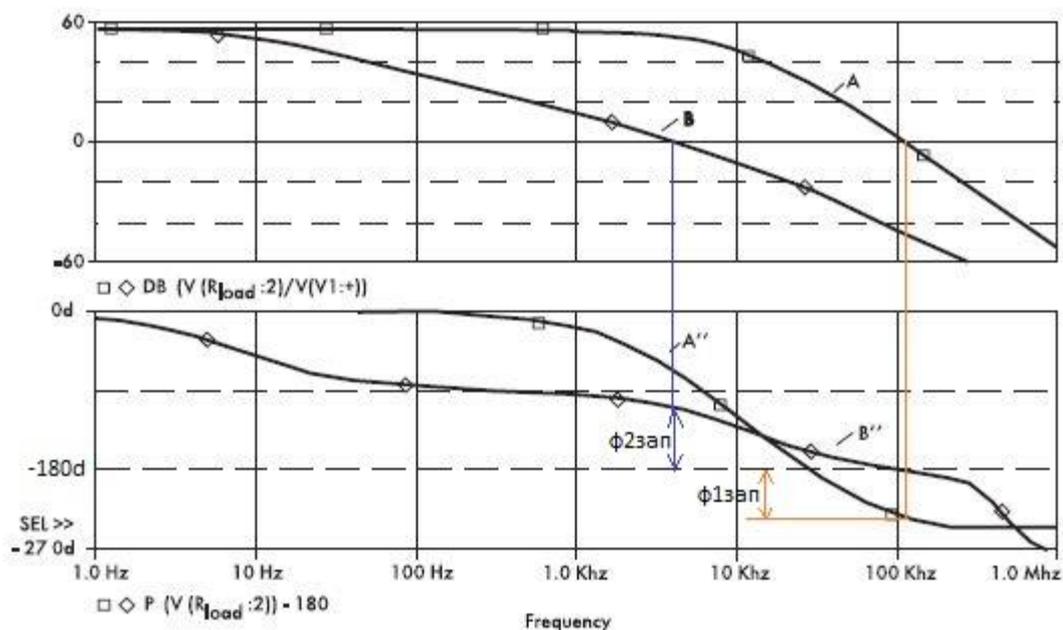


Рис. 4. ЛАЧХ и ЛФЧХ полученные для схемы без коррекции (А, А'') и схемы с коррекцией (В, В'')

Используя численное моделирование и подбирая номиналы корректирующих элементов можно добиться наилучших характеристик схемы, однако необходимо помнить, что моделирование не даёт абсолютной гарантии в корректности результата. Поскольку при моделировании используются упрощенные математические модели электронных компонентов схемы. Максимальной точности можно добиться, используя математические модели предоставляемые предприятием-изготовителем соответствующего электронного компонента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств: учеб. пособие для вузов / О. В. Алексеев, А. А. Головков, И. Ю. Пивоваров, Г. Г. Чавка. – М.: Высш. Шк., 2000. – 479с.
2. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 128 с.
3. Зограф Ф. Г. Основы компьютерного проектирования и моделирования РЭС: лабораторный практикум [Электронный ресурс]–Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2011. – 120 с.
4. Kim D.P. Automatic Control. Theory Nonlinear and Multivariable System.- Seoul: Harnol, 2000. -558p.

THE ANALYSIS OF ELECTRONIC SCHEME STABILITY BASED ON COMPUTER MODELLING

Nikolaev P.A., graduate student, dismail30@mail.ru

Slobodyanenko A.A., graduate student, sepwood@gmail.com

Rusky E.Yu., PhD, associate professor, russkij@corp.nstu.ru

*Novosibirsk state technical university, prospect Karla Marksa, 20, 630073,
Russia*

Abstract: in article the analysis of the scheme stability of the voltage stabilizer on the modeling basis in the OrCAD program is considered. Estimates of stability criteria, their influence on correct work of the electronic scheme are given. Modeling on the basis of SPICE technology is considered. As an example modeling of the scheme of the voltage stabilizer is used. The conclusion about stability of the scheme is drawn by creation of Bode's diagram of the scheme, and also Nyquist's locus.

Keywords: electrical circuit stability, modeling in OrCAD, SPICE modeling.

РАДИОВЗРЫВАТЕЛИ СНАРЯДОВ ЗАРУБЕЖНЫХ РСЗО

*Ольшина Екатерина Анатольевна, студент;
Кропачева Ирина Петровна, старший преподаватель;
Семенов Василий Тимофеевич, старший преподаватель*

*Новосибирский государственный технический университет, 630073,
Россия, г.Новосибирск, пр. К. Маркса, 20*

Ольшина Е.А., e-olshina@mail.ru

*Адрес для корреспонденции: Новосибирский государственный
технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20*

Аннотация: в докладе представлен аналитический обзор радиовзрывателей, их назначение и классификация. Рассмотрены основные тактико-технические характеристики одной из основных американских систем залпового огня и модификации ее реактивных снарядов. Параметры радиовзрывателей определяются характеристиками комплекса вооружения. Авторами для дальнейшего моделирования и оптимизации параметров неконтактных датчиков цели в качестве объекта – носителя – выбрана РСЗО класса «HIMARS».

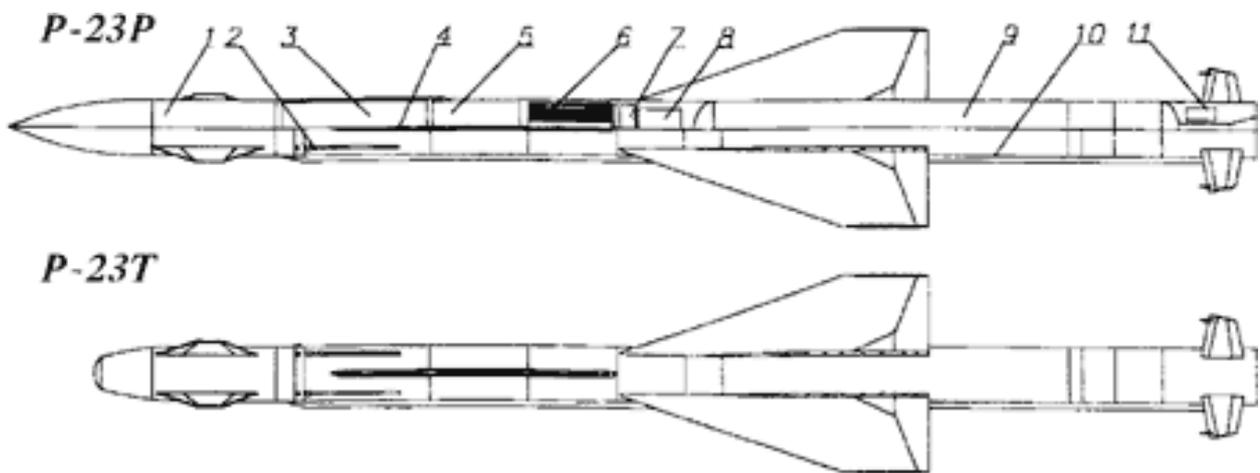
Ключевые слова: радиовзрыватель, система залпового огня.

1. Введение

При надежном выполнении своих функций системой управления боеприпасами трудно рассчитывать на стопроцентную вероятность их прямого попадания в цели, особенно воздушные, обладающие, как правило, большой маневренностью и скоростью полета. Поэтому все реактивные снаряды оснащаются неконтактными взрывателями, срабатывающими при оптимальном приближении снаряда к цели.

2. Назначение и виды радиовзрывателей

Радиовзрыватель представляет собой радиотелемеханическую систему, предназначенную для выработки разовой команды на подрыв боевого заряда, которым снабжен управляемый снаряд. Вероятность непосредственного попадания ракеты в малоразмерную подвижную цель, особенно при больших скоростях сближения, очень мала. Для увеличения вероятности поражения цели на ракетах и применяют радиовзрыватели (РВ), подрывающие боевой заряд при нахождении цели в зоне поражения. Это приводит к увеличению эффективности всего комплекса вооружения. На рисунке 1 показан пример размещения РВ на носителе [1].



1 - ГСН, 2 - приемная антенна РВ, 3 - радиовзрыватель, 4 - передающая антенна РВ, 5 - автопилот, 6 - боевая часть, 7 - турбогенератор, 8 - газогенератор, 9 - двигатель, 10 - газовод, 11 - рулевой привод

Рис.1. Схема ракеты Р-23

РВ выполняются так, чтобы момент взрыва был оптимальным для поражения цели. Этот момент определяется рядом факторов, таких как вид боевой части, параметры осколочного поля, характер взаимного движения снаряда и цели, тип цели [1].

Классификация радиовзрывателей.

1. По принципу действия датчика и способу выделения сигнала от цели:

- Гетеродинные - излучение зондирующего сигнала и прием сигнала, отраженного от цели, осуществляются различными антеннами. Эти РВ обладают большой помехозащищенностью и устойчивостью к внутренним шумам, а также практически неограниченной дальностью действия. Вместе с тем гетеродинные взрыватели более сложны по устройству.

- Автодинные - передача и прием сигналов происходит на одну и ту же антенну. Они отличаются простотой устройства, меньшей массой и габаритами, однако имеют ограниченную дальность действия. Автодинные РВ более подвержены влиянию внутренних шумов и для устранения этого влияния требуются специальные компенсационные устройства.

2. По способу формирования и обработки радиосигнала:

- Доплеровские - имеют датчики сигнала, использующие эффект Доплера. Характерной особенностью этих взрывателей является то, что их передатчик работает в режиме непрерывного излучения радиоволн с постоянной амплитудой и частотой.

- Импульсно-доплеровские - в основе работы лежит известный в радиолокации когерентно-импульсный метод селекции подвижных целей. Импульсно-доплеровские РВ не имеют мертвой зоны и отличаются ближней зоной действия, что способствует повышению помехозащищенности. Дальность действия взрывателя ограничена длительностью импульсов.

- Частотно-модулированные;
- Импульсные.

3. По способу формирования сигнала:
 - Автономные - команда формируется на борту.
 - Неавтономные - команда подрыва формируется на пункте управления и передается на носитель по радиоканалу разовых команд.
4. По числу каналов:
 - Одноканальные – радиочастотные;
 - Комплексируемые неконтактные взрыватели – в них используется два или более информационных канала: радио- и оптоэлектронный (и др.), а исполнительная команда формируется по определенному алгоритму.
5. По размещению первичного источника излучения радиоволн:
 - Активные РВ - содержит радиопередатчик, облучающий цель, и приемник отраженных сигналов.
 - Полуактивные РВ – содержат лишь приемник сигналов от цели, облучаемой источником, находящимся вне носителя (на земле, самолете, корабле).
 - Пассивные РВ – работающие по собственному излучению цели.

Параметры РВ определяются характеристиками комплекса вооружения. Для дальнейшего его моделирования в качестве объекта – носителя – выбрана РСЗО класса «HIMARS».

3. Американская система залпового огня «HIMARS»

Основные характеристики системы :

- боеприпас калибра 227 мм;
- общее число направляющих – 6 единиц;
- дальность действия – до 80 километров;
- поражаемая залповая площадь - 67 тысяч кв.м;
- время, необходимое для проведения залпа - 38 секунд;
- скорость хода - 85 км/ч;
- дальность хода - до 600 километров;
- время, необходимое для следующего залпа - 420 секунд;
- стандартный расчет – три человека;
- боезапас - три залпа.
- вес в боеготовности - около 5.5 тонны.

High Mobility Artillery Rocket System является разработкой американской компании Lockheed Martin. На автомобильном шасси «FMTV» стоят 6 реактивных снарядов РСЗО и 1 ракета ATACMS. Может также использовать боеприпасы всех РСЗО США [2].

ATACMS (англ. Army TACTical Missile System, буквально Армейский тактический ракетный комплекс) – оперативно-тактический ракетный комплекс США производства Lockheed Martin с баллистической ракетой. Баллистическая ракета малой дальности, различные варианты оснащения которой носят индексы МО США MGM-140, MGM-164 и MGM-168.

- **MGM-140A ATACMS Block 1:** Базовый вариант ракеты с инерциальной системой управления и кассетной головной частью, содержащей 950 боевых элементов типа M74. Дальность стрельбы до 165 км.
- **MGM-140B ATACMS Block 1A:** Модернизированная модификация, в которой инерциальная система управления комплексирована с приёмником американской спутниковой системы навигации NAVSTAR, кассетная БЧ содержит 275 боевых элементов M74. Дальность до 300 км.
- **MGM-140 NTACMS:** Корабельная модификация ракеты.
- **MGM-140C / MGM-164A ATACMS Block 2:** Оснащена кассетной БЧ с 13-ю самонаводящимися боевыми элементами *BAT* («БЭТ»), разработанными фирмой Northrop Grumman Corporation. Дальность стрельбы до 140 км.
- **MGM-164B ATACMS Block 2A:** Предполагалось оснащение кассетной БЧ с 6-ю самонаводящимися интеллектуальными боевыми элементами *P³I I-BAT* («усовершенствованный БЭТ») с новой комбинированной ГСН, осуществляющей поиск цели в миллиметровом диапазоне длин волн и двух ИК диапазонах. Дальность стрельбы до 220 км. Работы приостановлены.
- **MGM-140E ATACMS Block 1A Unitary (QRU) / MGM-168A ATACMS Block 4A:** Модификация с осколочно-фугасной БЧ *WDU-18* массой 227 кг и дальностью стрельбы до 270 км.[3].

4.Тактико-технические характеристики РСЗО приведены в таблице 1.

Таблица 1

Модификация	MGM-140A ATACMS Block 1	MGM-140B ATACMS Block 1A	MGM-164A ATACMS Block 2	MGM-164B ATACMS Block 2A	MGM-168A ATACMS Block 4A
Год начала эксплуатации	1991	1998	2003	Работы прекращены в 2003	2003
Кол-во ступеней	1	1	1	1	1
Длина	3,96 м	3,96 м	3,96 м	4,00 м	4,00 м
Диаметр	0,61 м	0,61 м	0,61 м	0,61 м	0,61 м
Размах крыльев	1,4 м	1,4 м	1,4 м	1,4 м	1,4 м
Масса	1670 кг	1320 кг	1480 кг	Нет данных	Нет данных
Масса ГЧ	560 кг	160 кг	268 кг	Нет данных	227 кг
Тип ГЧ	Кассетная 950 БЭ M74	Кассетная 275 БЭ M74	Кассетная 13 самонаводящихся БЭ BAT	Кассетная 6 самонаводящихся БЭ P ³ I I-BAT	Осколочная фугасная WDU-18/B

Дальность стрельбы	165 км	300 км	140 км	220 км	270 км
Тип системы управления	Инерциальная навигация (ИНС)	ИНС + GPS	ИНС + GPS	ИНС + GPS	ИНС + GPS
Точность (КВО)	225-250 м	Менее 100 м	200 м	Менее 100 м	10-20 м

5. **Основные требования к РВ** вытекают в первую очередь из необходимости обеспечить достаточно высокую вероятность поражения цели. Эта вероятность зависит от качества согласования области срабатывания РВ с областью поражения цели боевым зарядом. Вероятность поражения цели зависит также от надежности РВ, которая определяется как вероятностью выхода из строя узлов и элементов его схемы, так и вероятностью ложного срабатывания из-за электрических наводок и внутренних шумов. Существенным является требование высокой помехоустойчивости. Помехоустойчивость РВ можно характеризовать, например, средней мощностью помехи на входе его приемника, при которой резко возрастает вероятность преждевременного срабатывания. К РВ боевых зарядов предъявляется также требование безопасности обслуживания, удовлетворяемое введением разного рода предохранителей. Очевидно, что также важны и обычные требования к уменьшению веса, габаритов, потребляемой мощности [1].

Выводы: Параметры радиовзрывателей определяются характеристиками комплекса вооружения. Авторами для дальнейшего моделирования и оптимизации параметров неконтактных датчиков цели в качестве объекта – носителя – выбрана РСЗО класса «HIMARS».

Библиографический список:

1. Конспекты лекций «Радиосистемы управления», Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)
2. Военное обозрение, 2 января 2012 г.
<https://topwar.ru/9792-top-pyaterka-reaktivnyh-sistem-zalpovogo-ognya-otechestvennogo-i-zarubezhnogo-proizvodstva.html>
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/MGM-140_ATACMS

THE RADIO CONTROLLED FUSES OF FOREIGN MLRS SHELLS

Olshina Ekaterina Anatolievna, Student;

Kropacheva Irina Petrovna, Senior Lecturer;

Semenov Wasiliy Timofeewich, Senior Lecturer

Novosibirsk State Technical University,

Prospect K. Marksa, 20, Novosibirsk, 630073, Russia

Olshina E.A., e-olshina@mail.ru

Kropacheva I.P., e-mail i.p.kropacheva@gmail.com

The address for correspondence: Novosibirsk State Technical University,

Prospect K. Marksa, 20, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: the paper presents an analytical overview of radio controlled fuses, their purpose and classification. The main performance characteristics of one of the best of American systems of volley fire and missile modifications applied to this system were described

Keywords: radio fuse, volley fire rocket system

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБНАРУЖЕНИЯ КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ ЛОКАЦИИ

Орлова Мария Владимировна, доцент кафедры АИУС НГТУ, канд. техн. наук, доцент, Эдвабник Валерий Григорьевич, канд. техн. наук, чл.-корр. РАН, старший научный сотрудник, заместитель генерального директора АО «НИИЭП» по развитию, профессор кафедры АИУС НГТУ, Лепшей Татьяна Викторовна, магистрант, Пуртов Антон Игоревич, магистрант

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (+7383)346-26-23, АО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Новосибирск, ул. Писарева, 53, тел. (+7383)216-05-63

Орлова М. В., e-mail orp_aius@mail.ru

Эдвабник В.Г. e-mail: niiep@oaoniiiep.ru

Лепшей Т. В., e-mail tanya.lepshej@yandex.ru

Пуртов А. И. e-mail a.p.93@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Орлова Мария Владимировна, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (+7383)346-26-23

Аннотация: Рассматриваются различные способы совместной обработки сигналов с выходов каналов комплексированной системы, позволяющие повысить характеристики обнаружения при воздействии различного вида помех. Разработана программа, позволяющая оценить выигрыш за счет комплексирования каналов и исследовать характеристики системы в зависимости от характеристик каналов, что позволяет подобрать оптимальные характеристики для конкретных условий применения системы.

Ключевые слова: многоканальная система, взаимная компенсация помех, межканальная корреляция помех, решения об обнаружении, совместная обработка решений, вероятность правильного обнаружения, вероятность ложной тревоги, помехоустойчивость.

Комплексированные системы – это многоканальные системы, в которых применяется совместная обработка результатов воспроизведения различными устройствами (системами) одного и того же сообщения или нескольких различных, но статистически связанных сообщений [1]. Под комплексированием устройств также понимается объединение их в единую комплексную (комплексированную) систему, осуществляющую совместную обработку информации [2]. Цель комплексирования – повышение

характеристик за счет избыточности сообщения. При проектировании систем ближней локации комплексирование применяется для повышения вероятности обнаружения объектов, в первую очередь, в условиях воздействия помех. Это достигается за счет дополнительной информации об обнаруживаемом объекте при использовании нескольких каналов, а также за счет использования принципа компенсации.

Наибольший выигрыш достигается при совместной обработке аналоговых реализаций, поступающих с выходов каналов комплексированной системы [3]. При этом выигрыш в помехоустойчивости значителен только в том случае, когда помехи, поступающие с выходов приемников различных каналов, коррелированы между собой. Алгоритм обработки информации заключается в формировании компенсирующих напряжений в каждом канале, оптимальной фильтрации суммарного сигнала в каждом канале, суммировании сигналов с выходов всех каналов и сравнении результирующей суммы с порогом [3]. При превышении порога принимается решение о наличии полезного сигнала.

Характеристики обнаружения зависят от степени межканальной корреляции, то есть, от величины и знака коэффициента межканальной корреляции помех, а также коэффициента межканальной корреляции полезных сигналов. Например, для случая обнаружения объекта комплексированной системой, состоящей из двух каналов, на рисунке 1 приведены зависимости вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал-помеха в каналах при различной степени межканальной корреляции помех.

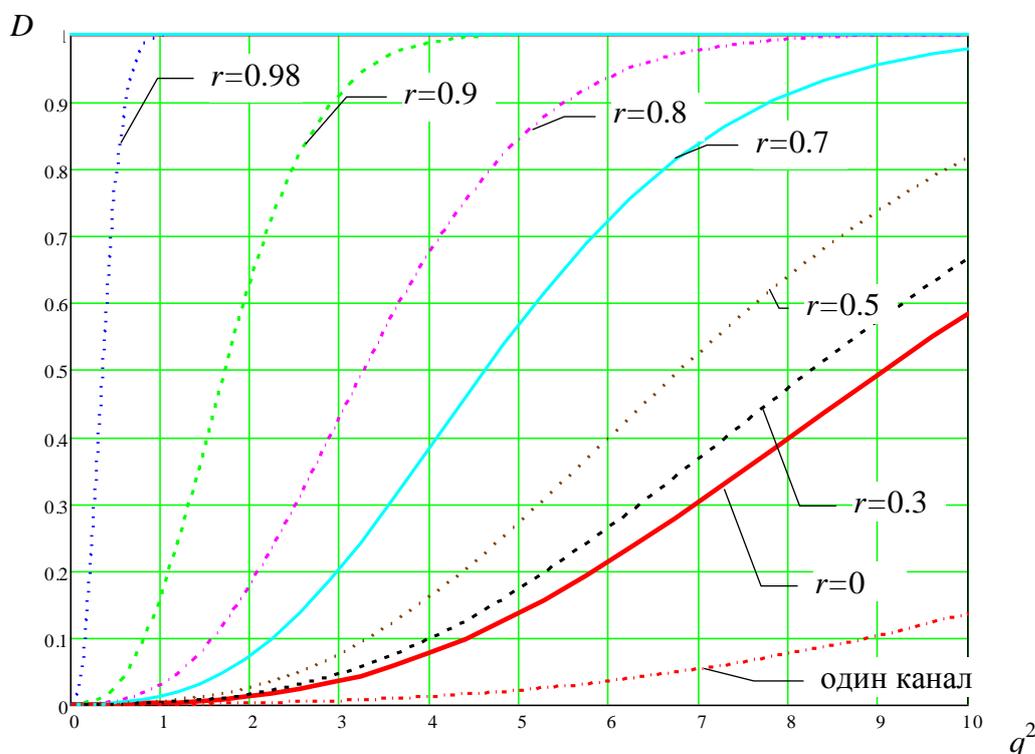


Рис. 1. Зависимости вероятности правильного обнаружения D двухканальной системы и одного канала от отношения сигнал-помеха в каналах q^2 при различных значениях коэффициента межканальной корреляции помех r

Как видно из рисунка 1, при высоких значениях коэффициента корреляции помех обеспечивается достаточная вероятность правильного обнаружения даже при малых отношениях сигнал-помеха в каналах.

При совместной обработке компенсирующие напряжения формируются в зависимости от коэффициентов межканальной корреляции помех. Матрица коэффициентов межканальной корреляции помех может быть оценена на этапе адаптации системы. Взаимная компенсация помех также может быть реализована в частотной области с использованием трансверсальных фильтров и цифровых методов обработки сигналов [4, 5].

Если помехи в каналах системы между собой не коррелированы, обработку принятых реализаций целесообразно проводить в каждом канале отдельно, а результаты подавать на блок комплексирования для дальнейшей обработки. Такой подход может быть использован также в том случае, когда используются уже разработанные автономные локаторы или в каналах используются различные физические принципы действия. Если информация поступает с выходов каналов в виде решений об обнаружении или необнаружении объекта, то есть, обрабатываемая информация представляет собой вектор, состоящий из нулей и единиц, алгоритм принятия решения об обнаружении может быть записан в виде [2]:

$$\sum_{i=1}^N \delta_i \ln \left(\frac{D_i(1-F_i)}{F_i(1-D_i)} \right) \geq \Lambda_0, \quad (1)$$

где δ_i – решение об обнаружении или необнаружении объекта i -м каналом, N – количество каналов, D_i – вероятность правильного обнаружения i -го канала; F_i – вероятность ложной тревоги i -го канала, Λ_0 – порог обнаружения.

Вклад каждого канала в результирующее решение об обнаружении зависит от характеристик канала. Если для всех каналов вероятности ложной тревоги и правильного обнаружения одинаковы, вероятность правильного обнаружения D , вероятность ложной тревоги F и результирующая вероятность обнаружения W комплексированной системы определяются по формулам

$$D = \sum_{m=\Lambda_0}^N C_N^m D^m (1-D)^{N-m}, \quad F = \sum_{m=\Lambda_0}^N C_N^m F^m (1-F)^{N-m},$$

$$W = D(1-F) \quad (2)$$

где $C_N^m = \frac{N!}{m!(N-m)!}$ - число сочетаний из N по m .

Разработаны программы исследования характеристик обнаружения для различных вариантов построения комплексированной системы. Например, на рисунке 2 приведены характеристики обнаружения двухканальной системы, реализующей алгоритм (1), при одинаковых характеристиках каналов, в зависимости от вероятности ложной тревоги одного канала при различных значениях порога обнаружения. Для оценки выигрыша за счет объединения

каналов задаются начальные значения вероятности правильного обнаружения $D = 0,95$ и вероятности ложной тревоги $F = 0,1$. Кривые соответствуют принятию решения об обнаружении по схеме «И» и принятию решения по схеме «ИЛИ», а также приведены характеристики одноканальной системы. Для сравнения рассмотрен вариант объединения трех каналов и выигрыш по сравнению с двухканальной системой. На рисунке 3 приведены характеристики обнаружения трехканальной системы при одинаковых характеристиках каналов в зависимости от вероятности ложной тревоги одного канала.

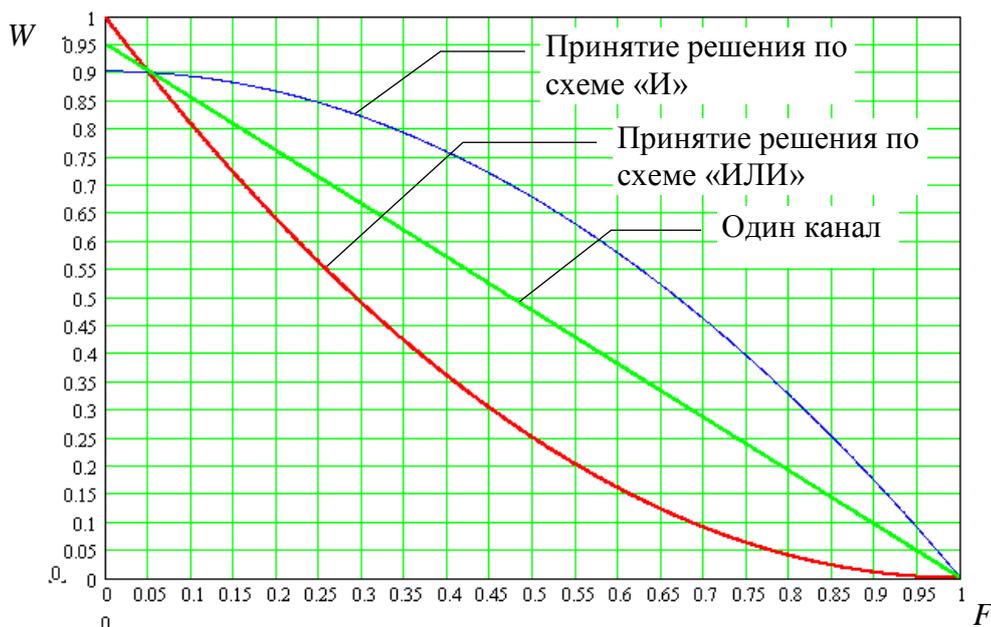


Рис. 2. Зависимости вероятности обнаружения W двухканальной системы и одного канала от вероятности ложной тревоги одного канала F

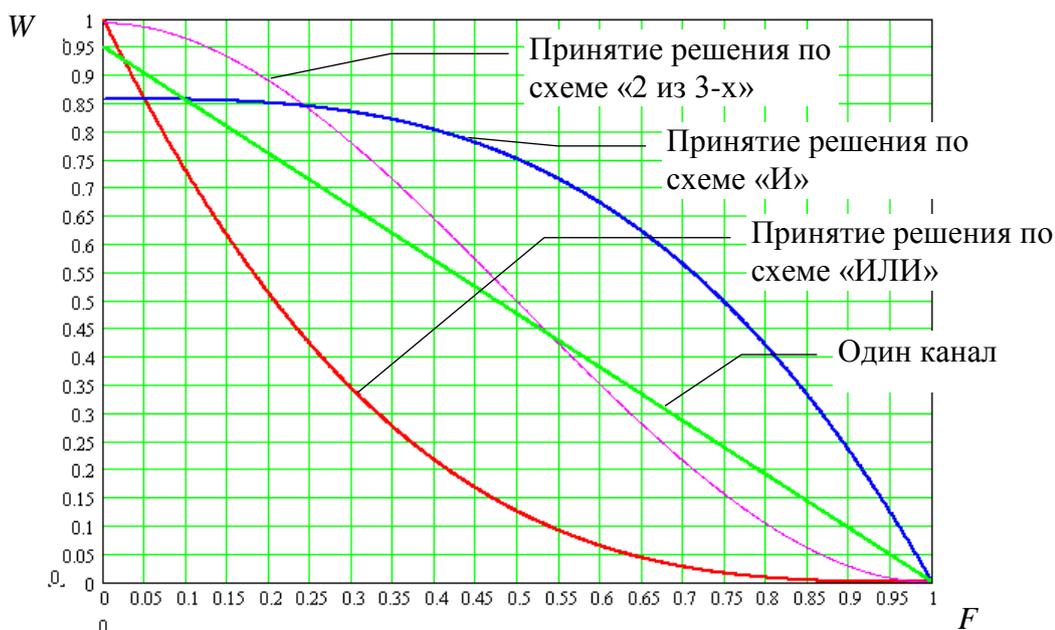


Рис. 3. Зависимости вероятности обнаружения W трехканальной системы и одного канала от вероятности ложной тревоги одного канала F

Графики приведены для различных значений порога обнаружения, которые соответствуют принятию решения об обнаружении по схеме «И», принятию решения по схеме «два из трех» и принятию решения по схеме «ИЛИ», а также характеристики одноканальной системы.

Многоканальные комплексированные системы применяются прежде всего при обнаружении объектов в сложной помеховой обстановке, поэтому при разработке необходимо рассматривать возможности объединения каналов с различными характеристиками обнаружения и исследовать возможности повышения помехоустойчивости. Например, на рисунке 4 приведены результаты расчетов вероятности обнаружения двухканальной системы в зависимости от вероятности ложной тревоги второго канала.

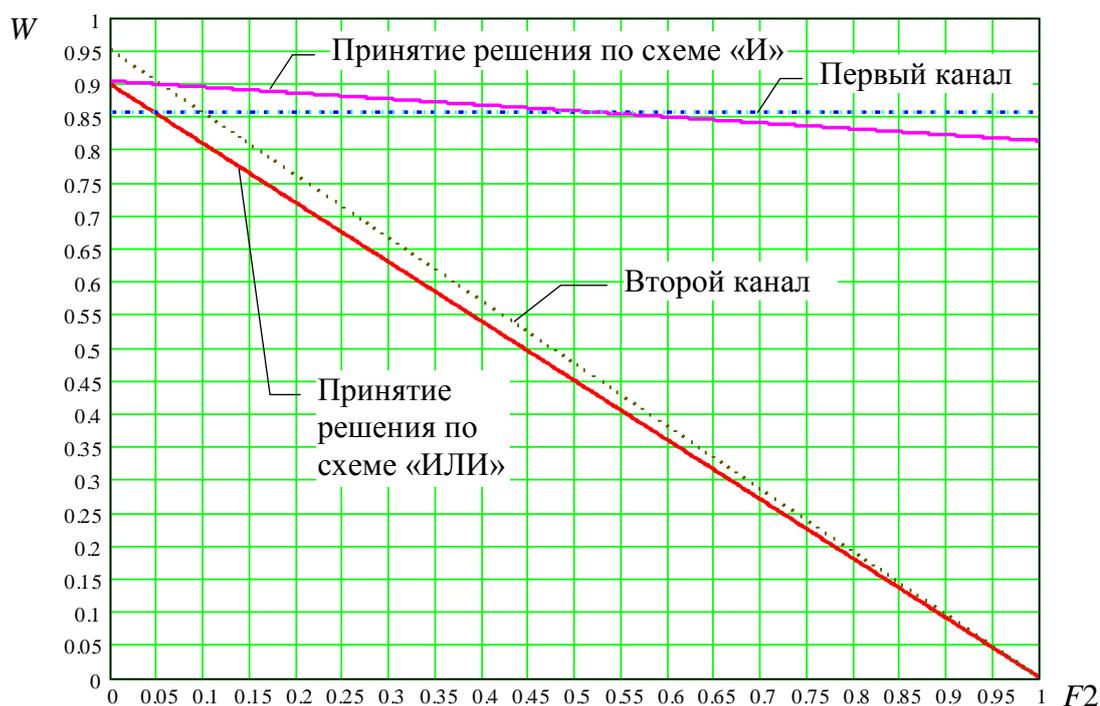


Рис. 4. Зависимости вероятности обнаружения W двухканальной системы и каналов по отдельности от вероятности ложной тревоги второго канала F_2

Разработанная методика и комплект программ для оценки характеристик комплексированных систем представляют практический интерес с точки зрения определения потенциальных возможностей многоканальной комплексированной системы и оценки выигрыша, который может быть получен при различных характеристиках отдельных каналов.

Библиографический список:

1. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
2. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
3. Орлова М.В. Обработка сигналов в комплексированных системах ближней локации: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 76 с.

4. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993.

5. Орлова М.В. Адаптивная компенсация помех в комплексированных системах ближней локации при различной степени межканальной корреляции с использованием цифровых методов обработки сигналов. – Сборник материалов Международной научной конференции Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. – Специальные вопросы фотоники: Наука. Оборона. Безопасность. - 2016. №.8. С. 24 - 28.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITIES OF COMPLEX SHORT-RANGE LOCATION SYSTEM DETECTION CHARACTERISTICS IMPROVING

Maria V. Orlova, Associate Professor, Ph.D., Associate Professor, e-mail onp_aius@mail.ru,

Valery G. Edvabnik, Ph.D., Corresponding member of Russian Academy of Missile and Ammunition Sciences, Senior Researcher, Deputy General Director for development, Professor, e-mail: niiep@oaoniiep.ru,

Tatyana V. Lepshej, Graduate Student, e-mail tanya.lepshej@yandex.ru, Anton I. Purtov, Graduate Student, e-mail a.p.93@mail.ru

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (+7383)346-26-23

Joint-Stock Company «Scientific research Institute of electronic devices», Russia, Novosibirsk, Pisarev St., 53, (+7383)216-05-63

Abstract – Different ways of joint signal processing in complex location systems are considered, that provide detection characteristics increasing in various jamming conditions. Complex system performance evaluation procedures are proposed to estimate detection probability gain and investigate complex system probability characteristics for various characteristics of the channels-components and the system. These procedures provide optimal channel characteristics and system characteristics finding for specific conditions.

Key words – multi-channel system, mutual jamming compensation, inter-channel jamming correlation, detection decisions, joint decisions processing, correct detection probability, false alarm probability, noise-immunity.

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПЕРЕХОДОВ

Фисун Иван Дмитриевич, аспирант кафедры АИУС;
Легкий Владимир Николаевич, доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой АИУС, *Демидов Дмитрий Евгеньевич*, *Читава*
Александр Романович, аспирант кафедры АИУС, ,

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Маркса, 20,
Фисун И. Д., e-mail: xfisunx@gmail.com
Легкий В.Н., e-mail: snios@mail.ru
Дмитрий Е. Д., e-mail: dmdem@ngs.ru
Читава А.Р., e-mail: alexandrchitava92@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: Фисун Иван Дмитриевич, Новосибирский
государственный технический университет, 630073, Россия, г.Новосибирск,
пр. Карла Маркса, 20, тел. (+7383)346-26-23

Аннотация: Рассматривается задача оптимизации проектирования и производства многослойных печатных плат. Предлагаемый метод основан на использовании микропереходов, а также использовании пленочного фотодиэлектрика вместо жидкого, что существенно сказывается на надежности печатной платы. Также рассматриваются возможные материалы диэлектриков для создания микропереходов.

Ключевые слова: микропереход, печатные платы, проектирование печатных плат, лазерное сверление отверстий, многослойные печатные платы, жидкие диэлектрики, сухие пленочные диэлектрики, носители кристаллов, фотофторирование.

Обычно печатные платы используются в качестве носителей и соединителей компонентов. сейчас они представляют собой весьма сложные функциональные устройства. средний уровень печатных плат определяет : техника травления (100 мкм проводники), процессы прессования (10 слоев, толщина платы 1,6 мм), техника сверления (кп сквозных переходов 0,7 мм при конечном диаметре перехода 0,2 мм).

С ростом сложности микросхем увеличивается количество выводов и уменьшается шаг выводов. Такие микросхемы как bga - микросхемы с матрицей шариковых выводов, csp - микрокорпуса в размер кристалла, flip-chip - перевернутый кристалл, требуют высокоплотных печатных плат. Например, в видеокамерах используются печатные платы послойного наращивания с

шириной проводников и зазоров 50 мкм и с переходными отверстиями 100 мкм.

Печатные платы наряду с проводниковыми слоями должны содержать слои печатных резисторов и конденсаторов, выполняющих согласующие и блокирующие функции для достижения требуемой помехозащищенности. Для подключения к таким элементам требуются микропереходы, а не сквозные переходы, которые вносят большие электрические неоднородности. На рисунке 1 показан наглядный пример использования микропереходов и глухих отверстий, и чем они отличаются от сквозных.

Высокоплотные печатные платы с микропереходами и слоями резисторов и конденсаторов имеют следующие достоинства:

- 1) малое количество слоев;
- 2) более короткие сигнальные линии связи;
- 3) интегрированные резисторы (от 20 ом до 150 ком);
- 4) уменьшенное количество сверленных сквозных отверстий;
- 5) возможность монтажа большего количества компонентов на заданной площади;
- 6) улучшенные высокочастотные свойства;
- 7) значительно улучшенные характеристики помехозащищенности;
- 8) возможность устранения компонентов на стороне пайки волной.

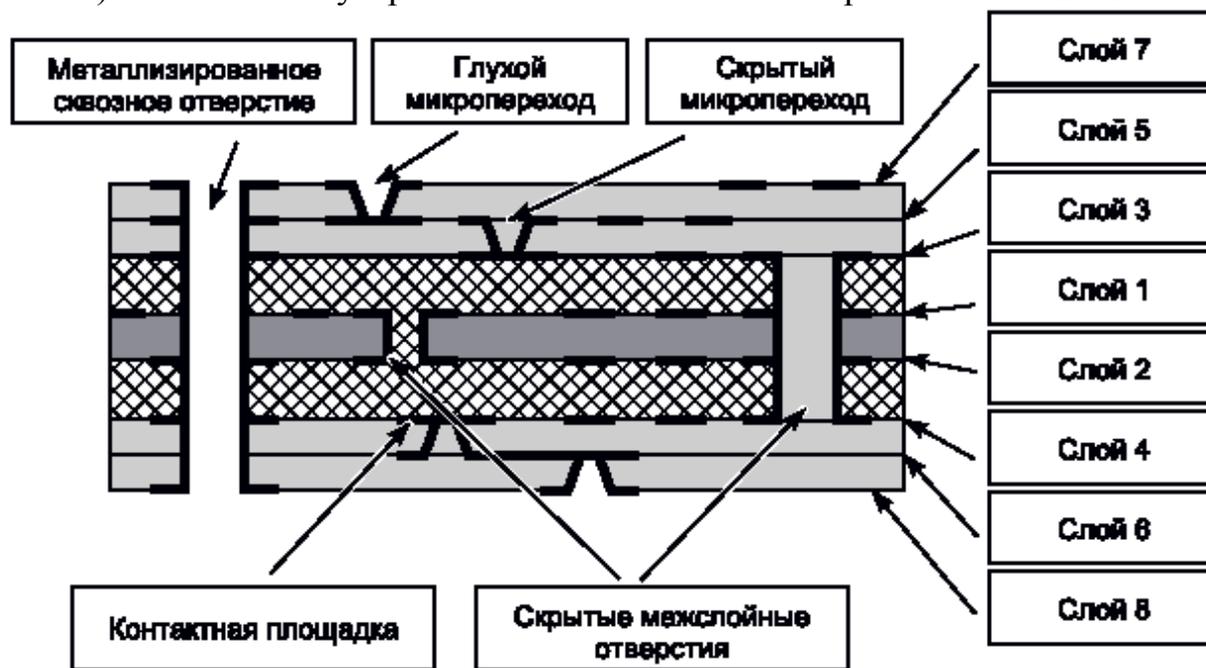


Рис. 1. Разрез 8-слойной печатной платы

Технологии получения микроотверстий:

- 1) Фотолитография - когда отверстия получают воздействием раствора проявителя на диэлектрик;
- 2) Плазма - когда отверстия получают травлением медной фольги и вскрытый диэлектрик удаляется воздействием плазмы;
- 3) Механика - когда отверстия получают механическим сверлением или воздействием пемзы.
- 4) Лазер - когда отверстия получают удалением и меди и диэлектрика

путем их разложения под действием лазерного луча.

После получения отверстий производится химическая и электрохимическая металлизация стенок отверстий для осуществления Прямая металлизация дает хорошие результаты при металлизации глухих микропереходов, обеспечивая хорошую адгезию, полное покрытие, однородность осаждения. Большая толщина изоляции обеспечивает беспористую изоляцию, большую величину пробивного напряжения, меньшую паразитную связь между цепями, а также защиту от роста проводящих анодных нитей. Большая толщина изоляции усложняет формирование отверстий и металлизацию стенок отверстий, т.к. увеличивается отношение толщины к диаметру отверстия.

Интегрирование технологии микропереходов в текущую технологию многослойных печатных плат: производители печатных плат должны выбирать способы интеграции высокоплотной технологии в их производство с минимальными капитальными затратами и людскими ресурсами.

Основным направлением технологии высокоплотных соединений является технология послойного наращивания перераспределительных (наружных) слоев. Технология микропереходов на основе фотообрабатываемого диэлектрика требует значительных инвестиций в оборудование и значительное улучшение контроля фотошаблонов и проявления изображения. Кроме того, аддитивные процессы металлизации являются источниками трудностей получения адгезии, дефектности и производительности.

Обычные плазменные установки, используемые для очистки от замазывания или для обратного травления отверстий не могут быть использованы для плазменного травления микроотверстий. требуются специально разработанные для этих целей установки.

Технологии микропереходов реализуются на широком наборе материалов. В технологии фотообрабатываемого диэлектрика можно использовать жидкий или пленочный материал. в технологии сверления отверстий можно использовать покрытую смолой фольгу, фольгированный диэлектрик на основе арамида, полиимидной пленки или FR-4.

В технологии сверления микроотверстий используют один из материалов: FR-4 ламинат или препрег с фольгой (крышкой); фольга покрытая смолой; арамидный ламинат или препрег с фольгой; полиимидный пленочный ламинат; препрег на основе фторопласта.

Выбор материала зависит от способа сверления микроотверстий. например, неорганические армированные материалы плазма травить не может. полиимидная пленка отличается от подложки по химическому составу, поэтому обработка будет значительно сложнее. FR-4 и покрытая смолой фольга являются наиболее подходящими материалами в силу следующих причин: их химический состав совместим с подложкой, что уменьшит проблемы горючести, а их однородность обеспечивается условиями этапов их производства.

Покрытая смолой фольга обеспечивает гладкую поверхность, тонкий диэлектрик и стандартные операции прессования, а также легкость удаления диэлектрика при формировании микроотверстия, т.к. он однороден и не армирован инородным материалом.

Для лазерного сверления микроотверстий используют ламинат FR-4 с 12 мкм фольгой и одним слоем препрега толщиной 40-60 мкм. Применяют несколько типов лазеров для сверления микроотверстий, такие как эксимерный УФ лазер, Nd:YAG лазер и CO₂ лазер. энергия лазерного луча оптически концентрируется в очень узкий луч для сверления малых отверстий. Эксимерный лазер с короткой волной может производить чистые отверстия с вертикальной стенкой во многих подложках - керамике, стекле и в полимерах. Nd:YAG лазер используют для сверления металла, в том числе меди, стали и полимеров. CO₂ лазер хорошо сверлит полимеры.

При сверлении отверстий Nd:YAG и CO₂ лазером на стенках и на дне отверстий появляются некоторые загрязнения. особенно трудно удаляются углеродные соединения.

Преимущества лазерного сверления отверстий:

- можно делать отверстия в любом месте в соответствии с программой,
- можно делать отверстия различной глубины, которая требуется,
- не образуется большое побочное загрязнение.

Недостатки лазерного сверления отверстий это более высокая стоимость по сравнению с фотоформованием отверстий для плат с очень большим числом отверстий.

Преимущества проектирования МПП с покрытой смолой фольгой (RCC): перераспределение связей, высокая плотность компоновки, поддержка высокоплотных микросхем (BGA и др.), реализация микропереходов и глухих переходов, а также уменьшение количества слоев.

12 слойные МПП преобразуются в 8 слойные (2 сигнальных и два слоя земля/питание устраняются). Покрытие способствует массовому ламинированию 4 слойных подложек и дает возможность изготовления жестко-гибких печатных плат. Также при таком проектировании мы получаем низкую диэлектрическую постоянную (3,4).

Широкое применение фоточувствительного диэлектрика для формирования микроотверстий сдерживается малым процентом выхода годных из-за неоднородности толщины диэлектрика, надежности экспонирования и травления, плохой адгезии меди.

Сравнение жидкого и пленочного фотодиэлектрика: толстые слои фотодиэлектрика эффективней получать с помощью сухого пленочного фотодиэлектрика, т.к. растворитель из него уже удален производителем этого материала на стадии производства. Поэтому отсутствуют процессы усадки его при ламинировании на подложку.

Жидкий диэлектрик за одно покрытие наносится толщиной 25 - 50 мкм в зависимости от метода нанесения. С помощью сухого пленочного диэлектрика с одного прохода достигается толщина 25 - 63,5 мкм с высокой

равномерностью толщины.

Пленочный диэлектрик наносится одновременно на обе стороны заготовки, жидкий диэлектрик наносится поочередно на одну сторону и обычно требуется несколько проходов для получения требуемой толщины. Сухой пленочный диэлектрик не содержит пузырьков и проколов, что исключает появление непредусмотренных микропереходов.

Для оптимизации стоимости и функциональных возможностей на рынке появились носители кристаллов на основе печатной платы. используется фотоформование с пленочным фоточувствительным диэлектриком.

Преимущества носителей кристаллов на основе печатной платы: из одной групповой печатной платы можно изготовить до 500 носителей. Низкая диэлектрическая постоянная материала, согласованность коэффициента расширения носителей и монтажных плат.

Многоуровневые микропереходы обеспечивают: сокращение количества слоев печатных плат, увеличение функциональной плотности печатных плат и снижение стоимости.

Библиографический список:

1. В. Birch, “Reliability Testing for Microvias in Printed Wire Boards”, Circuit World, Vol. 35, No. 4, pp. 3 – 17, 2009.

2.. Y. Ning, M. H. Azarian, and M. Pecht, Simulation of the Influence of Manufacturing Quality on Thermomechanical Stress of Microvias, IPC APEX 2014 Technical Conference, March 25–27, 2014

3. IPC-2226, “Sectional Design Standard for High Density Interconnect (HDI) Printed Boards,” April 2003.

4. ГОСТ Р 55250—2012 Воздушный транспорт. Аэропорты. Технические средства контроля доступа и инженерно-технические средства охраны. Общие технические требования.

PRINTED ELECTRONIC CIRCUIT BOARDS WITH MICROVIAS

*Ivan D. Fisun, Postgraduate, e-mail: xfisunx@gmail.com,
Vladimir N. Legkiy, Doctor of Engineering Sciences, Assoc. Prof.,
Head of the Department Autonomous Information and Control Systems,
e-mail: snios@mail.ru, Dmitry D. Demidov, e-mail: dmdem@ngs.ru,
Alexandr R. Chitava, Postgraduate, e-mail: alexandrchitava92@yandex.ru
Novosibirsk State Technical University,
20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (+7383)346-26-23*

Annotation – The problem of optimization and production of multi-layer printed circuit boards is considered. The proposed method is based on the use of microtransitions, as well as the use of film photoelectric instead of liquid, which significantly affects the reliability of the printed circuit board. Possible materials of dielectrics for creating micro-transitions are also considered.

Keywords – microvias, printed circuit boards, design of printed circuit boards, laser drilling of holes, multilayer printed circuit boards, liquid dielectrics, dry film dielectrics, crystal carriers, photofluorination.

АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ИК ДИАПАЗОНЕ

*Черников Андрей Андреевич, магистрант,
Легкий Владимир Николаевич, доктор техн. наук, зав. каф. АИУС,
Алексеев Константин Аркадьевич, магистрант*

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

Черников А.А., e mail: ancher1994@gmail.com

Легкий В.Н., e-mail: sniios@mail.ru

*Адрес для корреспонденции: Черников Андрей Андреевич,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (+7383)346-26-23*

Аннотация: Рассмотрен алгоритм обнаружения одиночного нагретого объекта в ИК диапазоне на однородном фоне. В результате апробации алгоритма на реальных инфракрасных кадрах выявлены заданные объекты. Развитие алгоритма позволит реализовать оптико-электронные бортовые системы для обнаружения нескольких объектов на неоднородном фоне.

Ключевые слова: алгоритм обнаружения, инфракрасное излучение, оптико-электронные системы.

Автоматическое распознавание цели является важной и сложной проблемой для широкого круга военных и гражданских применений. Многие алгоритмы автоматического распознавания цели были предложены для тепловизионных координаторов цели. Данный алгоритм способен обнаруживать одиночные тепловые объекты в двух спектральных диапазонах на однородных фонах.

Реализация предложенного алгоритма реализована в высокоуровневом языке программирования MATLAB.

Принцип работы алгоритма заключается в следующем.

Описанный алгоритм позволяет определить координату центра области интереса на изображении. Это позволит на первичном этапе, обработки информации с изображения, определить места вероятного нахождения объекта.

Принцип действия алгоритма заключается в том, что в результате обработки функцией **imadjust** в изображении выделяются области наибольшей яркости. Функция **edge** обнаруживает границы перепадов яркости объектов на изображении. Обработка производится методом Канни, т.к. для зашумленных изображений данный метод обеспечивает наилучшее обнаружение границ. Для отсечки малых областей яркости используются функции работающие с пикселями бинарного изображения. Далее после проведения отсечки программа

находит центр масс крупных областей. Полученные в результате координаты центров масс выводятся как результат обнаружения объекта интереса.

Для более качественного выделения областей интереса нужно найти приемлемые значения для функции **imadjust**. Функция **imadjust** увеличивает контраст обрабатываемого изображения путём растяжения значений интенсивности динамического диапазона, создаёт полутоновое изображение и осуществляет установку значений интенсивности.

С целью нахождения значений для функции **imadjust**, введём в алгоритм функцию **graythresh**. Функция **graythresh** позволяет вычислить значения порога который используется для преобразования яркостей изображения в бинарное изображение в функции **im2bw**. Рассматриваемая функция использует метод Отсу, который выбирает порог путём минимизации различных вариантов черных и белых пикселей.

Метод Отсу определяет порог, уменьшающий дисперсию внутри класса, которая определяется как взвешенная сумма дисперсий двух классов

Обработанные по алгоритму ИК изображения летательных аппаратов (вертолетов) на однородном фоне представлены на рисунке 1 и рисунке 2.



Рис. 1. ИК изображение выделенного объекта, масштаб 1



Рис. 2. ИК изображение выделенного объекта, масштаб 2

Таблица 1. Результаты обработки ИК изображений

Номер изображения	Координаты объекта	Время, затраченное на обработку, с	Число объектов
1	(186, 116)	0.24	1
2	(249, 120)	0.25	1

Выводы

Разработан и испытан алгоритм для систем с тепловизионным зрением. В результате проверки алгоритма на реальных инфракрасных снимках были выявлены заданные объекты интереса. Разработанный алгоритм можно использовать в оптико-электронных бортовых системах управления.

Развитие алгоритма позволит реализовать обнаружение нескольких объектов на неоднородном фоне.

Библиографический список:

1. А.Роуз. Зрение человека и электронное зрение. 1977.
2. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. 1999.
3. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы смотрящего типа. 2004.
4. Иванов В.П. Моделирование и оценка современных тепловизионных приборов. 2006.
5. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Двух- и много диапазонные ОЭС с МПИ. 2007.
6. Алпатов Б.А. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов 2008.
7. Дяконов В.П. Абраменкова И.В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. 2002.
8. Гонсалес Р., Дж.Ту. Принципы распознавания образов. 1978.
9. Вудс Р., Гонсалес Р. - Цифровая обработка изображений. 2005.
10. Вудс Р., Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. 2006.

THE ALGORITHM OF OBJECT DETECTION IN THE INFRARED RANGE

*Chernikov Andrey Andreevich, Graduate student, ancher1994@gmail.com,
Legkiy Valdimir Nikolaevich, D.Sc. (Engineering), Associated Professor,
snios@mail.ru;
Alekseev Konstantin Arkadievich, Graduate student*

Novosibirsk State Technical University,
20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (+7383)346-26-23

Annotation – In this paper an algorithm of a single hot object detection on a background in the infrared range is presented. This algorithm suits for multi object detecting by onboard optoelectronic system on the heterogeneous background.

Key words – detection algorithm, infrared radiation, optoelectronic system.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФОНОВЫХ ИК ПОЛЕЙ

*Черников Андрей Андреевич, магистрант,
Легкий Владимир Николаевич, доктор техн. наук, зав. каф. АИУС,
Алексеев Константин Аркадьевич, магистрант*

*Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20*

Черников А.А. , e mail: ancher1994@gmail.com

[Легкий В.Н.](mailto:sniiios@mail.ru), e-mail: sniiios@mail.ru

*Адрес для корреспонденции: Черников Андрей Андреевич,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г.Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)346-26-23*

Аннотация: Рассмотрен процесс формирования фонового изображения подстилающей поверхности в среднем ИК диапазоне с учетом основных климатических составляющих. На основе результатов моделирования предложен алгоритм, позволяющий формировать типовые изображения.

Ключевые слова: моделирование изображений, инфракрасное излучение.

Тепловое поле подстилающей поверхности определяется метеорологическими (температура и влажность воздуха, скорость ветра, облачность), актинометрическими (солнечная освещенность, альбедо) и теплофизическими (теплопроводность, скорость потоков) факторами. Наиболее достоверный способ получения изображения тепловых полей фонов - это прямой натуральный эксперимент. Однако многообразие внешних условий и свойств наблюдаемых объектов чрезвычайно усложняет решение задачи. Кроме того, заданный сценарий практически не повторяется при смене сезона и климатических зон. Многомерные параметры задачи часто усложняются отсутствием необходимой измерительной аппаратуры. Тем не менее, существует ряд приемов, позволяющих оценить фоновые ИК поля.

Для моделирования фоноцелевой обстановки следует учесть следующие параметры:

- температура и влажность воздуха;
- плотность и высота нижней границы облачности;
- скорость и направление ветра;
- метеорологическая дальность видимости;
- интенсивность осадков;
- высота и азимут Солнца.

Отметим, что атмосферные осадки и облачность выравнивают температурные контрасты, возникающие за счет солнечного нагрева.

Например, ровный температурный фон во время дождя подчеркивает контрасты искусственных объектов с очень высокой тепловой инерцией. Короткий слабый дождь может повысить тепловые контрасты объектов, по-разному поглощающих воду. Продолжительный и сильный дождь выравнивает контрасты фона, придавая ему однотонный характер. Ветер существенно снижает абсолютное значение температуры и температурные контрасты земной поверхности в дневное время. В ночное время ветер слабее влияет на температуру.

Метеоусловия оказывают довольно существенное влияние на тепловой контраст активных, имеющих внутренние источники тепла, объектов и определяющее влияние - на контраст пассивных объектов, таких источников не имеющих.

Под математическим моделированием понимается создание изображения с фоном в ИК области. Данная математическая модель фона учитывает характеристики, рассмотренные выше, и базируется на ряде формул.

Рассчитывается температура фонового изображения:

$$T_{\phi} = \frac{a_m T_{и} + a_k T_{в} + A_s E}{a_n}, \text{ где:}$$

a_m – коэффициент теплоотдачи материала объекта;

a_k – коэффициенты теплоотдачи конвекцией;

a_n – коэффициенты теплоотдачи с наружной поверхности материала объекта;

$T_{и}$ – противостоящий источник излучения;

$T_{в}$ – температура воздуха;

A_s – коэффициент поглощения солнечной энергии материала;

E – суммарная энергетическая освещенность объекта Солнцем.

Находится коэффициент теплоотдачи материала объекта:

$$a_m = 0.23 \varepsilon_m (T_{и}/100)^3, \text{ где}$$

ε_m – интегральный коэффициент излучения материала.

Проводится расчет суммарной энергетической освещенности объекта Солнцем:

$$E = (E_{п} + E_{р})(1 - fn), \text{ где:}$$

f – коэффициент, зависящий от типа облачности;

$E_{п}$ – прямая энергетическая освещенность материала от Солнца;

$E_{р}$ – рассеянная энергетическая освещенность материала от Солнца.

Разработанный алгоритм можно разделить на две части:

Первая часть алгоритма отвечает за расчет основных параметров температуры фона. После расчета и получения результата алгоритм преобразует температуру фона в значение цветового оттенка, это позволило сформировать изображение. Так как реальные фоны не являются однородными, ввели пиксели со случайными значениями в диапазоне от 0 до максимального значения температуры фона.

Вторая часть алгоритма формирует изображение в соответствии с

рассчитанными параметрами. Результатом алгоритма является сформированный кадр неоднородного фона.

Примеры сформированного изображения фона в среднем ИК диапазоне при высоте Солнца над горизонтом 90° , влажности воздуха 75%, влажности грунта 20%, скорости ветра 3 м/с приведены на рисунке 1 (температура воздуха 25°C) и на рисунке 2 (температура воздуха 12°C).

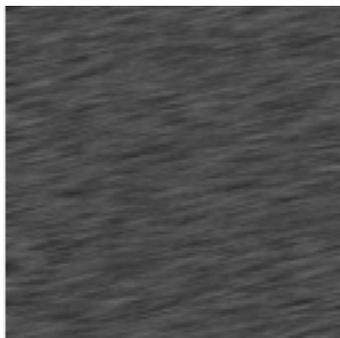


Рис.1. Изображение ИК фона с температурой 25°C



Рис.2. Изображение ИК фона с температурой 12°C

Моделирование показало, что с понижением температуры воздуха меняется температура подстилающей поверхности, соответственно изображение становится темнее.

Выводы

Данный алгоритм позволяет достаточно достоверно моделировать изображение неоднородного фона в среднем спектральном диапазоне.

Библиографический список:

1. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. 1999.
2. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы смотрящего типа. 2004.
3. Р.Хадсон Инфракрасные системы. 1972.
4. Вудс Р., Гонсалес Р. - Цифровая обработка изображений 2005.
5. Вудс Р., Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB

IR FIELDS BACKGROUND IMAGES MODELING

*Chernikov Andrey Andreevich, Graduate student, ancher1994@gmail.com,
Legkiy Valdimir Nikolaevich, D.Sc. (Engineering), Associated Professor,
sniios@mail.ru;
Alekseev Konstantin Arkadievich, Graduate student*

Novosibirsk State Technical University,
20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (+7383)346-26-23

Annotation – In this work, we represent the process of forming the underlying surface in the infrared range based on main climatic components. Based on the results of mathematical modeling we created an algorithm which allows to form images in mid-infrared range.

Key words – mathematical modeling of images, infrared radiation.

ПРИМЕНЕНИЕ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В ГЕОРАДАРАХ

*Шебалкова Любовь Васильевна, старший преподаватель
Марков Максим Алексеевич, магистрант;
Эдвабник Валерий Григорьевич профессор кафедры АИУС*

*Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, тел. 383-3462623*

Шебалкова Л.В., e-mail, shebalkova@corp.nstu.ru

Марков М.А., e-mail, cj.mj12@yandex.ru

*Адрес для корреспонденции: Шебалкова Любовь Васильевна, Россия,
г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, тел. (+7383)346-26-23*

Аннотация: В статье рассматривается использование антенных решеток в георадарах, их виды и параметры, определяется целесообразность применения в георадиолокационных системах.

Ключевые слова: антенная решетка, элементы решетки, георадар.

Антенные решетки (АР) часто используются в георадарах различного назначения, так как их применение увеличивает скорость обследования участков земного ландшафта. Существуют два метода проектирования данных АР. Во-первых, используется несколько отдельных элементов, соединенных с контроллером, при этом обработка данных происходит для каждого элемента отдельно. Другой подход заключается в разработке системы, использующей АР в целом, при этом система обладает повышенной пропускной способностью и использует алгоритмы радаров с синтезированной апертурой. При проектировании следует учитывать особенности применения АР, а именно ее размещение в непосредственной близости к поверхности земли для использования эффекта проникновения в почву с целью снижения отражения от данной поверхности. Антенна является устройством для передачи энергии от источника в среду, которая обычно является воздухом, но для случая целей, скрытых в земле, среду распространения можно считать диэлектриком с потерями. При проектировании АР следует учитывать эффекты ближнего поля, и влияние угла скольжения может быть ограниченным, поскольку он ограничивает возможности для полноценной 3D визуализации из-за показателя преломления земли.

Один элемент антенны, например, диполь имеет ограниченный потенциал с точки зрения усиления. Таким образом, решетка элементов, используется для формирования диаграммы направленности с высоким коэффициентом усиления. В зависимости от ориентации элементов относительно оси решетки (рис.1), существует два типа: (а) " точка-точка ", и (б) коллинеарный тип. Выражения для интенсивности излучения $P(\theta, \varphi)$ для обоих типов

представлены формулами (1а и 1б), при условии, что все элементы одинаково возбуждаются по амплитуде и фазе (равномерная решетка):

$$P(\theta, \phi) = 15\pi \left(\frac{I\Delta l}{\lambda}\right)^2 \frac{\sin^2\left[\frac{N\pi d}{\lambda} \cos(\theta)\right]}{\sin^2\left[\frac{\pi d}{\lambda} \cos(\theta)\right]} (1 - \sin^2\theta \cos^2\phi) \quad (1a)$$

$$P(\theta, \phi) = 15\pi \left(\frac{I\Delta l}{\lambda}\right)^2 \frac{\sin^2\left[\frac{N\pi d}{\lambda} \cos(\theta)\right]}{\sin^2\left[\frac{\pi d}{\lambda} \cos(\theta)\right]} \quad (1б)$$

где θ - угол в градусах, λ - длина волны в метрах, N - число излучающих элементов, ϕ - задержка фазы между элементами, d - расстояние между элементом, $I\Delta l$ - (ток)*(возрастающая длина элемента решетки)

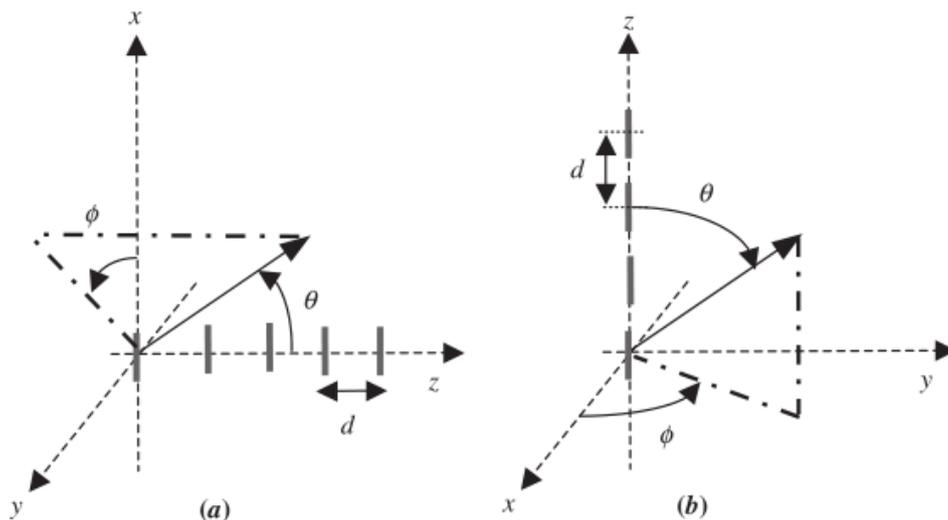


Рис.1. Общее расположение элементов решетки: (а) "точка-точка" и (б) коллинеарный тип.

График излучаемой мощности в децибелах показан на рис.2, можно отметить симметричный характер диаграммы направленности. Шаг между элементами имеют большое влияние на множитель решетки и сказывается на верхней границе полосы рабочих частот антенны. Большой шаг между элементами приводит к большому КНД. Тем не менее, расстояние между элементами, как правило, выбирается меньшим, чем $\lambda/2$ для ненаправленных элементов, чтобы избежать возникновения дифракционных лепестков. Если возникают дифракционные максимумы, то КНД решетки резко снижается.

Сравнение излучаемой мощности на плоскости, отстоящей на расстоянии 20λ от решетки с 5 элементами и 11 элементами и с расстоянием между элементами λ , показано на рис.3. Следует обратить внимание на влияние увеличения количества элементов на КНД антенны, а также снижение уровня боковых лепестков. Большинство традиционных АР используют корпоративную схему питания, чтобы обеспечить единственный вход для возбуждения элементов решетки или выход для принимаемой мощности. Формирование луча достигается за счет правильного фазирования элементов, фазы которых, как правило, фиксированны. В более сложных методах управления используется управление фазами элементов, что позволяет управлять лучом или даже нулем ДН.

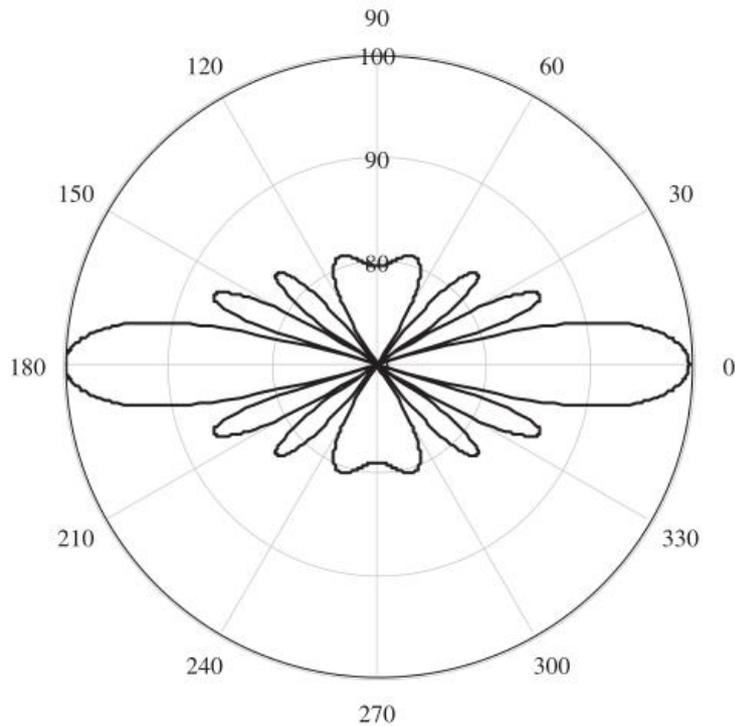


Рис.2. ДН в логарифмическом масштабе для решетки из 10 элементов

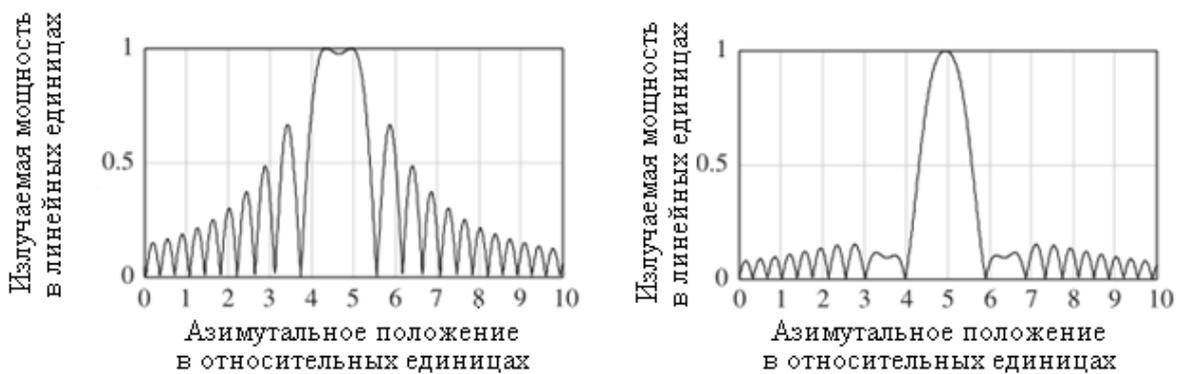


Рис.3. Сравнение излучаемой мощности 5-элементной и 11-элементной решеток

Другие конструкции решеток используют двумерную решетку согласованных передатчиков и приемников для активного изображения площади под решеткой. Это обеспечивает преимущество использования нескольких передатчиков при облучении области сканирования широкополосной энергией, а также нескольких приемников для обнаружения обратной рассеиваемой энергии, также обеспечивают дополнительное подавление помех посредством синхронизации во временной области нескольких импульсных радаров. Путем независимого управления запуском и стробированием каждого передатчика и приемника, система фокусирует радиолокационную энергию в точку, а затем перемещает эту точку для

сканирования области под решеткой. Данный принцип показан на рис.4. Если последовательность импульсов контролируется во времени с помощью дифференциальной задержки по времени между каждым элементом, то положением луча можно управлять, хотя межэлементная задержка по времени ограничена максимальным эквивалентным расстоянием между каждым элементом.

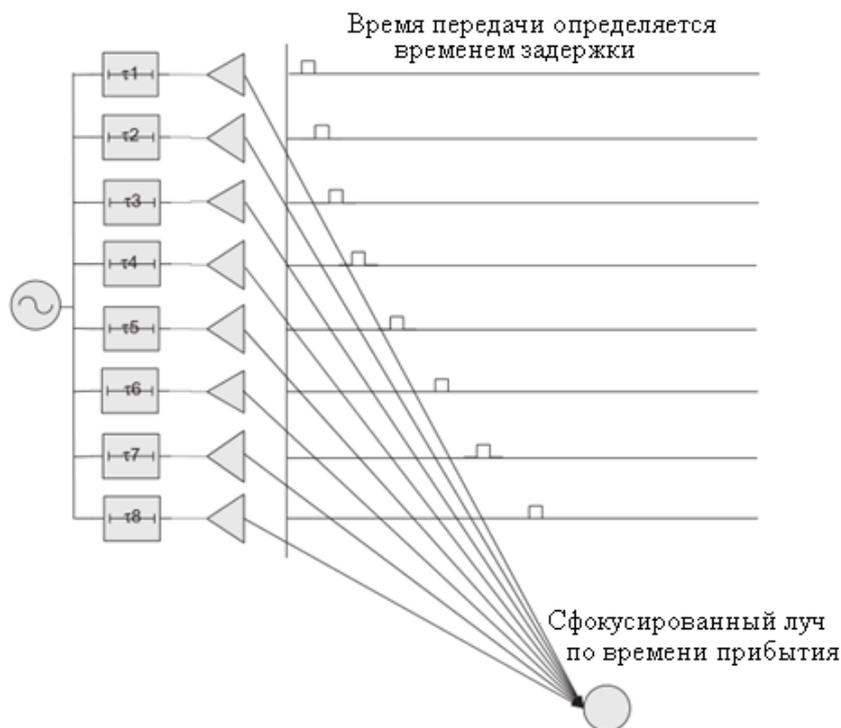


Рис.4. Управление лучом с помощью временных задержек для излучающих элементов

Все системы решетки ориентированы на получение изображения скрытых целей, и для этого точное позиционирование элементов имеет решающее значение. Это может быть достигнуто с помощью дифференциальной GPS (DGPS) системы в сочетании с инерциальными навигационными системами (ИНС).

Когда антенная решетка располагается над землей, появляется необходимость компенсации изменения рельефа поверхности. Еще один аспект, который необходимо учитывать, шаг элементов решетки. Он должен быть достаточным, чтобы обеспечить надлежащее разрешение цели, так как вероятность обнаружения относительно мелких целей тесно связана с плотностью элементов антенной решетки.

Выводы. Тип антенн, используемых в радиолокационных системах обнаружения скрытых целей определяется рабочей частотой, а также требованиями компактности и дизайном архитектуры самой системы.

Библиографический список:

1. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. А. Ю. Гринёва. - М.: Радиотехника, 2005. -416 с.
2. EM Detection Of Concealed Targets. David J. Daniels. 284 p, January 2010, Wiley-IEEE Press.
3. Финкельштейн М.И., Карпухин В.И., Кутев В.А., Метелкин В.Н. Подповерхностная радиолокация. М.: Радио и связь, 1994. — 216 с.

ANTENNA ARRAY FOR GPR

Markov Maxim Alekseevich

Graduate student, e-mail, rcj.mj12@yandex.ru

Shebalkova Lyubov Vasilievna,

Senior Lecturer, e-mail, shebalkova@corp.nstu.ru

Novosibirsk State Technical University

20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Edvabnik Valery Grigorievich

Corresponding member of Russian Academy of Missile and Ammunition Sciences,

Ph.D., Senior Researcher tel. (+7383)216-05-52, (+7383)216-05-63, e-mail:

niiiep@oaoniiiep.ru.

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, Professor at the Department of AICS, tel. (+7383)346-26-23.

Abstract - Antenna arrays for GPR application is described in this article, the basic array and elements requirements were defined. The characteristics of antennas that are operated very close to a lossy dielectric were described.

Keywords - Antenna array, discrete phasing, GPR

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФУРЬЕ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ

*Ющенко Валерий Павлович, доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры АИУС, Батуров Дмитрий Петрович, аспирант,*

*Новосибирский государственный технический университет,
630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20*

Ющенко В.П. , e mail: jwp@aport2000.ru

Батуров Д.П. , e mail: baturovdmitriy@gmail.com

Адрес для корреспонденции: Ющенко Валерий Павлович,

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г.
Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (383)346-26-23

Аннотация: В данной статье рассматривается использование алгоритма Фурье фильтрации для распознавания сигналов с помощью системы компьютерной алгебры Mathcad.

Ключевые слова: Фурье фильтрация; Вейвлет преобразование; алгоритм; Mathcad; Фурье-спектр; распознавание.

Введение:

Распознавание является в настоящий момент актуальной задачей. Области науки и техники, где требуется решать задачи распознавания, весьма обширны и разнообразны. Вот некоторые из них:

1. Распознавание радиолокационных сигналов от помех.
2. Распознавание речевых сигналов – фонетическая задача, в которой требуется распознать отдельные буквы, а затем речь превратить в текстовый документ.
3. Идентификация личности по речевому фрагменту.
4. Распознавание отпечатков пальцев и идентификация личности.
5. Распознавание и идентификация болезней по кардиограмме сердца.
6. Распознавание и идентификация личности по фотографии или видеоизображению.
7. Распознавание личности по радужке глаза.

В настоящее время достижения в задачах распознавания значительны. Эти достижения стимулируют специалистов совершенствовать текущие алгоритмы распознавания или распространить эти алгоритмы на новые задачи.

Скачок и продвинутое достижения в задачах распознавания стали возможны благодаря изобретению Вейвлет преобразования. Вейвлет анализ и синтез предложил множество новых ортогональных базисных наборов функций. Набор базисных функций конструируется из основной

вейвлетобразующей функции путём его масштабирования и временного сдвига. Оригинальность Вейвлетов, т.е. особых функций в виде коротких волн (всплесков), заключается в том, что базисные функции локализованы как во времени, так и в спектральной области. Это даёт возможность анализировать нестационарные сигналы. Вейвлет обработка позволяет разбить весь сигнал на локальные области и производить обработку по отдельности каждой из выделенных областей, в то время как Фурье обработка полагает обработку всего сигнала целиком. Особенно эффективно Вейвлет обработка применяется для устранения избыточности информации, выявления основных признаков сигналов и изображений, что позволяет решать задачи распознавания и упаковывать информацию об объекте в небольшом объёме памяти.

Следует отметить, что Вейвлет преобразование не является заменой традиционного преобразования Фурье. Преобразование Фурье эффективно применяется при работе со стационарными процессами, когда нет необходимости исследовать локальную структуру сигналов. Вейвлет преобразование является альтернативным решением и позволяет посмотреть на исследуемый процесс с другой точки зрения [1].

Цель работы:

Задачей настоящей работы является оценить возможность применения алгоритма Фурье фильтрации для распознавания сигнала и подтвердить это моделированием.

Методика:

Представим алгоритм распознавания сигнала с помощью обработки одномерных сигналов. Воспользуемся дискретной математикой, реализованной в системе компьютерной алгебры Mathcad.

Зададим для дискретизации 512 отсчётов:

$$t := \underline{1} .. \underline{512} \quad c1 := \underline{0.02} \quad c := \underline{0.1}$$

где t – дискретные отсчёты. a_t – сигнал с огибающей вида $\sin(x)/x$ и частотной модуляцией несущей, комплексная огибающая которого имеет вид, представленной на рис.1.

$$a_t := \text{if} \left[t \neq \underline{256}, \left[\frac{\sin[(t - \underline{256}) \cdot c]}{(t - \underline{256}) \cdot c} \right] \cdot \exp \left[\sqrt{-1} \cdot (0.1t - c1 \cdot t^2) \right], 1 \right]$$

Сигнал d_t – также имеет вид $\sin(x)/x$, но без частотной модуляции и смещён относительно первого сигнала на 128 отсчётов, показан на рис.2.

$$d_t := \text{if} \left[t \neq \underline{128}, \left[\frac{\sin[(t - \underline{128}) \cdot c]}{(t - \underline{128}) \cdot c} \right], 1 \right]$$

Определим спектры сигналов a_t и d_t :

$$W := \text{CFFT}(a) \quad W2 := \text{CFFT}(d)$$

Найденные спектры представлены на рисунках 3 и 4.

Просуммируем сигналы a_t и d_t (рисунок 5) и попытаемся распознать и обозначить в этой сумме присутствие сигнала d_t . Это и будет решением задачи распознавания.

Предлагается следующий алгоритм распознавания.

1. Определим спектр просуммированных сигналов $W3$ (рисунок 6).

2. Поделим спектр просуммированных сигналов $W3$ на опорный спектр W сигнала a_t , который мы пытаемся распознать. Обозначим отношение спектров как $W5$.
3. Возьмём обратное преобразование Фурье от этого отношения, получим пиковый выброс $Z5$ (рисунок 7), указывающий на присутствие распознаваемого сигнала в смеси сигналов.

$$W3 := \text{CFF}(s) \quad W5_t := \frac{W3_t}{(W)_t} \quad Z5 := \text{ICFF}(W5)$$

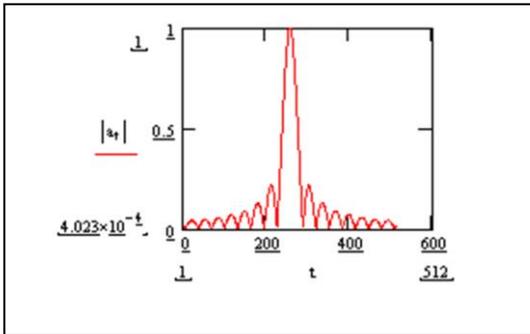


Рис. 1

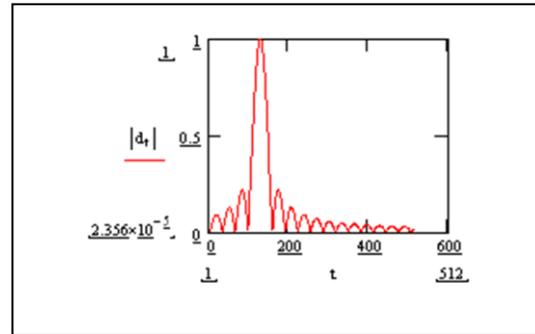


Рис. 2

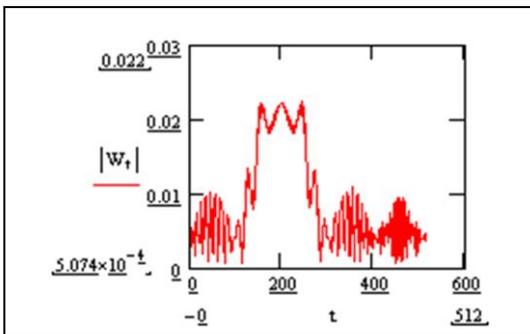


Рис. 3

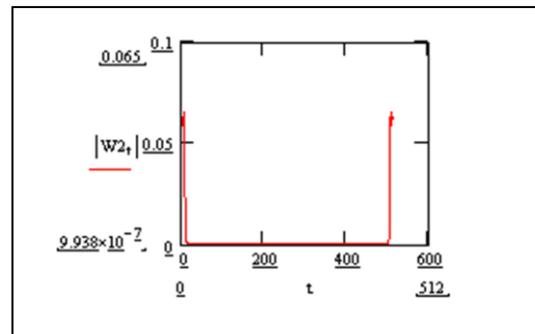


Рис. 4

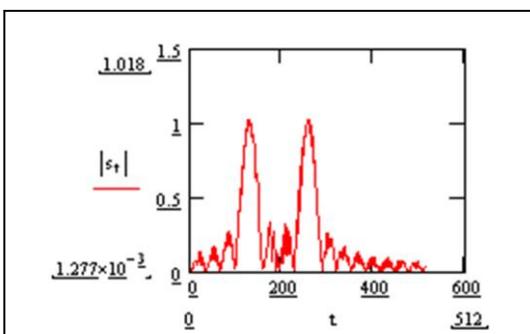


Рис. 5

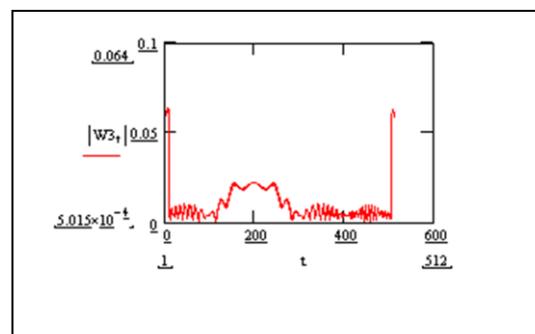


Рис. 6

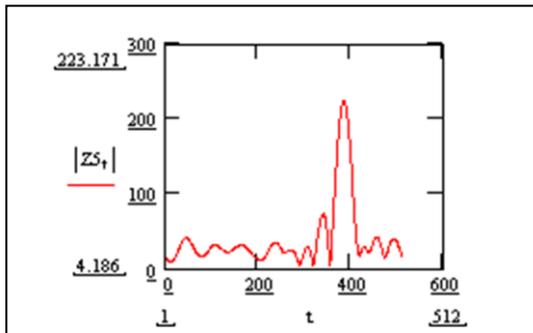


Рис.7

Амплитуда выброса, показанная на рисунке 7, имеет значительную величину, что надёжно позволяет считать о присутствии распознаваемого сигнала в смеси сигналов.

Заключение

Предложенный алгоритм обработки отличается от оптимальной Фурье фильтрации тем, что в данном случае анализируемый спектр делится на опорный спектр, а не умножается, как это принято в алгоритме Фурье фильтрации.

Рассмотренный случай обработки одномерных сигналов можно расширить до обработки двумерных сигналов, то есть таким способом можно распознать фотографию или отпечатки пальцев. Для этого потребуется работать с двумерным преобразованием Фурье.

Библиографический список:

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов – 4-е изд. Перераб. и доп. – М.: Радио и связь 1986. 512 с.
2. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 104 с.
3. Яковлев А.Н. Применение вейвлет-преобразования для обработки гидроакустических сигналов // Труды шестой межд. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения. АПЭП-2002». – Новосибирск, 2002. – Т. 4. – С. 47–52.
4. Воробьев В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб.: Изд-во ВУС, 1999. – 208 с.
5. Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во 000 «МОДУС», 1999. – 152 с.

FOURIER FILTERING ALGORITHM FOR SIGNALS RECOGNITION

Yuschenko Valeriy Pavlovich, D.Sc. (Engineering), Associate Professor,
jwp@aport2000.ru,

Baturov Dmitriy Petrovich, Ph.D. student, baturovdmitriy@gmail.com

Novosibirsk State Technical University,
20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia, tel. (+7383)346-26-23

Abstract – In this paper the Fourier filtering algorithm for signals recognition by the Mathcad computer algebra system applying is considered.

Keywords – Fourier filtering; Wavelet transform; algorithm; Mathcad; Fourier spectrum; recognition.

СЕКЦИЯ: РАДИОЛОКАЦИЯ, РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396.677

ДВУХЧАСТОТНЫЙ ДИПОЛЬНЫЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ ПИТАНИЕМ

Алексейцев Сергей Александрович, магистрант

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Алексейцев С. А., e-mail aleksejtsev94@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Алексейцев Сергей Александрович,
Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)913-33-90

Аннотация

Представлен вариант печатного двухчастотного дипольного возбуждителя с линейной поляризацией электромагнитных волн, относительной разностью частот излучения 79% и уровнем согласования с двухпроводным коаксиальным фидером не менее 35 дБ для обеих частот. Сам возбуждитель спроектирован на диэлектрической подложке из материала ФАФ-4 с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon_r = 2.5$. Возбуждающий сигнал подается на клеммы, одна из которых является основанием полосковой линии, непосредственно соединенной с одним из плеч низкочастотного диполя, вторая - основанием рефлектора. Симметрирование токов проводимости на излучающих плечах и согласование с питающим фидером осуществляется с помощью печатного симметрирующего блока, спроектированного в одной с диполями плоскости. В работе предлагается первоначальная оценка предельно достижимых характеристик излучения возбуждителей с данной топологией, а также отмечены проблемы и особенности, связанные с проектированием данного вида излучателей.

Ключевые слова

Двухчастотный дипольный излучатель, печатное симметрирующее устройство, согласование, диаграмма направленности, диполь, подложка.

Введение

Одним из основных недостатков существующих двухчастотных антенн является низкий уровень согласования с питающим фидером, что является причиной увеличения возвратных потерь и, как следствие, требует увеличения подводимой к антенне мощности. Предшествующие наработки по данной теме, изложенные, например, в [1] и [2], показывают противоречивость некоторых

требований к характеристикам излучения. Предложенные в [1] и [2] антенны позволяют получить излучение на двух частотах с уровнем согласования на каждой не выше 25 дБ и приемлемой для современных требований направленностью. Однако, уровни согласования для обеих частот существенно различаются, что является причиной потери мощностей при двухканальной системе связи. В [3] рассмотрен вариант построения двухполосной дуплексной антенны и системы резонаторов с относительной разностью частот излучения 8%. Здесь наблюдается согласование не хуже 9 дБ в полосе около 200 МГц для низкочастотного канала и около 100 МГц для высокочастотного.

В связи с этим предлагается вариант топологии двухчастотного возбуждателя, при котором высокочастотный и низкочастотный диполи расположены на обратной стороне подложки и образованы перпендикулярными продолжениями полосковых линий, являющихся основаниями симметрирующего устройства. Такая конфигурация позволяет получить уровень согласования не хуже 35 дБ для обеих частот с приемлемыми характеристиками направленности.

1. Теория

Частотная зависимость активной составляющей входного импеданса двухчастотного дипольного возбуждателя существенно отличается от характеристики уединенного диполя. Здесь не представляется возможным, непосредственно, установив второй диполь, сохранить полученные ранее характеристики излучения в области резонанса и вне ее.

Принцип работы предлагаемого двухчастотного возбуждателя (рис. 1 а) заключается в следующем. Питание возбуждателя высокочастотным гармоническим сигналом осуществляется через коаксиальный кабель, центральный проводник которого соединен с началом полоска S_1 , а внешний – с «землей» (блок $A \times B$). Таким образом, ток проводимости с проекциями на ось y преимущественно сконцентрирован в узкой полосе заземленной металлизации, находящейся под уединенной питающей линией S_1 . Сам диполь при этом размещен на обратной стороне подложки в одной плоскости с рефлектором. Электрический контакт питающей линии с одним из плеч излучающего диполя осуществлен посредством перемычки на торце платы. Второе плечо излучающего диполя возбуждается переменным полем первого. Симметрирование токов на плечах диполей осуществляется печатным симметрирующим устройством, образованным блоком $A \times B$ и линией шириной $2W_b + C$, выполненным в форме «ласточкина хвоста» и имеющим своей функцией трансформацию волнового сопротивления коаксиального кабеля и реальной части входного импеданса диполя в полосе частот его излучения. Особенностью данной топологии является совмещение печатного симметрирующего устройства и собственно диполей. В плечах диполей устанавливается стоячая волна тока проводимости, распределенного по близко к синусоидальному закону.

2. Результаты

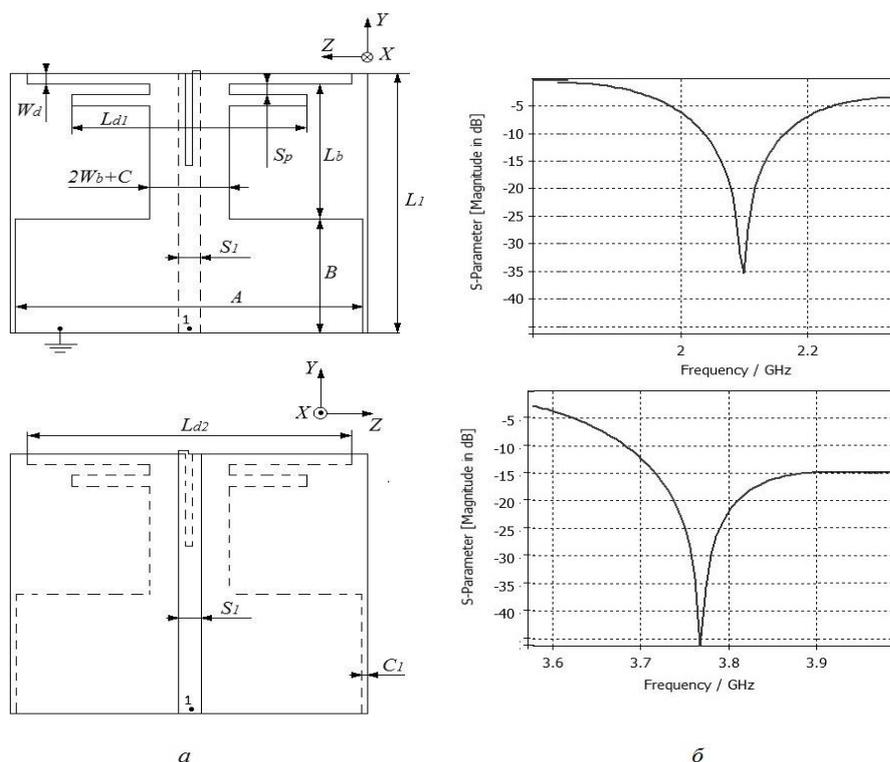


Рис. 1. Топология двухчастотного дипольного излучателя (а) и частотная зависимость модуля входного коэффициента отражения (б).

Предлагаемый вариант топологии двухчастотного дипольного возбуждителя позволяет формировать излучение с линейной поляризацией электромагнитных волн на частотах $f_1 = 2.1$ ГГц и $f_2 = 3.77$ ГГц с уровнем согласования 35 дБ и 46 дБ, соответственно (рис. 1 б).

Схематическое распределение мгновенных векторов поверхностных токов проводимости для верхней частоты показано на рисунке 2а. Здесь итоговое излучение формируют токи с проекцией на ось z . В областях «1» на высокой частоте в дальней зоне векторы поля взаимно компенсируются, поэтому на данной частоте излучение формируется участком «2». При этом, при ширине рефлектора, соизмеримой с длиной резонансного диполя, в области «3» устанавливается стоячая волна тока данной частоты, которая является источником формирования заднего лепестка ДН. При уходе от резонансной длины, ширина слоя, в котором протекает ток на рефлекторе, уменьшается. Вместе с этим изменяется входной импеданс и, следовательно, согласование.

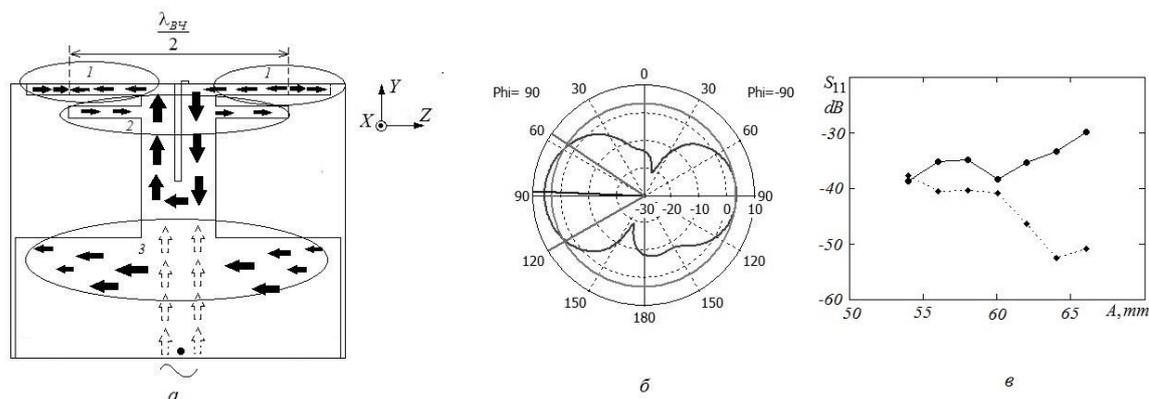


Рис. 2. Схематическое распределение мгновенных векторов тока проводимости (а), диаграмма направленности в плоскости вектора E на нижней частоте (б) и уровень согласования для двух частот (в), где верхний график – для нижней частоты.

Следует отметить, что увеличение ширины рефлектора приведет к уменьшению заднего лепестка на верхней частоте, при этом будет расти задний лепесток на нижней и наилучший вариант будет наблюдаться тогда, когда ширина рефлектора будет равна длине низкочастотного диполя, тогда на этой частоте будет максимальный задний лепесток (рис. 2 б).

Для низкочастотного диапазона механизм возбуждения излучения такой же, только итоговое поле формируется участками «1» (рис. 2 а). Здесь ширина слоя рефлектора, в которой протекает ток больше, чем на низкой частоте, поэтому уровень заднего лепестка заметно больше.

Таким образом, ширину рефлектора следует выбирать в промежутках между нечетными числами полуволн соответствующих частот. При этом согласование будет изменяться по кривой (Рис. 2 в).

3. Выводы

Предложенная топология двухчастотного дипольного возбуждителя формирует в пространстве две диаграммы направленности с локализованными максимумами излучения в одном направлении на частотах $f_1 = 2.1$ ГГц и $f_2 = 3.77$ ГГц с уровнем входного коэффициента отражения, характеризующего согласование с питающим двухпроводным фидером, не хуже 35 дБ для обеих частот. Влияние геометрических размеров ключевых элементов топологии на распределение поверхностного тока проводимости и, как следствие, на характеристики поля в дальней зоне, рассмотрено в работе.

Библиографический список:

1. Тарасенко Н.В., Горбачев А.П. Модифицированная двухчастотная квази-Yagi-антенна // 15 – я международная конференция микро / нанотехнологий и электронных устройств ЕДМ, 2014. №1. с. 161-163.
2. Тарасенко Н.В. Печатная директорная двухдиапазонная антенна новой структуры. *Физика и механика. Научный вестник НГТУ*, 2014. – с.189-198.
3. Chun-Xu Mao, Steven Gao, Yi Wang, Fan Qin, and Qing-Xin Chu, “Compact Highly Integrated Planar Duplex Antenna for Wireless Communications,”

THE DUAL-FREQUENCY DIPOLE RADIATOR WITH UNBALANCED EXCITATION

*Sergey A. Alekseytsev*¹, *master's degree student*, e-mail alekseytsev94@mail.ru
Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue

The address for correspondence: Sergey Alekseytsev, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue, 630073, phone (913)913-33-90

Abstract

A novel design concept of a dual – frequency printed dipole exciter with linear polarization of electromagnetic waves is proposed and examined in this paper. The proposed radiator can operate at two different frequencies with relative difference 79 %. All striplines is printed on the standard substrate FAF-4 with relative permittivity 2.5. The exciting harmonic signal is fed the single stripline, which printed on top layer of the substrate. This stripline is directly connected to the base of low – frequency dipole via metal block designed on the end face of the substrate.

The conduction current balancing on the radiation arms and matching with the coaxial feeding line is provided by using printed balancing unit (balun). Both the balun and the radiation dipoles are printed on the same plane. All required for manufacturing element sizes are presented. Some actual problems and features concerning designing process of dual – frequency radiators are noted and discussed. The radiation characteristics of this antenna are proposed as the results of 3D-electrodynamical modeling. The analysis of these results is offered.

Key words

Dual – frequency dipole radiator, printed balun, matching, radiation pattern, dipole, substrate.

УСЛОВИЯ ИНВАРИАНТНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ШУМОВ КООРДИНАТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ К УГЛУ ВИЗИРОВАНИЯ

Артюшенко Вадим Валерьевич¹, аспирант

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. 346-15-46

Артюшенко В. В., e-mail artushenkomail@mail.ru

Адрес для корреспонденции: *Артюшенко Вадим Валерьевич*, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-15-46

Аннотация: рассмотрены условия получения инвариантных к углу визирования параметров плотности распределения вероятности шумов координат двумерных некогерентных геометрических моделей. Рассмотрена произвольная конфигурация двумерной геометрической некогерентной модели, содержащей $N \times N$ точечных излучателей сигналов. Доказано, что параметры плотности распределения вероятности не будут зависеть от угла визирования при расположении излучателей, например, в виде правильного многоугольника и равной мощности сигналов излучателей модели. Полученные результаты могут быть использованы для синтеза математических моделей, применяемых при имитации отражений от распределенных объектов и при создании программно-аппаратных комплексов имитации электромагнитных полей, отраженных от поверхности земли, атмосферных неоднородностей, поверхности моря и др.

Ключевые слова: распределенный объект, имитация отражений, геометрическая модель, инвариантная модель, шумы координат.

1. Введение

При имитации отражений распределенных объектов получили распространение геометрические модели, сигналы излучателей которых представляют собой некоррелированные узкополосные случайные процессы с нормальным распределением мгновенных значений [1]. Такие модели в [1] получили название некогерентных. При использовании некогерентных моделей удастся получить характеристики сигнала, соответствующие аналогичным характеристикам сигналов, отраженных от реальных распределенных объектов. Кроме того, некогерентные модели позволяют осуществлять имитацию такого явления как шумы координат (ШК) [2]. Суть этого явления в следующем. Наличие большого количество одновременно отражающих точек, образующих поверхность объекта, приводит к тому, что нормаль к фазовому фронту отраженной волны в точке приема указывает на положение так называемого кажущегося центра излучения (КЦИ). Его положение флуктуирует со временем.

Плотность распределения вероятностей (ПРВ) ШК определяется

следующим выражением [3]:

$$W(\Delta\gamma) = \frac{\mu_\gamma}{2 \cdot (1 + \mu_\gamma^2 \cdot (\Delta\gamma)^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

где $\Delta\gamma = \gamma - m_\gamma$ – мгновенное значение отклонения КЦИ по некоторой обобщённой координате γ от математического ожидания m_γ ; μ_γ – параметр, определяющий эффективную «ширину» распределения.

Как видно из формулы (1), ПРВ ШК определяется параметрами m_γ и μ_γ . Их физический смысл в следующем: m_γ – определяет угловое положение центра распределенного объекта, μ_γ – протяженность объекта вдоль координаты γ .

Параметры распределения (1) могут быть найдены по заданной функции распределения плотности интенсивности сигналов элементарных отражателей объекта $F_r(\gamma)$ [3]:

$$m_\gamma = \frac{\int \gamma F_r(\gamma) d\gamma}{\int F_r(\gamma) d\gamma}, \quad \mu_\gamma = \sqrt{\frac{\int F_r(\gamma) d\gamma}{\int (\gamma - m_\gamma)^2 F_r(\gamma) d\gamma}}. \quad (2)$$

Аппарат синтеза малоточечных некогерентных моделей в литературе рассмотрен крайне мало. В работе [1] рассмотрен синтез одномерных некогерентных геометрических моделей. Недостатками таких моделей являются возможность имитации отражений от объектов, распределенных только по одной координате, а также необходимость реконфигурации модели и пересчета параметров сигналов излучателей при изменении угла визирования модели. Первый недостаток приводит к возможности имитации отражений только для некоторых типовых ситуаций, второй – требует расходования значительных вычислительных ресурсов при выполнении имитации в реальном времени. Для устранения первого недостатка предложены двумерные геометрические модели [4], показано, что при определенных условиях параметры ПРВ ШК модели не будут зависеть от угла визирования. Полученные результаты применимы только к определенным двумерным моделям. Вместе с тем, актуальной является задача определения условий, гарантирующих инвариантность параметров ПРВ ШК к углу визирования для некоторой произвольной двумерной конфигурации излучателей.

Цель работы – определить условия, гарантирующие инвариантность параметров ПРВ ШК к углу визирования для произвольной двумерной конфигурации N точечных излучателей.

2. Теория

Рассмотрим конфигурацию рисунка 1 ($N \times N$ излучателей, θ – угол визирования). Излучатели модели расположены в квадратной области с размером диагонали L . Соседние излучатели отстоят друг от друга на одинаковом расстоянии по X и оси Y равном $\Delta L = L / (\sqrt{2}N)$. Мощности

сигналов излучающих точек одинаковы и равны σ^2 . Определим параметры ПРВ ШК такой конфигурации излучателей. Согласно выражениям (2):

$$m_\gamma = \frac{\int_\gamma \gamma F_r(\gamma) d\gamma}{\int_\gamma F_r(\gamma) d\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^{N^2} \sigma_i^2 \gamma_i(\theta)}{\sum_{i=1}^{N^2} \sigma_i^2} = \frac{\sigma^2 \sum_{i=1}^{N^2} \gamma_i(\theta)}{N^2 \sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^{N^2} \gamma_i(\theta)}{N^2}, \quad (3)$$

где $\gamma_i(\theta)$ - положение i -го излучателя на прямой, перпендикулярной линии визирования модели.

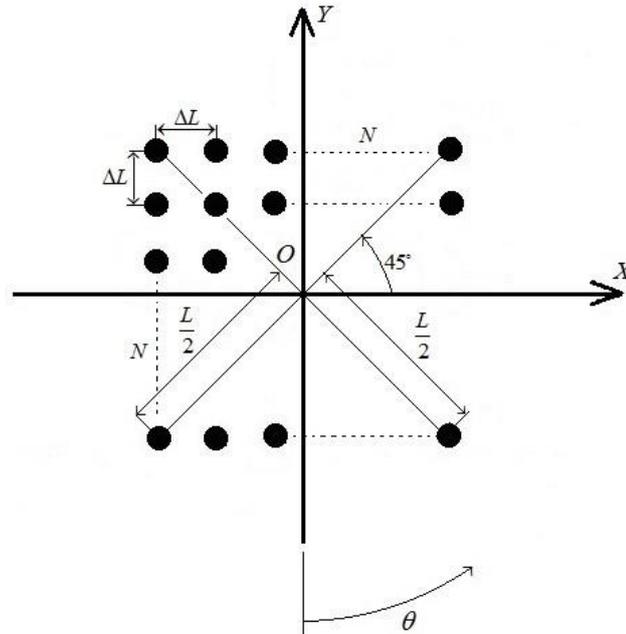


Рис. 1. Расположение $N*N$ излучающих точек на плоскости

При изменении угла визирования модели положение i -го излучателя на прямой перпендикулярной линии визирования можно определить в соответствие с правилом пересчета координат при повороте координатных осей:

$$\gamma_i(\theta) = x_i \cos(\theta) + y_i \sin(\theta),$$

где x_i, y_i – координаты i -го излучателя на плоскости.

Преобразуем сумму в числителе выражения (3):

$$\sum_{i=1}^{N^2} \gamma_i(\theta) = \sum_{i=1}^{N^2} (x_i \cos(\theta)) + \sum_{i=1}^{N^2} (y_i \sin(\theta)) = \cos(\theta) \sum_{i=1}^{N^2} x_i + \sin(\theta) \sum_{i=1}^{N^2} y_i.$$

Так как все излучающие точки согласно исходному предположению расположены симметрично относительно координатных осей:

$$\sum_{i=1}^{N^2} x_i = \sum_{i=1}^{N^2} y_i = 0.$$

Таким образом, математическое ожидание ПРВ ШК рассматриваемой модели не зависит от угла визирования и равно нулю: $m_\gamma = 0$.

При $m_\gamma = 0$ параметр μ_γ определяется следующим выражением:

$$\mu_\gamma = \frac{\sqrt{\int_y F_r(\gamma) d\gamma}}{\sqrt{\int_y \gamma^2 F_r(\gamma) d\gamma}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N^2} \sigma_i^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N^2} \sigma_i^2 \gamma_i^2(\theta)}} = \frac{\sqrt{N^2 \sigma^2}}{\sqrt{\sigma^2 \sum_{i=1}^{N^2} \gamma_i^2(\theta)}} = \frac{\sqrt{N^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N^2} \gamma_i^2(\theta)}}. \quad (4)$$

Преобразуем сумму в знаменателе выражения (4):

$$\sum_{i=1}^{N^2} \gamma_i^2(\theta) = \sum_{i=1}^{N^2} (x_i \cos(\theta))^2 + \sum_{i=1}^{N^2} (y_i \sin(\theta))^2 = \cos^2(\theta) \sum_{i=1}^{N^2} x_i^2 + \sin^2(\theta) \sum_{i=1}^{N^2} y_i^2.$$

Предположим, что излучатели расположены таким образом, чтобы было справедливо следующее равенство (например, в виде правильного многоугольника):

$$\sum_{i=1}^{N^2} x_i^2 = \sum_{i=1}^{N^2} y_i^2. \quad (5)$$

Если справедливо выражение (5), то

$$\sum_{i=1}^{N^2} \gamma_i^2(\theta) = \cos^2(\theta) \sum_{i=1}^{N^2} x_i^2 + \sin^2(\theta) \sum_{i=1}^{N^2} x_i^2 = \sum_{i=1}^{N^2} x_i^2 (\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)) = \sum_{i=1}^{N^2} x_i^2.$$

Параметр μ_γ при этом равен:

$$\mu_\gamma = \frac{\sqrt{N^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N^2} \gamma_i^2(\theta)}} = \frac{\sqrt{N^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N^2} x_i^2}} = \frac{\sqrt{N^2}}{\sqrt{N \sum_{i=0}^{N-1} \left(-\frac{L}{2\sqrt{2}} + i\Delta L\right)^2}} = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \left(-\frac{L}{2\sqrt{2}} + i\Delta L\right)^2}}. \quad (6)$$

3. Вывод

Для обеспечения инвариантности параметров распределения ШК геометрической модели излучающие точки необходимо располагать в виде правильного многоугольника. Мощности сигналов излучателей должны быть равными.

Библиографический список

1. Никулин А. В. Малоточечная модель протяженного отражающего объекта / А. В. Киселев, А.В. Никулин, С.В. Тырыкин// Доклады АН ВШ РФ. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. С.78-88.
2. Skolnik M.I. Radar Handbook. 3ed. – New York: McGraw Hill, 2008. – 1352 p.
3. Островитянов Р. В., Басалов Ф. А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
4. Артющенко В. В. Задание отражающих свойств распределенных объектов в терминах шумов координат / В. В. Артющенко, А. В. Киселев, М. А. Степанов // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. - 2015. – № 3. – С. 17–28. - DOI: 10.17212/1727-2769-2015-3-17-28.

CONDITIONS OF INVARIANCE OF GEOMETRIC MODEL ANGLE NOISE PARAMETERS TO VIEWING ANGLE

Artyushenko Vadim Valeryevich¹, Ph. D. student, e-mail
artushenkomail@mail.ru

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa,
Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: the conditions for obtaining parameters of angle noise probability distribution density of two-dimensional incoherent geometric models invariant to the viewing angle are considered. Author considered an arbitrary configuration of a two-dimensional geometric incoherent model containing $N * N$ point emitters. It is proved that the parameters of the angle noise probability distribution density will not depend on the viewing angle when the emitters are located, for example, in the form of a regular polygon and the power of the emitter signals is equal. These results can be used for simulating reflections from distributed objects and for developing a hardware-software complex for the simulation of electromagnetic fields reflected from the Earth surface, atmospheric inhomogeneities, the sea surface, etc.

Keywords: distributed object, simulation of reflections, geometric model, invariant model, angle noise.

ДИРЕКТОРНЫЕ АНТЕННЫ С ПЕЧАТНЫМИ ВОЗБУДИТЕЛЯМИ ДИПОЛЬНОГО ВИДА

*Бухтияров Дмитрий Андреевич*¹², инженер-электроник, аспирант;

¹ Научно-исследовательский институт измерительных приборов –
Новосибирский завод имени Коминтерна, 630015, Россия, г. Новосибирск, ул.
Планетная, 32

² Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

Бухтияров Д. А., email: ghostandfound@mail.ru

Адрес для корреспонденции: *Бухтияров Дмитрий Андреевич*, Научно-исследовательский институт измерительных приборов – Новосибирский завод имени Коминтерна, 630015, Россия, г. Новосибирск, ул. Планетная, 32, тел. 8-953-884-2726

Аннотация: в работе излагаются основные положения обобщенной методики анализа директорных антенн с нетрадиционными возбудителями дипольного вида в печатном исполнении. Перечисляются варьируемые параметры, оптимизируемые характеристики и конструктивные преимущества таких антенн.

Ключевые слова: излучатель дипольного вида, частично печатная директорная антенна, смешанная волна тока, метод наводимых электродвижущих сил.

1. Введение

При выборе между закрытым и открытым способами возбуждения элементов антенной решетки (АР) основного канала (ОК) мобильных трехкоординатных РЛС кругового обзора (КО) предпочтение часто отдается более простому – открытому, или оптическому, способу. Известно, что потенциально достижимые характеристики АР определяются грамотным выбором типа излучающего элемента и его параметров в процессе решения нескольких типовых задач. Минимизация коэффициента стоячей волны (КСВ) на входе излучателя при установке луча АР на нормали снижает вероятность его недопустимого повышения на краях сектора сканирования. Взаимная связь между элементами АР должна минимизироваться для устранения искажений характеристик АР. Ширина диаграммы направленности (ДН) излучателя в азимутальной / угломестной плоскостях также контролируется, т.к. она определяет сектор сканирования АР.

Так, при требуемом секторе сканирования $\pm 45^\circ / \pm 30^\circ$ излучатель АР должен иметь коэффициент направленного действия (КНД) около 7 дБ при как можно меньших габаритах. Отлично зарекомендовавшие себя во множестве

приложений директорные антенны (ДА) (иначе: антенны Яги-Уда, “волновой канал” и др.) из электрических диполей (вибраторов) не только способны удовлетворить всем вышеперечисленным требованиям, но и обладают числом степеней свободы, достаточным для оптимизации любых своих характеристик в широких пределах. Именно поэтому ДА с линейной вертикальной либо круговой поляризацией стали использоваться в АР уже в 50-х годах прошлого века, несмотря на затруднения, возникавшие из-за их объемного проволочного исполнения.

При переходе в 70-х годах к печатным конструкциям (иначе: антенны квази-Яги) привлекательность ДА только возросла. Интерес к полностью печатным ДА не снижается; например, за рубежом активно исследуются планарные (на одной подложке) ДА на частоты от 20 до 70 ГГц. Однако, исходя из специфики АР РЛС S-диапазона, в которых ДА объединяется с приемопередающими модулями (ППМ), выгоднее использовать т.н. *частично печатную* ДА. В такой антенне совокупность металлических полосковых директоров и элементов их соединения, называемая *директорной структурой*, размещается над подложками с печатным активным дипольным излучателем – возбуждателем, питаемым симметричной полосковой линией (СПЛ) для предотвращения паразитного излучения. В результате снижается расход диэлектрика для подложек (типа ФАФ-4Д), а установка возбуждателя и директорной структуры в корпус из более дешевого диэлектрика (типа пенополиуретана) позволяет повысить механическую прочность и пылебрызгозащищенность ДА, что особенно важно в оборонных приложениях.

Новые идеи, направленные на совершенствование печатных излучателей всех типов, генерируются очень интенсивно. Каждый месяц публикуются работы с описанием новых топологий и доработкой старых. С одной стороны, даже классические директорные антенны продолжают развиваться; с другой стороны, большое число рекомендаций разных ученых, имевших целью упрощение анализа и синтеза многодипольных антенных систем, не были обобщены и постепенно забываются.

В связи с этим возникает проблема исследования таких излучателей, которые заметно отличаются от симметричного диполя по облику, но схожи с ним по принципу работы, – в литературе их называют излучателями дипольного вида (ИДВ, dipole-like radiators). Результаты выполненных исследований [1] свидетельствуют о возможности повышения эффективности работы антенных систем на основе ИДВ. **Целью** данной работы является создание обобщенной методики электродинамического анализа и синтеза ДА с возбуждателями дипольного вида (ВДВ) в печатном исполнении.

2. Анализ излучателя дипольного вида

Всем известный центрально-питаемый симметричный диполь является лишь идеальной моделью, т.к. в реальных конструкциях симметрирующих устройств (СУ) и собственно плеч диполя его симметрия всегда нарушается, а сильная асимметрия как раз и приводит к появлению ИДВ. К параметрам,

определяющим электрическую симметрию ИДВ, относятся: положение точек возбуждения плеч (в центре или на концах), соотношения между фазами/амплитудами сигналов возбуждения плеч, группа параметров режима распространения смешанной волны тока (потери в проводнике и окружающей среде, наличие нагрузок, постоянная распространения, параметры среды как диэлектрика). Геометрическими параметрами являются координаты начала плеча, его длина и углы ориентации.

Систематизация возможных конструкций печатных ИДВ проводится с присвоением оценок по ряду показателей. В качестве СУ могут использоваться делители мощности пополам или направленные ответвители с большим числом выходов, выполненные на симметричных, несимметричных, компланарных либо щелевых полосковых линиях и различных переходах между ними.

Решение внутренней задачи (определение распределения тока) основано на приближении ИДВ моделью длинной линии и решении однородных волновых уравнений. В определенный момент решение записывается в виде *смешанной волны тока* с неизвестными коэффициентами – комплексными амплитудами падающей и отраженной волн. После задания граничных условий и конкретизации этих коэффициентов можно получить в том числе и классическое распределение тока в виде тригонометрического синуса [2].

Из теории ДА известно, что для обеспечения КНД в 7 дБ достаточно 4 директоров, поэтому в работе обобщенная методика последовательно излагается на примере ДА из 6 диполей (возбудитель и рефлектор). Сначала в соответствии с методом *наводимых электродвижущих сил* (ЭДС) записывается уравнение между напряжениями и токами диполей в матричной форме, в котором фигурируют коэффициенты пропорциональности между током активного и токами пассивных диполей, а также их собственные и взаимные импедансы. Последние, будучи рассчитанными, позволяют при известных длинах диполей и расстояниях между ними решить уравнения относительно коэффициентов, используемых в расчете полного импеданса ДА и ее ДН. Либо, в том случае, когда коэффициенты между токами известны из структуры распределителя сигналов по входам элементов, по изложенной методике можно рассчитать полный импеданс и ДН ряда важных конфигураций антенных систем (Е- и Н- плоскостных АР, турникетных излучателей), что также планируется сделать. После отработки расчетов характеристик уединенной ДА будут выполнены необходимые математические операции для перехода к исследованию фрагмента АР (подрешетки) размером 3*3 ДА.

Используя разработанный метод анализа, формируются целевые функции (ЦФ) трех ДА (с центральным, концевым и центрально-концевым питанием) в объемном (цилиндрическом) исполнении, расположенных в центре фрагмента 3*3 идентичных ДА. В качестве парциальных ЦФ каждой центральной ДА (при остальных нагруженных на согласованные нагрузки) используются уровень КСВ на ее входе, отклонение максимума ДН от нормали и ширина ДН. После завершения оптимизации необходимо перейти от трех объемных конструкций к частично печатным эквивалентам. Для этого

используется ряд электродинамических принципов, касающихся правил формирования стартовых обликов печатных диполей и учета влияния параметров диэлектрика.

Далее из числа рассмотренных конструкций ИДВ в пределах трех групп с разными способами запитки диполей (центральным, концевым и комбинированным) выбираются три конструкции с наивысшими оценками. На основе этих ВДВ создаются ДА, которые подвергаются численному электродинамическому моделированию и оптимизации в составе фрагмента АР. Проводится сравнение расчетных характеристик финальных топологий ДА с теоретическими, а также их допусковый анализ.

В процессе изготовления трех фрагментов АР из девяти ДА с разными способами питания ВДВ отрабатываются вопросы технологии производства. Проводится экспериментальное исследование фрагментов, измеренные характеристики сравниваются с теоретическими и с полученными численным моделированием.

3. Заключение

При помощи разработанной методики демонстрируется актуальность исследования ДА с единых, обобщенных позиций, в предположении того, что возбудитель ДА имеет дипольный вид и в определенной степени произвольные параметры. Полученные математические зависимости используются для создания первоначального облика ряда новых конструкций частично печатных ДА для их дальнейшей оптимизации в САПР “CST Microwave Studio” с учетом конструктивно-компоновочных требований к излучателям реальных АР. Эти требования нуждаются в уточнении, но в целом включают в себя необходимость использования симметричных полосковых линий на отечественных диэлектриках, строгого соблюдения массогабаритных ограничений и обеспечения высокого уровня подводимой мощности.

Библиографический список:

1. *Бухтияров Д.А.* Электродинамическая модель печатного диполя с обобщением нестандартного возбуждения плеч, их произвольной ориентации и фазировки / Д.А. Бухтияров // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016): тр. 13 междунар. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г.: в 12 т. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 12. – С. 71–74.

2. *Бухтияров Д.А.* Печатные дипольные излучатели с произвольной фазировкой плеч и линейные антенные решетки на их основе // Сборник трудов XXII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 2016. – Т. 2. – С. 849-855.

YAGI ANTENNAS WITH PRINTED DIPOLE-LIKE RADIATORS

*Bukhtiyarov Dmitry Andreevich*¹², *post-graduate student;*

¹ Scientific and Research Institute of Measurement Instrumentation – Novosibirsk Plant named after the Komintern, 630015, Russia, Novosibirsk, Planetnaya str., 32

² Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marx ave., 20

Bukhtiyarov D. A., email: ghostandfound@mail.ru

Correspondence adress: Bukhtiyarov Dmitry Andreevich, Scientific and Research Institute of Measurement Instrumentation – Novosibirsk Plant named after the Komintern, 630015, Russia, Novosibirsk, Planetnaya str., 32, (953) 884-2726

Abstract: This paper deals with basic terms of generalized analysis procedure of Yagi antennas with non-traditional dipole-like exciters in printed implementation. The variable parameters, optimizable characteristics and design advantages of such antennas are listed.

Keywords: dipole-like radiator, partially printed Yagi antenna, combined current wave, generalized induced emf method.

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ЛОКАТОР ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Голицын Александр Андреевич^{1,2}; Сейфи Наталья Андреевна²

¹ *Филиал Института Физики полупроводников СО РАН «Конструкторско-технологический институт прикладной микроэлектроники», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 2/1*

² *Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20*
Голицын А.А., e-mail: aag-09@yandex.ru
Сейфи Н.А., e-mail: natalia_nsk@inbox.ru

Адрес для корреспонденции: Голицын Александр Андреевич, Филиал ИФП СО РАН «КТИПМ», 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 2/1

Предложена конструкция активно-импульсного лазерного локаатора оптических систем на основе ПЗС-фотоприемника. Конструкция предусматривает синхронизацию лазерного излучателя и фотоприемника без использования в качестве быстродействующего затвора электронно-оптического преобразователя, благодаря чему уменьшаются размеры прибора.

Ключевые слова: активно-импульсный метод, лазерный излучатель, ПЗС-фотоприемник

Активно-импульсными приборами наблюдения называются приборы, принцип действия которых основан на методе, предложенном академиком А. А. Лебедевым [1]. Такие приборы имеют в своей конструкции синхронно работающие фотоприемник и импульсный лазерный излучатель, используемый для подсветки сцены. Суть метода заключается в том, что фотоприемник начинает получать изображение с некоторой задержкой относительно срабатывания излучателя, благодаря чему воспринимает свет излучателя, отраженный от интересующих оператора объектов, отсекая свет, отраженный от объектов, находящихся ближе заданного расстояния, например, от частиц пыли или тумана. Подсветка местности при этом осуществляется короткими импульсами, длительность которых значительно меньше времени распространения света от прибора до наблюдаемых объектов и обратно.

В качестве основного элемента подобных приборов используется электронно-оптический преобразователь (ЭОП), который выполняет функцию быстродействующего затвора фотоприемника и одновременно является усилителем яркости.

Существует ряд причин исключить традиционно используемый ЭОП из конструкции прибора, среди которых уменьшение габаритов и массы прибора

за счет отказа от ЭОП и необходимой для его согласования с фотоприемником оптической проекционной системы, необходимость увеличения разрешения наблюдаемого изображения и потребность наблюдения цветного изображения.

Механический затвор не может быть использован в конструкции, т.к. по скорости срабатывания он проигрывает ЭОП, а попытки повысить скорость приводят к увеличению энергопотребления и массогабаритных характеристик системы, что лишает смысла отказ от затвора на основе ЭОП. В то же время многие современные ПЗС и КМОП фотоприемники обладают функцией «электронного затвора», необходимой для управления временем экспозиции изделия.

На основе ряда исследований, проведенных с целью изучения возможностей использования электронных затворов ПЗС-фотоприемников [2, 3] было предложено решение реализовать активно-импульсный метод с использованием физических принципов построения ПЗС фотоприемников со строчным переносом и управлением фотоприемниками недокументированным способом, подробно описанным в [4].

Экспериментальная проверка работоспособности метода проверялась на стенде [2], представляющем собой три платы, соединенных между собой шлейфами, – плата, на которой располагается фотоприемник с прикрепленным к нему объективом, плата управления на базе сигнального процессора и программируемой логической интегральной схемы и плата лазерного излучателя. Стенд позволяет управлять фотоприемником, подавая на него управляющие сигналы произвольной формы по заданному оператором алгоритму, запускать в заданные моменты времени лазерный излучатель, получать изображение, передавать его на персональный компьютер и при необходимости производить несложный анализ и обработку получаемого изображения. Управление системой, а также вывод изображения для его анализа и наблюдения осуществлялся на персональный компьютер по шине HighSpeed USB 2.0 [5].

При управлении на стенде ПЗС-фотоприемником и синхронно работающим лазерным излучателем вручную устанавливалось значение минимального расстояния подсветки и проверялось, перестанут ли давать блик наблюдаемые мишени, если задать расстояние большее, чем расстояние, на котором они находятся от наблюдателя. Эксперименты показали, что для устойчивого наблюдения блика мишеней, роли которых играли оптический прицел и катафот в условиях освещенности «солнечный день» на расстоянии 300 метров достаточно 15–20 импульсов лазерного излучателя.

Сконструированный по результатам экспериментов лазерный локатор представляет собой прибор наблюдения размерами 180×100×50 мм, весом 900 г. Основными элементами прибора являются корпус, два объектива, один из которых предназначен для наблюдения местности, а второй для фокусирования лазерного излучения, микродисплей, лазерный излучатель, ПЗС-фотоприемник и платы получения и обработки изображений. Внешний вид макета прибора представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид прототипа лазерного локаатора оптических систем

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. В. В. Балаков, В. Г. Вафиади, Очерк научной деятельности академика А. А. Лебедева // Академик А. А. Лебедев. Избранные труды / отв. ред. П. П. Феофилов – Л.: Наука, 1974. С. 3–16.
4. Н. А. Сейфи, А. А. Голицын, Лабораторный стенд для исследования возможностей ПЗС-фотоприемника по использованию в составе активно-импульсного прибора наблюдения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. Научн. Конгр. 18–22 апреля 2016 г. Новосибирск: Междунар. Науч. Конф. «СибОптика-2016»: сб. материалов в 2 т. Т.1 – Новосибирск: СГУГиТ. 2016. С. 105–107
5. А. А. Голицын, Н. А. Сейфи, Визирный канал активно-импульсного прибора обнаружения потенциальных угроз противника // Наука. Промышленность. Оборона: труды XVII Всероссийской научно-технической конференции: в 4 т., г. Новосибирск, 20–22 апреля 2016. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ. 2016. С. 195–198
6. Способ активно-импульсного видения: заявка на патент Российской Федерации / Голицын А.А., Сефи Н.А; заявитель Институт физики полупроводников СО РАН – заявка № 2017100286, заявл. 09.01.2017
7. А. А. Голицын, Программный комплекс для управления тепловизионными и многоканальными приборами наблюдения по шине USB 2.0 // Апробация, 2015. №11 (38). С. 10–12

COMPACT LASER LOCATOR OF OPTICAL SYSTEMS

Alexandr A. Golitsyn^{1,2}

*Natalya A. Seifi*²

¹ Design and Technology Institute of Applied Microelectronics (Branch of The Institute of Semiconductor Physics), 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentev av, 2/1

² Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Marksa str,
20

A design of an active-pulsed laser locator of optical systems based on a CCD image sensor is proposed. The design provides the synchronization of the laser emitter and photodetector without using of an electron-optical converter as a fast shutter, thereby reducing the dimensions of the device.

Keywords: active-pulse device, laser emitter, CCD image sensor

ОБНАРУЖИТЕЛЬ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ТОЧЕЧНЫХ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ С ДВУМЯ СКОРОСТНЫМИ ПОРОГАМИ

Елагина Ксения Александровна, младший научный сотрудник

Научно-исследовательский институт измерительных приборов-Новосибирский завод имени Коминтерна, 630015, Россия, г. Новосибирск, ул. Планетная, 32

Елагина К.А., e-mail: ksenia_elagina@mail.ru

Адрес для корреспонденции: Елагина Ксения Александровна, Научно-исследовательский институт измерительных приборов-Новосибирский завод имени Коминтерна, 630015, Россия, г. Новосибирск, ул. Планетная, 32, тел. 8(983)136-49-31

Аннотация:

В условиях точечных пассивных помех при ограниченном временном балансе для одной пачки импульсов предлагается алгоритм обнаружения, состоящий из алгоритмов некогерентного накопления и разностно-временной череспериодной компенсации. Уменьшение потерь и расширение диапазона радиальных скоростей обнаруживаемых целей при небольшой ширине спектра помех достигнуто за счёт применения двух порогов по частоте Доплера. С помощью статистического моделирования установлено, что для помех с широким спектром расширить диапазон скоростей и добиться его независимости от ширины спектра помехи можно только при увеличении числа пачек импульсов, обрабатываемых по алгоритму некогерентного накопления с частотным порогом, или при переходе на пачечные сигналы.

Ключевые слова: точечная пассивная помеха, малая радиальная скорость, некогерентное накопление, череспериодная компенсация, частотный порог

1. Введение

Радиолокационные станции (РЛС) вынуждены работать в условиях отражений от оптически ненаблюдаемых объектов – «ангелов» (отражений «от ясного неба»), которые являются точечными пассивными помехами (ТПП). К ТПП относят отражения от диэлектрических неоднородностей и турбулентностей атмосферы, стай птиц, скоплений насекомых и др. [1 – 4].

Для защиты РЛС от ТПП для пачки с небольшим числом импульсов и с вобуляцией (изменением) периода повторения импульсов применяются алгоритмы разностно-временной череспериодной компенсации (РВ ЧПК) и некогерентного накопления с частотным порогом (НН-ЧП) [4 – 5]. Однако в обоих случаях имеет место снижение видимости «тихоходных» целей, а во втором случае – недостаточная защита от мощных помех. Как было показано в [5], дополнительное применение мгновенных регулировок усиления в

алгоритмах РВ ЧПК позволяет уменьшить число ложных отметок от ТПП, однако это приводит к ещё большему снижению характеристик обнаружения целей, движущихся с малыми радиальными скоростями.

Для повышения защищённости РЛС от ТПП и улучшения видимости «тихоходных» целей в [5] предложено обрабатывать по алгоритму НН-ЧП пачки импульсов с двумя параметрами вобуляции [6], сигналы с периодической частотной модуляцией (ПЧМ) [7], пачки импульсов одного углового направления или смежных лучей диаграммы направленности антенны [5, 8–9], а также осуществлять адаптацию частотного порога (ЧП) к мощности сигнала [5, 7–9]. Дальнейшие исследования автора показали, что для одной пачки с небольшим числом импульсов дополнительный положительный эффект можно получить при некоторой модификации алгоритма НН-ЧП. Новый алгоритм не лишён недостатков алгоритма-прототипа при широком спектре помехи, однако для помех с относительно узким спектром позволяет получить выигрыш.

Целью настоящей статьи является синтез и анализ алгоритма обнаружения в условиях ТПП, позволяющего в условиях ограниченного временного баланса при надёжной защите от помех уменьшить потери и повысить характеристики обнаружения «тихоходных» целей.

2. Теория

Алгоритмы НН-ЧП и однократной и двукратной РВ ЧПК (РВ ЧПК1 и РВ ЧПК2) были исследованы в [4–5]. Для повышения защищённости РЛС от помех алгоритмы РВ ЧПК можно дополнить ЧП. По результатам моделирования автора получено, что ЧП для алгоритмов РВ ЧПК-ЧП ниже ЧП для алгоритма НН-ЧП, что позволяет при той же степени защиты от ТПП в РВ ЧПК-ЧП выставлять меньшие ЧП.

Обнаружитель с двумя скоростными порогами

Аналитическая запись предлагаемого алгоритма, например, для НН из 3-х импульсов и РВ ЧПК1 имеет вид:

$$\begin{cases} K \cdot |x_3 \cdot e^{-j\hat{\Phi}_{21}} - 2 \cdot x_2 + x_1 \cdot e^{j\hat{\Phi}_{32}}| > C_{РВЧПК1} \cap C_{f1} < |\hat{F}_d| \leq C_{f2}, \\ \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 x_i > C_{НН} \cap |\hat{F}_d| > C_{f2}, \\ 0, \text{ else} \end{cases}$$

где (x_1, x_2, x_3) – комплексные отсчёты сигнала на выходе фильтра сжатия

в 3-х периодах повторения импульсов, $K = \frac{1}{\sqrt{6}}$, $e^{j \cdot \hat{\Phi}_{21}} = \frac{x_2 \cdot x_1^*}{|x_2 \cdot x_1^*|}$, $e^{j \cdot \hat{\Phi}_{32}} = \frac{x_3 \cdot x_2^*}{|x_3 \cdot x_2^*|}$,

$\hat{\Phi}_{21}$, $\hat{\Phi}_{32}$ – оценки разностей фаз эхо-сигналов между периодами,

$C_{РВЧПК1}$, $C_{НН}$ – амплитудные пороги,

C_{f1} , C_{f2} – частотные пороги в алгоритмах РВ ЧПК1 и НН соответственно,

$$\hat{F}_d = \frac{\arg(e^{j(\hat{\phi}_{32} - \hat{\phi}_{21})})}{2 \cdot \pi \cdot \Delta T} - \text{оценка частоты Доплера, } \Delta T - \text{вобуляция,}$$

\arg – операция получения фазы комплексного числа, \cap – операция логического «И».

3. Результаты и обсуждение

Для анализа эффективности алгоритмов были рассчитаны потери в пороговом сигнале за счёт скоростной селекции относительно НН без ЧП, а также определены минимальные радиальные скорости обнаруживаемых целей. Под минимальной радиальной скоростью обнаруживаемой цели понималась такая радиальная скорость (частота Доплера), для которой вероятность обнаружения цели в алгоритмах с ЧП при фиксированной мощности сигнала равнялась 0,5.

По результатам моделирования получено, что с ростом частоты Доплера потери падают, при этом при одинаковой степени защиты от помех алгоритм РВ ЧПК1-ЧП имеет меньшие потери в области скоростей целей 150...350 м/с. Однако для целей, движущихся со скоростями 350...600 м/с, за счёт додетекторного взвешивания с последующим накоплением сигнала алгоритм РВ ЧПК1-ЧП по сравнению с НН-ЧП вносит потери $\approx 0,8...1$ дБ. По величине потерь в обнаружении применение РВ ЧПК2-ЧП менее эффективно, чем РВ ЧПК1-ЧП. Улучшенный алгоритм имеет практически ту же эффективность по обнаружению «тихоходных» целей, что и алгоритмы РВ ЧПК, а по величине потерь в разных диапазонах частот Доплера практически повторяет характеристики для НН-ЧП или РВ ЧПК-ЧП.

Исследования автора показали, что независимость ЧП от ширины доплеровского спектра ТПП наблюдается только в алгоритмах НН-ЧП для ПЧМ сигнала и НН-ЧП для 3-х пачек импульсов. В алгоритмах с однократным зондированием углового направления пачкой импульсов (НН-ЧП, РВ ЧПК1-ЧП, РВ ЧПК2-ЧП) при обеспечении малого числа ложных отметок ($V_{ЛТ} \approx 10^{-2}$) добиться независимости ЧП от ширины спектра не удаётся.

4. Выводы

Предложен улучшенный алгоритм с адаптивным к мощности сигнала ЧП, который за счёт комбинации алгоритмов НН-ЧП и РВЧПК1-ЧП при надёжной защите от ТПП с шириной спектра до 40 Гц позволяет до 1 дБ уменьшить потери обнаружения целей, движущихся со скоростями 350... 600 м/с, а также по сравнению с НН-ЧП уменьшить радиальные скорости обнаруживаемых целей до 1,5 раз.

Понизить ЧП и добиться его независимости от ширины спектра помехи до 90 Гц можно только при увеличении числа пачек импульсов, обрабатываемых по алгоритму НН-ЧП, или при переходе на пачечные сигналы.

Библиографический список:

1. Справочник по радиолокации / под ред. М. Сколника. Т.1. – М.: Советское радио, 1979, С. 256–259.
2. Бакулев, П.А. Методы и устройства селекции движущихся целей / П.А. Бакулев, В.М. Степин. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
3. Черников, А.А. Радиолокационные отражения от ясного неба / А.А. Черников. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. – 41 с.
4. Лозовский И. Ф. Защита РЛС обзора от точечных помех, монография.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014.
5. Елагина К.А. Эффективность обнаружителей сигналов в условиях точечных пассивных помех / К.А. Елагина // Вестник Концерна ПВО Алмаз-Антей. – 2016. – №1. – С. 69 – 75.
6. Елагина К.А. Обнаружение некогерентной пачки импульсов в условиях воздействия отражения от «ангелов» и несинхронных сигналов / К.А. Елагина, И.Ф. Лозовский // Материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем», Ульяновск, 22-23 сентября 2011 г. – С. 46 – 49.
7. Аксельрод Г.З. Применение сигналов с пилообразной ЧМ / Г.З. Аксельрод, К.А. Елагина // Материалы XVIII Всерос. науч.-техн. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники». Красноярск, 6-7 мая 2015 г.: Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2015. Т.1. – С. 45–50.
8. Елагина К.А. Алгоритм обнаружения в условиях помех «АНГЕЛ-ЭХО»/ К.А. Елагина // Материалы XVIII Всерос. науч.-техн. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники». Красноярск, 6-7 мая 2015 г.: Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2015. Т.1. – С. 40–45.
9. Елагина К.А. Эффективность обработки пачек импульсов в смежных лучах ДНА в условиях «Ангел-эхо» / К.А.Елагина // Материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (АПЭП – 2016). Новосибирск, 3 – 6 октября 2016 г.: Изд-во Новосиб. госуд. техн. ун-та, 2016. Т.12. – С. 19 – 23.

THE SIGNALS DETECTOR IN PASSIVE POINT-NOISES WITH TWO VELOCITY THRESHOLDS ENVIRONMENT

Elagina Ksenia Aleksandrovna, junior scientist researcher,

e-mail: ksenia_elagina@mail.ru

JSC Scientific and Research Institute of Measurement Instrumentation – Novosibirsk Plant named after the Komintern, 630015, Russia, Novosibirsk, Planetnaya str., 32

In the article the algorithm which in point passive noises and limited temporal balance environment allows reducing losses and improving characteristics of detection of the objects moving with small range rates, is offered. The offered algorithm consists of algorithms of incoherent integration and time-difference alternate-period integration, each of which is added by a velocity threshold (a threshold on Doppler frequency). By results of simulation it is received that in case of reliable interference protection with a width of band up to 40 Hz, the loss of objects detection moving with speeds of 350 ... 600 m/s about 1 dB is reduced, and also the range rates of the found objects are reduced to 1.5 times. It is set that it is possible to reduce the frequency threshold and to achieve its independence of noise band width to 90 Hz only in case of increase in number of packs of the pulses processed on an algorithm of incoherent accumulation with a Doppler frequency threshold or change to burst signals.

Keywords: passive point-noise, small range rate, incoherent integration, alternate-period integration, the frequency threshold

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПЕЛЕНГАЦИИ ПОСТАНОВЩИКОВ АКТИВНЫХ ПОМЕХ МОБИЛЬНОЙ РЛС

Калин Артем Валерьевич

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19

Калин А. В., e-mail temon93@mail.ru

Аннотация: рассматривается возможность оптимизации параметров антенной системы мобильной радиолокационной станции (РЛС). Оптимизация проводится с целью уменьшения количества отметок ложных целей, появляющихся в результате воздействия постановщиков активных помех на боковые лепестки диаграммы направленности приемной антенны РЛС. Получены аналитические выражения для проведения анализа отношения мощностей в основном и дополнительном канале приемника в зависимости от мощности поступающего сигнала постановщика активных помех. Анализ проводится для двухканальной мобильной РЛС кругового обзора по азимуту в которой для определения угловых координат постановщиков активных помех применяется амплитудный метод пеленгации по максимуму.

Ключевые слова: определение угловых координат, радиопеленгация, радиопротиводействие, активные помехи.

1. Введение

Радиопротиводействие - активно развивающаяся область радиолокации, в настоящее время разработано множество способов постановки помеховых сигналов, также существует большое количество защитных систем, алгоритмов и устройств, обеспечивающих защиту или снижение влияния от воздействия помехового сигнала.

Наиболее опасным видом умышленных помех, являются активные помехи. Сигнал активной помехи обычно перекрывает или имеет близкое значение к частоте, на которой работает РЛС. При воздействии такой помехи ухудшается отношение сигнал/шум, нарушается нормальный режим работы РЛС. Также если помеха имеет очень большую мощность, то возможна перегрузка приемного тракта РЛС. В этом случае необходимо применить радикальный метод борьбы: обнаружить постановщик помех, определить угловые координаты и уничтожить посредством боевых средств.

2. Теория

Мощность активных помех, создаваемых ПАП может варьироваться в широких пределах, поэтому в одноканальных приемниках возможно обнаружение сигнала при действии по боковым лепесткам диаграммы

направленности приемной антенны, при этом запоминаются координаты, соответствующие направлению главного луча, но в направлении главного луча ПАП нет, так получается ложная цель (ложный пеленг). Поэтому применяется двухканальная схема приемника[1], анализ отношения мощностей в каналах(1) позволяет исключить часть ложных пеленгов введением дополнительных порога.

$$A_{\text{отн}} = \frac{P_0 + P_{\text{ш}}}{P_1 + P_{\text{ш}}} \quad (1)$$

Анализ проводится для двух областей – область главного луча и область боковых лепестков диаграммы направленности антенны. Рассматривая предельные величины для выражения (1) получаем для двух областей оценку изменения величины отношения мощностей в каналах:

$$A_{\text{отн,гл}} = \begin{cases} \ll \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{гл}}} \text{ при } P_{0,\text{гл}} \ll \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{гл}}} \\ \approx 0.5 \cdot \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{гл}}} \text{ при } P_{0,\text{гл}} = \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{гл}}} \\ \leq \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{гл}}} \text{ при } P_{0,\text{гл}} \gg \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{гл}}} \end{cases} \quad (2)$$

$$A_{\text{отн,бл}} = \begin{cases} \ll \frac{G_{0,\text{бл}}}{G_{1,\text{бл}}} + 1 \text{ при } P_{0,\text{гл}} \ll \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{бл}}} \\ \approx 0.5 \cdot \frac{G_{0,\text{бл}}}{G_{1,\text{бл}}} \text{ при } P_{0,\text{гл}} = \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{бл}}} \\ \frac{G_{0,\text{бл}}}{G_{1,\text{бл}}} \text{ при } P_{0,\text{гл}} \gg \frac{G_{0,\text{гл}}}{G_{1,\text{бл}}} \end{cases} \quad (3)$$

Для исключения влияния ошибок, вызванных различием коэффициента усиления приемного тракта, а также различием уровней собственных шумов, каналы приема делают идентичными. Для мобильной РЛС существуют значительные ограничения по массогабаритным параметрам, поэтому на размеры полотен антенн накладываются ограничения - полотно антенны дополнительного канала имеет размер в несколько раз меньше полотна антенны основного канала.

Рассматривание выражения (2) и (3) очевидно, что отношение мощностей сигналов зависит не только от мощности сигнала помехи, но и от отношения диаграмм направленности антенн (соответствующих направлению с которого пришел сигнал активной помехи) основного и дополнительного каналов приемников.

3. Выводы

1. Анализируя данные выражения для различных спектральных мощностей помехи и дальности действия постановщика активных помех возможно выработать требования к антенной системе РЛС удовлетворяющих ограничениям по мобильности;
2. По результатам анализа выбирается порог отношения мощностей в каналах, который приведет к уменьшению количества ложных пеленгов по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны;

Библиографический список:

1. Я. Д. Ширман. Радиолокационные системы: Основы построения и теория. – Радиотехника, 2007.

STUDY OF THE METHOD OF PELENGATION ACTIVE INTERRUPTION FOR MOBILE RADIOLOCATION STATION

Kalin Artem, Master student, NSTU, Novosibirsk, 20 Prospekt K. Marksa, e-mail: temon93@mail.ru.

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Prospekt K. Marksa, tel. (913) 005-48-19

Abstract: This article explores the possibility of optimization parameters in antenna system for reducing false targets in mobile radiolocation station. False targets are the result of powerful impact (active interruption) on the side lobes of radiation pattern of the antenna. Analytical expressions are obtained for analyzing of power in two channels. The resulting expressions analyze for the dependence of the power in the channels to power of the coming interfering signal (active interruption). Analytical expressions realized for dual-channel mobile circular scanning in azimuth radiolocation station. Station realized determine angular coordinates by amplitude method (the finding maximum method).

Keywords: determine angular coordinates, radio-pelengation, radio warfare, active interruption.

МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАССОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ ОСНОВАННЫЙ НА ОЦЕНКЕ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ

Мартынов Дмитрий Олегович

*Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (913)005-48-19*

Мартынов Д. О., e-mail makak2009@mail.ru

Аннотация: рассмотрена возможность построения алгоритма распознавания классов радиолокационных целей (объекты делятся на классы по размерам) на основе известного распределения плотности вероятности модуля коэффициента корреляции, оцененного по малой выборке отсчетов флуктуирующих амплитуд эхосигнала. Получены аналитические выражения для расчета вероятностей правильного распознавания каждого из различаемых классов радиолокационных объектов. Работа алгоритма рассмотрена для случая распознавания из двух классов объектов. Рассмотрена устойчивость используемого признака распознавания (модуль коэффициента корреляции отсчетов флуктуирующих амплитуд эхосигналов).

Ключевые слова: коэффициент корреляции, спектр флуктуаций, распознавание классов, радиолокационный объект.

1. Введение

Использование флуктуаций амплитуд эхосигналов как основы для построения алгоритма распознавания основывается на известной связи ширины спектра флуктуаций с размерами радиолокационного объекта. При этом теорема Винера-Хинчина позволяет использовать в качестве признака распознавания коэффициент корреляции между отсчетами амплитуд. Целью данной работы является синтез алгоритма распознавания, основанный на известном распределении плотности вероятности оценки модуля коэффициента корреляции амплитуд эхосигналов.

В работе [1] приводится ПРВ (плотность распределения вероятности) оценки модуля коэффициента корреляции (1).

$$W(y) = \frac{2\sqrt{(1-\rho^2)}}{\pi(1-\rho^2 y^2)\sqrt{1-y^2}}, \quad (1)$$

где y – оценка модуля коэффициента корреляции; ρ – значение коэффициента корреляции (истинное).

Оценку модуля коэффициента корреляции автор [1] предлагает проводить по следующей формуле:

$$y = |\hat{r}| = \frac{2 |A_1| |A_2|}{A_1^2 + A_2^2}, \quad (2)$$

где A_1 и A_2 – отсчеты амплитуд экосигнала.

2. Вывод решающего правила

Получить решающее правило (алгоритм распознавания) можно, найдя отношение правдоподобия условных ПРВ (1). Используя критерий максимального правдоподобия, получим:

$$\frac{W(y/II)}{W(y/I)} = \frac{(1 - R_1^2 y^2) \sqrt{(1 - R_2^2)}}{(1 - R_2^2 y^2) \sqrt{(1 - R_1^2)}} \geq 1, \quad (3)$$

где $W(y/I)$ и $W(y/II)$ – условные распределения оценок модулей коэффициентов корреляции для целей двух классов; R_1 и R_2 – коэффициенты корреляции, соответствующие классам 1 и 2.

Дальнейшее преобразование отношения правдоподобия (3) даст решающее правило (алгоритм распознавания) для случая двух классов:

$$\begin{cases} \text{если } y < y_p \text{ – объект относится к классу I;} \\ \text{если } y \geq y_p \text{ – объект относится к классу II,} \end{cases} \quad (4)$$

где y_p – пороговое значение, определяемое следующим образом:

$$y_p = \sqrt{\frac{K - 1}{R_2^2 K - R_1^2}}; \quad K = \frac{\sqrt{(1 - R_1^2)}}{\sqrt{(1 - R_2^2)}}; \quad (5)$$

K – вспомогательный коэффициент, введенный для сокращения записи.

Для получения аналитических выражений вероятностей правильного распознавания требуется вычислить определенные интегралы от условных ПРВ (1) в пределах, устанавливаемых решающим правилом (4). Неопределенный интеграл от ПРВ (1) даст следующий результат:

$$\int W(y) dy = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{y \sqrt{1 - \rho^2}}{\sqrt{1 - y^2}} \right). \quad (6)$$

Используя (6) можно вывести аналитические выражения для нахождения вероятностей правильного распознавания каждого класса. Для первого класса имеем:

$$P1 = \int_0^{y_p} W(y/I) dy = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{y_p \sqrt{1 - R_1^2}}{\sqrt{1 - y_p^2}} \right). \quad (7)$$

Для второго класса объектов соответственно получим:

$$P_2 = \int_{y_p}^1 W(y/II) dy = 1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{y_p \sqrt{1 - R_2^2}}{\sqrt{1 - y_p^2}} \right). \quad (8)$$

Интегрирование в (8) производится до единицы т.к. распределение (1) описывает ПРВ оценки модуля коэффициента корреляции, значение которой не может превышать единицы.

3. Моделирование работы алгоритма

Для оценки возможностей алгоритма были смоделированы спектры флуктуаций двух классов объектов (малоразмерные и крупноразмерные). Для оценки устойчивости работа алгоритма тестировалась для двух разных групп объектов. В качестве оценки эффективности алгоритма использовались средние вероятности правильного распознавания, рассчитанные с помощью выражений (7) и (8). Результаты моделирования и параметры объектов сведены в (табл. 1) для разных групп объектов.

Таблица 1

Распознавание двух классов

Класс	ЭПР, м ²	Скорость, м/с	Ширина спектра флуктуаций, Гц	Вероятность распознавания
Малоразмерный	0.22	820	3.15	0.74
Крупноразмерный	28.2	227	19.9	0.74
Вторая группа объектов				
Малоразмерный	0.38	1000	5.5	0.66
Крупноразмерный	22.25	833	16.3	0.66

4. Выводы

1. Проведенные расчеты (смотри табл. 1) позволяют судить о достаточно сильной зависимости вероятностей правильного распознавания от ширины спектра флуктуаций (или коэффициента корреляции) амплитуд эхосигнала.
2. Несмотря на выявленную неустойчивость признака, значения вероятностей правильного распознавания для двух классов оказались приемлемыми в достаточной степени.
3. Достоинством полученного алгоритма можно считать его относительную простоту: для порогового значения (5) требуется только оценка коэффициента корреляции амплитуд, которая может быть получена с помощью выражения (2).

Библиографический список:

1. В. М. Кошевой. Эффективность оценивания модуля коэффициента корреляции по одной выборке. – Радиотехника, 1986, № 6.

METHOD OF RECOGNITION OF RADAR OBJECTS CLASSES BASED ON ASSESSMENT OF CORRELATION COEFFICIENT MODULE

Martynov Dmitry, Master student, NSTU, Novosibirsk, 20 Prospekt K. Marksa, e-mail: makak2009@mail.ru.

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Prospekt K. Marksa, tel. (913) 005-48-19

Abstract: the possibility of constructing an algorithm for recognizing the classes of radar targets (objects are divided into classes by their size) is considered on the basis of the known probability density distribution of the correlation coefficient module estimated with a small sample of fluctuating echo signal amplitudes. Analytical expressions are obtained for calculating the probabilities of correct recognition for each of the different classes of radar objects. The work of the algorithm is considered for the case of recognition from two classes of objects. The stability of the recognition attribute used (the module of the correlation coefficient of the fluctuating amplitudes samples) is considered.

Keywords: correlation coefficient, fluctuation spectrum, class recognition, radar object.

РАСЧЕТ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ПО ЕЁ ЦИФРОВОЙ КАРТЕ МЕСТНОСТИ

Никулин Андрей Викторович¹, к.т.н.

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. 346-15-46

Никулин А. В., e-mail a.nikulin@corp.nstu.ru

Адрес для корреспонденции: *Никулин Андрей Викторович*, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-15-46

Аннотация: Рассмотрен способ расчета отражающих свойств поверхности земли по её цифровой карте местности. Использование цифровой карты местности позволяет получить наглядные и легко интерпретируемые результаты, а кроме того, значительно сократить сроки подготовительного этапа при проведении процедуры полунатурного моделирования электромагнитных полей, отраженных поверхностью земли. Использование общеизвестных выражений и эмпирических данных при расчете удельной эффективной поверхности рассеяния позволяет получить прогнозируемые результаты, а это является важным при калибровке и настройке радиолокационного комплекса.

Ключевые слова: полунатурное моделирование, распределенный объект, матрица высот.

1. Введение

В процессе разработки и настройки радиолокационных комплексов часто прибегают к полунатурному моделированию. Наиболее полноценным принято считать моделирование при котором вблизи приемной антенны исследуемого комплекса формируется электромагнитное поле близкое к полю переотраженному реальным объектом [1]. Тут особый интерес представляют распределенные объекты такие как, например, поверхность земли. Вопросы построения моделей имитирующих отражения от распределенных объектов были рассмотрены в [1,2].

Не раскрытым остается вопрос получения исходных данных, иначе говоря, задания типов покрова и отражающих свойств поверхности земли. Представление поверхности в виде математической абстракции является ненаглядным и не позволяет в полной мере раскрыть потенциал полунатурного моделирования. Если вручную вводить данные об имитируемой поверхности, то при моделировании большого участка (например, 500x500 км.) ввода занимает очень много времени.

Поэтому был предложен третий подход к получению исходных данных для проведения полунатурного моделирования: использование цифровой карты

местности с нанесенными объектами и их атрибутами, такими как ширина, высота, материал, из которого изготовлен объект и другие. В этом случае объекту определённого типа будет соответствовать своя удельная эффективная площадь рассеяния (УЭПР), по которой затем формируются отражения с учетом зондирующего сигнала, скорости носителя радиолокационной станции (РЛС) и других параметров. Этот способ обладает большой наглядностью. И позволяет осуществлять построение тренажеров личного состава радиолокационных станций с использованием имитаторов эхосигналов. Для формирования отраженного сигнала необходимо в каждом элементе разрешения РЛС знать ЭПР и тип отражающей поверхности.

Цель работы: синтезировать алгоритм для расчета отражающих свойств распределённого объекта по его цифровой карте.

2. Теория

В качестве исходных данных для работы воспользуемся цифровыми топографическими, специальными или навигационными картами местности в формате SXF. Формат SXF является открытым форматом цифровой информации о местности, имеет простую структуру и однозначную последовательность полей в записи. Применяется в геоинформационных системах для хранения цифровой информации о местности, обмена данными между различными системами, создания цифровых и электронных карт и решения многих прикладных задач. Является основным обменным форматом цифровой информации о местности в Вооруженных Силах РФ.

Матрица высот это трехмерная растровая модель рельефа местности, получаемая путем преобразования исходных векторных данных района в растровый вид и дальнейшего дополнения растровой модели методом интерполяции. Для этого из файла SXF считывается слой рельефа суши и путем билинейной интерполяции вычисляются значения высоты в промежуточных точках. На рис. 1 показан результат работы программы с использованием гипсометрической окраски высотных ступеней. Белым кругом показано положение приемной антенны РЛС.

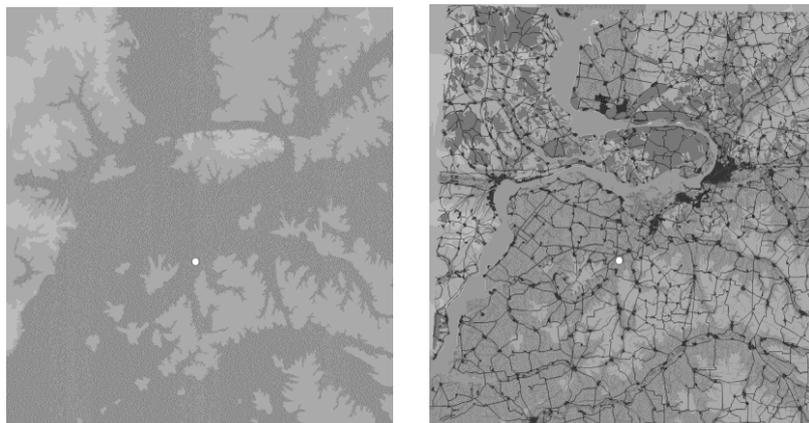


Рис.1. Матрица высот (слева) и матрица высот с наложенными объектами карты (справа)

Растрезация карты производится последовательно. Сначала растрируются полигоны. Затем растрируются линейные объекты для этого

используется классический алгоритм Брезенхема, предназначенный для отображения фигур точками на плоскости. Этот алгоритм находит широкое распространение в машинной графике для отображения линий на экране. Алгоритм определяет, какие точки двумерного растра расположены под линейным объектом. На рис. 1. справа показан результат растеризации карты.

3. Расчет ЭПР

По сформированной карте можно определить УЭПР фрагмента земной поверхности. В [6, 7] приведены расчетные соотношения, позволяющие определить зависимость удельной эффективной площади рассеяния от угла скольжения, для различного уровня шероховатости рельефа поверхности и разного типа поляризации сигнала. Для увеличения быстродействия алгоритма расчет УЭПР произведем только для незатененных участков фрагмента поверхности земли и в зоне видимости РЛС. Результат расчета показан на рис.3.

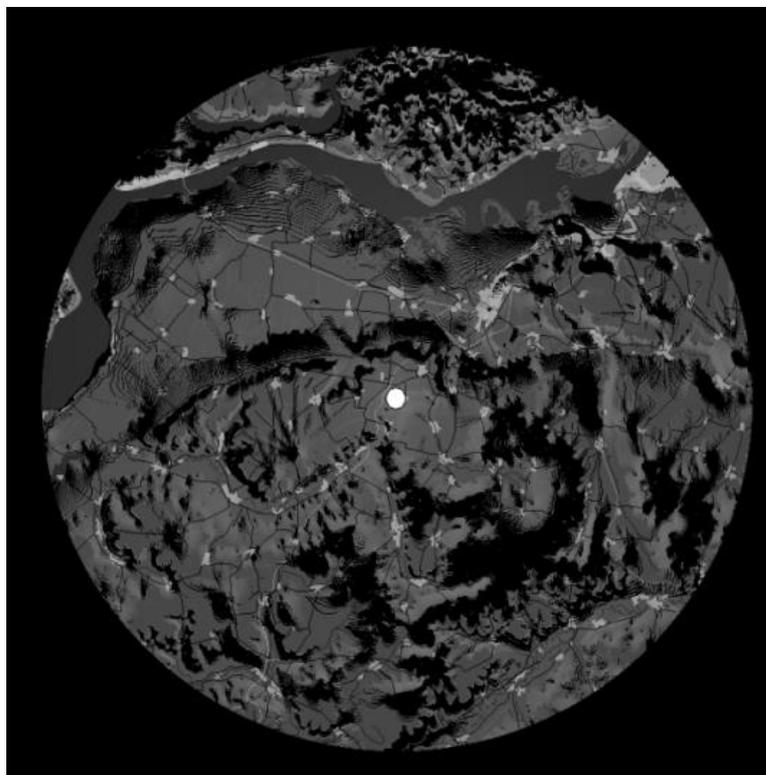


Рис. 2. УЭПР фрагмента земной поверхности

Для формирования отраженного сигнала необходимо рассчитать ЭПР для каждого элемента разрешения РЛС [3,8].

На рис.2 показан результат обработки карты с набором УЭПР с учетом диаграммы направленности антенны РЛС. Каждый пиксель изображения на рис.2 соответствует одному элементу разрешения РЛС. Яркость пикселя обусловлена ЭПР в конкретном элементе разрешения. По горизонтальной оси изменяется азимут по вертикальной – дальность. На рис.3. угол места фиксирован.

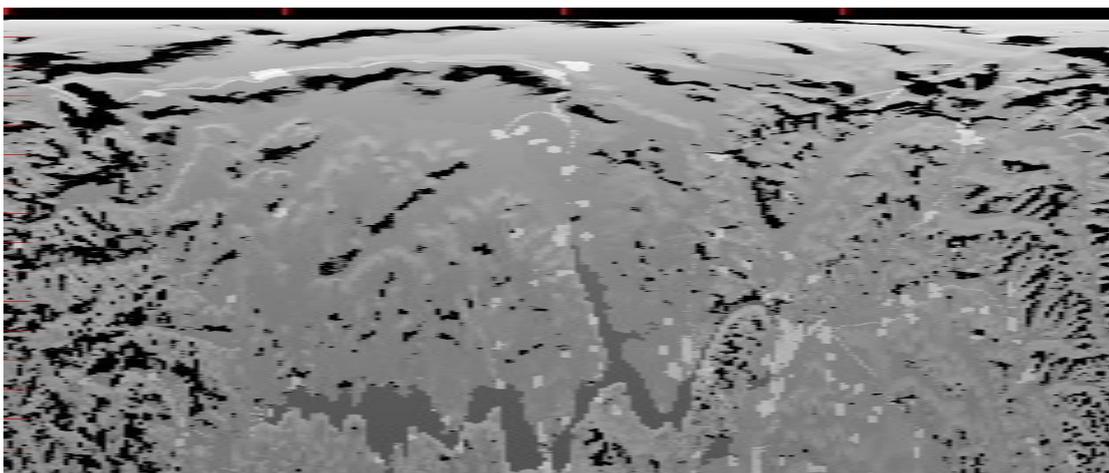


Рис.3. ЭПР для каждого элемента разрешения РЛС.

4. Выводы

Описанный выше способ может быть использован для получения исходных данных, необходимых для проведения процедуры полунатурного моделирования отражений от поверхности земли. И за счет использования цифровой карты местности позволяет получить наглядные результаты, которые легко проверить и интерпретировать.

Библиографический список:

1. Никулин А. В. Малоточечная модель протяженного отражающего объекта / А. В. Киселев, А.В. Никулин, С.В. Тырыкин// Доклады АН ВШ РФ. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. С.78-88.
2. Skolnik M.I. Radar Handbook. 3ed. – New York: McGraw Hill, 2008. – 1352 p.
3. Островитянов Р. В., Басалов Ф. А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.
4. Weiler K. An incremental angle point in polygon test, in: P. Heckbert (Ed.), Graphic Gems IV, Academic Press, Boston, MA, 1994, pp. 16–23.
5. Hormann K., Agathos A. The point in polygon problem for arbitrary polygons. Comput. Geom. Theory Appl. (2001), pp. 131–144.
6. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. М.: Мир, 1989. С. 54–63.
7. Ширман Я. Д. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / под ред. Я. Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
8. Blake L. V., Heath D. C. Radar range performance analysis. Boston-London, Artech House. 1980.
9. Фельдман Ю. И., Мандуровский И. А. Теория флуктуаций локационных сигналов, отраженных распределенными целями / под. ред. Ю. И. Фельдмана. М.: Радио и связь, 1988. 272.

THE CALCULATION OF EARTH SURFACE REFLECTION CHARACTERISTICS BASED ON AREA DIGITAL MAP

*Nikulin Andrey Viktorovich*¹, Ph. D.,

e-mail a.nikulin@corp.nstu.ru

¹*Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa,
Novosibirsk, 630073, Russia*

Abstract: The calculation method of earth surface reflection characteristics based on digital map is considered. Using digital map allows to obtain obvious and easy interpret results and reduce the time of preparatory stage when seminatural modeling of electromagnetic field reflected by earth surface is carrying out. Using of well-known equations and empirical data when calculating the normalized cross section allows to obtain predictable results. It is important for calibration and adjustment of radar complex.

Keywords: seminatural modeling, distributed object, matrix of heights.

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ БИФОКАЛЬНОЙ ЛИНЗЫ

*Никулина Юлия Сергеевна*¹², аспирант; *Степанов Максим Андреевич*², к.т.н., доцент

¹ Научно-исследовательский институт измерительных приборов-завод имени Коминтерна,

630015, г. Новосибирск, ул. Планетная 32

² Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20.

Никулина Ю.С., email nikulina-us@yandex.ru

Степанов М.А., e-mail mstepanov@corp.nstu.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 рассматриваются бифокальные линзовые коллиматоры, которые призваны расширить углы сканирования облучателем антенны. В литературе вопрос определения толщины бифокальной линзы не рассмотрен. Поэтому предлагается на основе закона равенства оптических длин лучей составить целевую функцию для определения толщины такого коллиматора. Определение оптических длин лучей осуществлено при помощи геометрических методов. Результатом работы является функция двух переменных, найдя минимум которой, можно вычислить толщину бифокальной линзы. Используя полученную толщину, можно определить коэффициенты уравнения, которые определяют освещенную и теневую поверхности.

Ключевые слова: Целевая функция, бифокальная линза, линзовая антенна, линзовый коллиматор, двухфокусный коллиматор

1. Введение

Измерения параметров радиотехнических средств могут проводиться на полигонах (натурное моделирование) или в специальных помещениях – безэховых камерах (полунатурное моделирование). Последние отличаются более высокой точностью измерений, обеспечивают требование секретности и защиты от помех. Однако, стоимость реально существующих безэховых камер является весьма большой. Поэтому, весьма перспективным направлением исследований является использование линзовых коллиматоров, позволяющих значительно снизить размеры камеры, а, следовательно, и материальные расходы на проведение измерений антенн.

2. Определение толщины бифокальной линзы

Построение поверхности бифокального коллиматора возможно при помощи метода Джента-Штернберга [2], метода решетки [2], метода последовательных приближений [3]. Однако, эти методы являются весьма приближенными и не всегда работают.

В данной статье предлагается для расчёта толщины линзы составить целевую функцию. Известен закон равенства оптических длин лучей [4]. Для коллиматора он может быть записан следующим образом (рис.1):

$$(L_{1e}' + L_{2e}') \cdot k_1 = (L_{1e}'' + L_{2e}'') \cdot k_1 = L_{1e}''' \cdot k_1 + L_{2e}''' \cdot k_2 + L_{3e}''' \cdot k_1, \quad (3)$$

где k_1 - волновое число для воздуха, k_2 - в материале линзы, L_{1e}' , L_{1e}'' , L_{1e}''' - лучи, направленные из облучателя с координатой $(0;a)$ к верхнему краю линзы $(X_B; Y_B)$, средней точке освещенной поверхности $(\rho_1; 0)$, нижнему краю линзы $(X_B; -Y_B)$, соответственно, L_{2e}' , L_{2e}'' - лучи, направленные из краёв линзы, L_{2e}''' - луч, внутри линзы, проходящий расстояние от средней точки освещенной поверхности $(\rho_1; 0)$ до теневой поверхности $(\rho_2; 0)$, L_{3e}''' - длина луча, проходящего от $(\rho_2; 0)$ до точки пересечения с фазовым фронтом. Было предположено, что угол $\gamma_2 = 0$, то есть длина луча равна толщине линзы $L_{2e}'''(\rho_1, \rho_2) = \rho_2 - \rho_1 = t$ (рис.1). Это справедливо, так как преломление происходит в оптически более плотной среде.

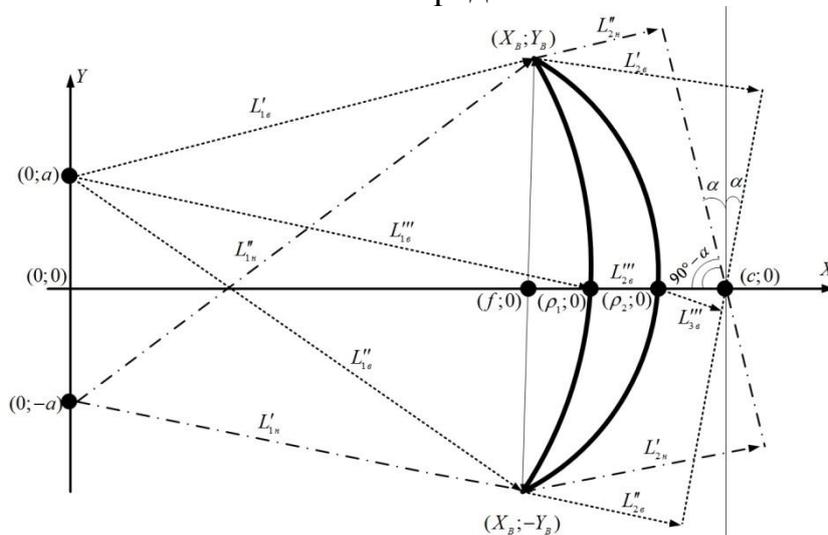


Рис. 1. Ход лучей в бифокальном линзовом коллиматоре

Из вышеописанного равенства может быть составлена целевая функция:

$$(L_{1e}''' + L_{3e}''' - L_{1e}' - L_{2e}') \cdot k_1 + L_{2e}''' \cdot k_2 = 0. \quad (4)$$

Или:

$$(L_{1e}''' + L_{3e}''' - L_{1e}'' - L_{2e}'') \cdot k_1 + L_{2e}''' \cdot k_2 = 0. \quad (5)$$

Длина луча L_{1e}''' может быть легко определена из геометрии линзы:

$$L_{1\epsilon}'''(\rho_1) = \sqrt{\rho_1^2 + a^2}. \quad (6)$$

Здесь ρ_1 - точка на освещенной поверхности линзы, в которую приходит луч, a - расстояние от главной оптической оси до облучателя.

Находится длина луча $L_{3\epsilon}'''$. Для этого задаётся уравнение прямой, моделирующей ФФ:

$$y_{\Phi\Phi}(x) = x \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) - c \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right), \quad (7)$$

Где α - угол наклона фазового фронта, c - точка, в которой пересекаются два наклоненных фазовых фронта.

Так как на выходе из линзы получается плоский фазовый фронт, наклоненный на некоторый угол, то луч $L_{3\epsilon}'''$ должен быть перпендикулярен фазовому фронту. Запишем уравнение луча, проходящего через точку, лежащую на теневой поверхности линзы ($\rho_2; 0$):

$$y_{\perp\Phi\Phi}(x) = -(x - \rho_2) / \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right). \quad (8)$$

Найдем точку пересечения луча $L_{3\epsilon}'''$ и фазового фронта. Для этого приравняем $y_{\Phi\Phi}(x) = y_{\perp\Phi\Phi}(x)$:

$$x \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) - c \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = -\frac{1}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)} \cdot (x - \rho_2). \quad (9)$$

Из этого уравнения определяем координаты точки пересечения:

$$x_{\text{перес}} = \left[\rho_2 + c \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \right] / \left[\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + 1 \right], \quad (10)$$

$$y_{\text{перес}} = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot \left[\left(\rho_2 + c \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \right) / \left(\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + 1 \right) - c \right]. \quad (11)$$

Зная точку пересечения фазового фронта и луча $L_{3\epsilon}'''$ и точку на теневой поверхности ($\rho_2; 0$), можно найти длину луча:

$$L_{3\epsilon}''' = \sqrt{(y_{\text{перес}} - 0)^2 + (x_{\text{перес}} - \rho_2)^2}. \quad (12)$$

Или:

$$L_{3\epsilon}'''(\rho_2) = \sqrt{\left[\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot \left[\frac{\rho_2 + c \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + 1} - c \right] \right]^2 + \left[\frac{\rho_2 + c \cdot \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + 1} - \rho_2 \right]^2}. \quad (13)$$

Длины лучей, проходящих через края линзы с координатами ($X_B; Y_B$) и ($X_B; -Y_B$) можно определить из геометрии линзы следующим образом:

$$L_{1\epsilon}' = \sqrt{X_B^2 + (Y_B - a)^2}, \quad L_{1\epsilon}'' = \sqrt{X_B^2 + (Y_B + a)^2}; \quad (14)$$

$$L_{2\epsilon}' = (c - X_B + Y_B \cdot \operatorname{tg}\alpha) \cdot \cos\alpha, \quad L_{2\epsilon}'' = (c - X_B - Y_B \cdot \operatorname{tg}\alpha) \cdot \cos\alpha. \quad (15)$$

После подстановки в (2) получаем целевую функцию, минимизируя которую, можно определить координаты ρ_1 и ρ_2 и найти толщину линзы t :

$$f(\rho_1, \rho_2) = \left| \left(L_{1\epsilon}'''(\rho_1) + L_{3\epsilon}'''(\rho_2) - L_{1\epsilon}' - L_{2\epsilon}' \right) \cdot k_1 + L_{2\epsilon}'''(\rho_1, \rho_2) \cdot k_2 \right| \rightarrow 0 \quad (16)$$

Или:

$$f(\rho_1, \rho_2) = \left| \left(L_{1\epsilon}'''(\rho_1) + L_{3\epsilon}'''(\rho_2) - L_{1\epsilon}'' - L_{2\epsilon}'' \right) \cdot k_1 + L_{2\epsilon}'''(\rho_1, \rho_2) \cdot k_2 \right| \rightarrow 0 \quad (17)$$

3. Выводы

Таким образом, в данной статье получена целевая функция, решение которой позволит определить толщину бифокального линзового коллиматора.

Библиографический список:

1. Dielectric bifocal lenses / Brown R. M. // IRE Cov. Rec. – 1956. – V.4 - №1.
2. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных 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*¹², *Ph.D. student; Stepanov Maxim Andreevich*², *Ph.D., Associate Professor*

¹ Stock company «Scientific Research Institute of measuring instruments-
Novosibirsky plant named after Komintern»,
630015, Novosibirsk, Planetnaya str., 32

² Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, Prospekt K.
Marksa, 20.

Abstract:

The paper discusses bifocal lenses aimed at increasing the scan angles of antenna's source. The issue of determining bifocal lens thickness and surface has not been considered yet. On the basis of the equal path length principle the authors develop the objective function for determining lens collimator thickness. The ray's path length is determined by using the known geometrical methods. As a result the function of two variables has been obtained. The low value of this function allows to estimate the bifocal lens thickness. Thickness's known value use for determining equation coefficients to calculate the illuminated and shady bifocal lens surface.

Keywords: objective function, bifocal lens, lens antenna, lens collimator, double-focus lens

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ПОМЕХ ОТ НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Орешкина Маргарита Валерьевна, магистрант

*Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20*

Орешкина М.В., 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 (953) 7920320*

Аннотация: Для контроля в лабораторных условиях параметров работы радиолокационных установок используют имитаторы эхо-сигналов, которые формируют сигналы от цели на фоне помех. Одним из основных помеховых объектов является земная поверхность. Соотношения для определения параметров помех от статистически однородной поверхности земли. Соотношения для неоднородной поверхности земли, подвергающейся ветровому воздействию, в литературе отсутствуют. В статье рассматривается метод вычисления коэффициента корреляции для неоднородных земных покровов с учетом доплеровских флуктуаций. Теоретические выводы подтверждаются математическим моделированием.

Ключевые слова: имитация, радиолокация, эхосигналы от поверхности земли, статистика, корреляционная функция.

1. Введение

Для формирования радиолокационных эхо-сигналов необходимо моделирование отражений от объекта на фоне помех. Одним из источников помех является земная поверхность, отражения от которой представляют собой нормальный случайный процесс. Для его описания используют функцию распределения и коэффициенты корреляции [1,2].

Соотношения для расчёта коэффициента корреляции при сканировании однородных покровов широко известны. Однако, поверхности земли может одержать покровы разных типов (лес, трава, поле), а так же местные предметы, создающие интенсивные отражения (скалы, здания). Такая неравномерность может оказывать существенное влияние на коэффициент корреляции [1].

Цель данной работы – получить соотношения для расчета корреляционной функции при сканировании неоднородной поверхности земли.

2. Теория

Поверхность земли состоит из большого числа элементарных отражателей. Сигнал в таком случае представляет собой сумму отражений,

нормированных диаграммой направленности антенны (ДНА). Амплитуда отражения зависит от удельной эффективной поверхности обратного рассеяния (УЭПР) покрова, а фаза случайна и имеет равномерное распределение в диапазоне от 0 до 2π . В этом случае коэффициент корреляции между двумя отсчетами сигнала от одного элемента зависит от доплеровского расширения спектра помехи, а сигналы от двух разных излучателей не коррелированы.

Рассмотрим поверхность, находящуюся на линии постоянной дальности. Если разделить поверхность земли на участки с одинаковыми УЭПР и доплеровским спектром (что соответствует покрову одного типа), то получим следующее выражения для определения корреляционной функции:

$$r(\alpha_0, \Delta\alpha) \sim \frac{\sum_{m=1}^M K_m \cdot \sigma_m^2 \cdot \int_{a_m}^{b_m} F(\alpha - \alpha_0) \cdot F(\alpha - \alpha_0 - \Delta\alpha) \cdot d\alpha}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sigma_m^2 \cdot \int_{a_m}^{b_m} F^2(\alpha - \alpha_0) \cdot d\alpha \cdot \sum_{m=1}^M \sigma_m^2 \cdot \int_{a_m}^{b_m} F^2(\alpha - \Delta\alpha - \alpha_0) \cdot d\alpha}},$$

где M – количество покровов; K_m – коэффициент корреляции доплеровских флуктуаций за период зондирующих импульсов; σ_m – значение УЭПР m -ого покрова; a_m и b_m – координаты начала и конца участка, который занимает m -й покров; α_0 – положение осей ДНА по азимуту с которого начинается сканирование; α – координата точки; $F(\alpha)$ – коэффициент усиления передающей и приемной антенн в направлении α ; $\Delta\alpha$ – угол на который смещается антенна за период повторения зондирующих импульсов.

3. Результаты и обсуждение

Для подтверждения полученных результатов было проведено математическое моделирование. В первом случае методом линейных преобразований был сформирован случайный процесс, в котором коэффициенты корреляции найдены по полученной формуле. Во втором случае суммировались отражения от порядка 1000 точек. Было проведено несколько экспериментов для различных ДНА. Обработка результатов показала, что статистические параметры сформированных процессов практически идентичны (отличие не превышает сотых долей, что вполне объяснимо ограниченным объемом выборки).

4. Выводы

Получено математическое выражение, для коэффициента корреляции при сканировании неоднородной поверхности земли. Моделирование эхо-сигналов на основе полученного коэффициента корреляции позволяет учитывать неравномерность земных покровов и флуктуации за счёт ветровых воздействий.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке программного обеспечения имитаторов отраженных радиолокационных сигналов

Библиографический список:

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М.И. Сколника. Пер. с англ. Под ред. В.С. Вербы. В 2 книгах. Книга 1. М.: Техносфера, 2014. - 672 с.
2. П.А. Бакулев, В.М. Степин Методы и устройства селекции движущихся целей М., изд-во «Радио и связь», 1986, 288 стр.

Correlation function of the radar interference from non-uniform Earth's surface.

Oreshkina Margarita Valeryevna, Master of Science student
email *oreskina.m@yandex.ru*

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk,
630073, Russia

Abstract: Interference modeling is one of the tasks of radar echo imitation. Ground return contribute greatly to the interference environment. The return is stochastic process as determined by the distribution function and the correlation function. Mathematical expressions for correlation function of uniform surface are widely known. However real surface include difference types of covers that can be not static. These factors have a considerable impact on the value of the correlation coefficient. The article describes the mathematical expression for calculation of correlation function for surface that includes different covers. This method makes it possible to take account of cover scattering properties and fluctuation because of wind effect. The results of numerical modeling confirm the theoretical conclusions.

Keywords: simulation, radiolocation, ground clutter, statistics, correlation function

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ШУМОВ КООРДИНАТ

*Подкопаев Артемий Олегович¹, магистрант, Степанов Максим
Андреевич², к.т.н., доцент*

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел.¹ (913)480-90-53

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.²
(383)346-15-46

Аннотация. Для испытания радиотехнических устройств намного эффективнее с точки зрения затрат экономических и временных ресурсов использовать полунатурное моделирование обстановки вместо натурального. В таком случае устройство испытывается в лаборатории, а радиоэлектронная обстановка, максимально приближенная к реальной, создается при помощи имитаторов радиосигналов. Для радиолокационных устройств при помощи имитаторов моделируются сигналы, отраженные от объекта радиолокации.

В данной работе рассмотрен метод имитации радиосигналов, отраженных от распределенных объектов, с использованием статистически зависимых случайных процессов, обладающий рядом преимуществ по отношению к другим известным методам. Определены математические зависимости параметров плотности распределения вероятностей шумов координат друг от друга. Описаны пределы возможностей такого способа моделирования. В качестве системы излучателей рассматривается двухточечная модель.

Ключевые слова: шумы координат, статистически зависимые сигналы, имитация эхосигналов, матричный имитатор, кажущийся центр излучения, дальняя зона антенны, коэффициент корреляции.

Размер и форма объекта в реальных условиях оказывают немалое влияние на определение его параметров на приемной стороне: сказываются неровности объекта, природные условия и др. В точке приема оценивается сразу вся совокупность электромагнитных волн, пришедших после отражения от распределенного в пространстве объекта с разными изменениями фаз и амплитуд. В результате в точке приема будут наблюдаться флуктуации фазового фронта совокупной волны, что приведет к искажению определяемого положения объекта радиолокации. Это явление называется шумами координат (ШК)[1]. Распределение отклонения положения определяемого источника излучения подчиняется закону, схожему с законом распределения Стьюдента с

двумя степенями свободы[2]. Также, при таком явлении на экране локатора исследуемый объект выйдет за границы своих реальных размеров[1]. Возможность моделирования подобных явлений, свойственных реальным условиям работы радиолокационных систем (РЛС) хотелось бы иметь в своем арсенале многим испытателям.

При имитации сигналов, отраженных от распределенных радиолокационных объектов используется система излучателей (матричный имитатор - МИ), непосредственно, имитатор и испытуемое устройство. В простейшем случае система излучателей представляет собой двухточечную модель: два излучателя, разнесенные в пространстве. Большинство задач радиолокации сводится к определению параметров объекта в дальней зоне приемной антенны, тогда два источника излучения сливаются в один, называемый кажущимся центром излучения (КЦИ). Если в качестве сигналов для МИ используются случайные процессы, то положение КЦИ во времени является набором случайных положений, сосредоточенных вокруг математического ожидания, плотность распределения вероятности (ПРВ) отклонения КЦИ от ожидаемого положения подчиняется тому же закону. Таким образом, рассеянный в пространстве КЦИ позволяет имитировать геометрически распределенный объект радиолокации. Центральное положение определяется параметром m - математическим ожиданием положения КЦИ, а протяженные размеры пропорциональны $1/\mu$, где μ - величина, обратно пропорциональная ширине ПРВ. И m , и μ зависят от отношения среднеквадратических тклонений (СКО) сигналов излучателей[2]. Самый новый метод моделирования параметров такой ПРВ - управление СКО статистически независимых сигналов излучателей. Далее приведены зависимости m и μ от соотношения (СКО) сигналов γ [1].

$$m(\gamma) = \frac{\gamma^2 - 1}{1 + \gamma^2}; \quad \mu(\gamma) = \frac{1 + \gamma^2}{2\gamma}.$$

Зависимость параметров ПРВ друг от друга в рамках такой модели:

$$\mu(m) = \frac{1}{\sqrt{1 - m^2}}.$$

Как видно из выражений выше, возможности такого моделирования весьма ограничены. Для дополнительного изменения параметров ПРВ применяются попытки механически изменять систему излучателей, например, изменять разнос между ними. Однако механическим системам присущ целый букет неточностей, сложностей и экономических потерь.

В качестве дополнительного способа управления параметрами ПРВ предлагается использовать статистически зависимые сигналы. В таком случае и m , и μ будут зависеть еще и от коэффициента их взаимной корреляции r [2]:

$$m(\gamma, r) = \frac{\gamma^2 - 1}{1 + 2 \cdot r \cdot \gamma + \gamma^2}; \quad \mu(\gamma, r) = \frac{1 + 2 \cdot r \cdot \gamma + \gamma^2}{2 \cdot \gamma \cdot \sqrt{1 - r^2}}.$$

Зависимости $m(\gamma, r)$ и $\mu(\gamma, r)$ повторяют зависимости $m(\gamma)$ и $\mu(\gamma)$

соответственно при коэффициенте корреляции r , равном 0.

При коэффициенте корреляции r , равном 1, значение μ стремится к бесконечности, что соответствует крайне узкой ПРВ или точечному КЦИ. Его положение внутри системы излучателей определяется только значением γ :

$$\lim_{r \rightarrow 1} \mu(r, \gamma) = \lim_{r \rightarrow 1} \frac{1 + 2 \cdot r \cdot \gamma + \gamma^2}{2 \cdot \gamma \cdot \sqrt{1 - r^2}} \rightarrow \frac{1 + 2 \cdot \gamma + \gamma^2}{2 \cdot \gamma \cdot 0} \rightarrow \infty;$$

$$m(\gamma, r) \rightarrow m(\gamma) = \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}.$$

При коэффициенте корреляции r , равном (-1), значение μ стремится к бесконечности, положение КЦИ определяется только значением γ .

$$\lim_{r \rightarrow -1} \mu(r, \gamma) = \lim_{r \rightarrow -1} \frac{1 + 2 \cdot r \cdot \gamma + \gamma^2}{2 \cdot \gamma \cdot \sqrt{1 - r^2}} \rightarrow \frac{1 - 2 \cdot \gamma + \gamma^2}{2 \cdot \gamma \cdot 0} \rightarrow \infty;$$

$$m(\gamma, r) \rightarrow m(\gamma) = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}.$$

Зависимости требуемых параметров сигналов для моделирования параметров ПРВ:

$$\gamma(m, \mu) = \sqrt{1 + \frac{4m}{(1-m)^2 + \frac{1}{\mu^2}}}; \quad r(m, \mu) = \frac{\gamma^2(m, \mu) \cdot (1-m) - (1+m)}{2m \cdot \mu \cdot \gamma(m, \mu)}.$$

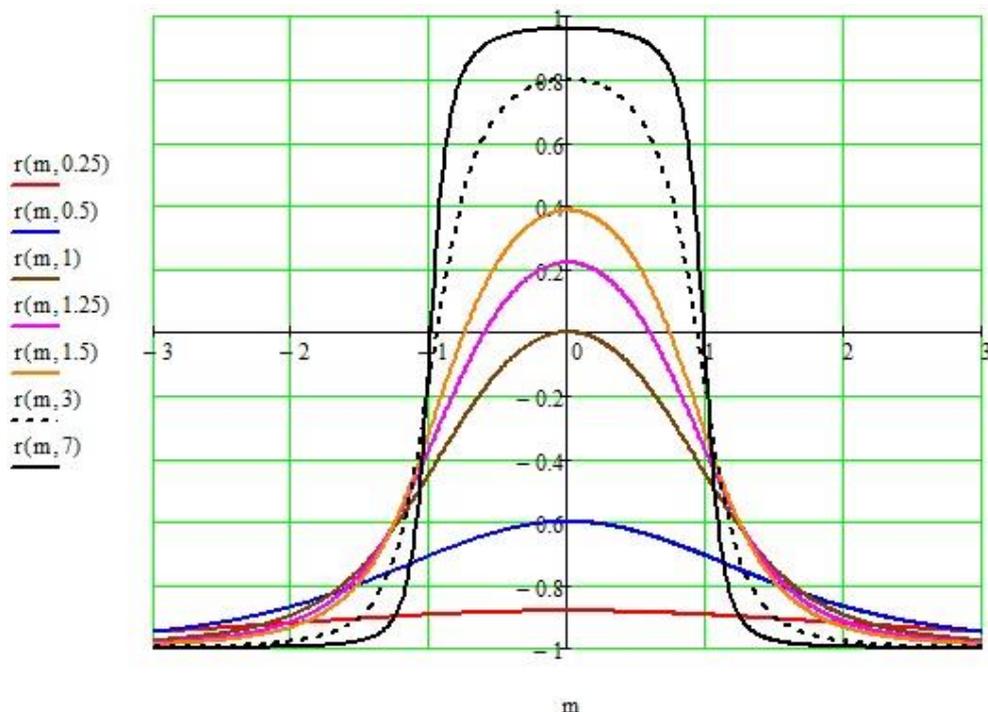


Рис. Зависимости значения коэффициента корреляции от мат. ожидания положения КЦИ при разных значениях μ .

Заключение

При моделировании параметров плотности распределения вероятности шумов координат с использованием статистически зависимых сигналов возможны результаты в следующих диапазонах:

Математическое ожидание положения КЦИ: $-\infty < m < \infty$.

Величина, обратно пропорциональная ширине ПРВ: $-\infty < \mu < \infty$.

Отношение амплитуд сигналов: $0 < \gamma < \infty$.

Коэффициент корреляции: $-1 \leq r \leq 1$.

Возможен выход КЦИ за пределы излучающей системы и моделирование объектов разной ширины и разной радиопрозрачности.

Следующим этапом работы видится моделирование параметров ПРВ отклонения КЦИ в среде matlab для возможного будущего использования при реальных радиотехнических устройствах.

Библиографический список

1) Имитация отражений радиосигналов на основе использования дискретных излучателей статистически независимых сигналов. / А.В. Никулин. – Новосибирск, НГТУ, 2015. -149с.

2) Статистическая теория радиолокации протяженных целей. / Р.В. Островитянов, Ф.А. Басалов – Москва, «Радио и связь», 1982. –232с.

THE ANGLE NOISE PROBABILITY DENSITY FUNCTION PARAMETERS MODELING

*Podkopayev Artemiy Olegovich*¹, *Master`s Degree student, Stepanov Maksim Andreyevich*², *Ph.D. (Engineering), Associate Professor*

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue, phone¹ (913)480-90-53

Podkopayev A. O., e-mail a_r_t_e_m_y@mail.ru

The address for correspondence: Podkopayev Artemiy Olegovich, Stepanov Maksim Andreyevich, Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks Avenue, phone² (383)346-15-46

Abstract. It is much more effective to use a semi-realistic modeling than realistic in context of the economic and time resources cost for the radio devices testing. In this case, the device is tested in the laboratory, and the electronic environment is created with the radio signal simulators using as close to realistic as possible. The reception of signals reflected from the radar object is modelled with the simulators using for radar devices.

The method of the radio signals reflected from distributed objects simulation with using statistically dependent random processes, which has a number of advantages relative to other known methods, is considered in this paper. The mathematical functions of the angle noise probability density function parameters are determined from each other. The limits of these modeling method possibilities are described. A two-point model is considered as an emitting system.

Keywords: angle noise, statistically dependent signals, echoed signal simulation, matrix simulator, apparent source of radiation, far-field zone of antenna, correlation coefficient.

**ДВУХТОЧЕЧНАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
РАСПРЕДЕЛЕННОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБЪЕКТА,
СОСТАВЛЕННАЯ ИЗ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ С
ЗАДАННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ**

*Сабитов Тимур Ильясович¹; Степанов Максим Андреевич¹, к.т.н.;
Киселев Алексей Васильевич¹, 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

Рассмотрена геометрическая модель распределенного радиолокационного объекта, составленная из излучателей, к которым подводятся случайные процессы с заданной величиной взаимного коэффициента корреляции. В качестве критерия адекватности модели принято совпадение плотности распределения вероятности шумов координат модели и замещаемого объекта. По сути, это равенство математического ожидания и параметра, определяющего ширину распределения. Получены соотношения, позволяющие по значениям этих параметров рассчитать мощности подводимых сигналов и их коэффициент корреляции. Теоритические выводы подтверждены результатами численных экспериментов.

Ключевые слова: моделирование, имитация, радиолокация, шумы координат, функция распределения

Введение

В настоящее время самый распространенный метод определения направления на радиолокационную цель основан на определении нормали к фазовому фронту отраженной электромагнитной волны. Все реальные радиолокационные объекты являются протяженными. Вследствие этого в точке приема возникают флюктуации фазового фронта отраженной электромагнитной волны. Направление, противоположное нормали фазового фронта, укажет на флюктуирующий кажущийся центр излучения (КЦИ). Это явление получило название шумов координат (ШК) [1]. Изучение явления ШК позволило перейти к созданию стендов полунатурного моделирования распределенных радиолокационных объектов. Среди них наибольшую

популярность получили геометрические модели, составленные из набора точечных излучателей.

Рассмотрим геометрическую модель, к излучателям которой подводятся случайные коррелированные сигналы. Стоит отметить, что ранее в литературе не рассматривались теоритические вопросы, связанные с анализом возможностей и синтезом данных геометрических моделей.

Теория

Классическая конфигурация рассматриваемой модели состоит из двух излучателей коррелированных случайных сигналов, распределенных по нормальному закону. Отношение мощности, подводимой ко второму излучателю, к мощности, подводимой к первому, обозначим γ^2 . Коэффициент взаимной корреляции сигналов - r .

Известно [1], что функция плотности распределения вероятностей (ПРВ) ШК имеет вид:

$$W(\xi) = \frac{\mu}{2 \cdot \left(1 + \mu^2 (\xi - m)^2\right)^{3/2}},$$

где m – математическое ожидание измеренных координат объекта; μ – параметр, от которого зависит ширина распределения; ξ - обобщенная угловая координата (например, азимут или угол места).

В качестве критерия адекватности воспользуемся совпадением ПРВ ШК для модели и замещаемого объекта. По сути, равенством параметров m и μ для модели и объекта.

Из литературы известны соотношения для параметров m и μ [1]:

$$\begin{cases} \frac{\gamma^2 - 1}{1 + 2r\gamma + \gamma^2} = m, \\ \frac{1 + 2r\gamma + \gamma^2}{2\gamma\sqrt{1 - r^2}} = \mu. \end{cases} \quad (1)$$

Необходимо решить систему уравнений относительно γ^2 и r .

Сделаем тригонометрическую замену: $r = \cos(\varphi), \gamma = \tan(t)$. Так как $-1 \leq r \leq 1$ и $0 \leq \gamma < \infty$, то разумно задать пределы $\varphi \in [0; \pi]$ и $t \in [0; \frac{\pi}{2}]$ соответственно.

Для системы (1) с учетом проведенной замены и несложных тригонометрических преобразований получим:

$$\begin{cases} -\frac{\cos(2t)}{1 + \cos(\varphi)\sin(2t)} = m, \\ \frac{1 + \cos(\varphi)\sin(2t)}{\sin(\varphi)\sin(2t)} = \mu. \end{cases} \quad (2)$$

Перемножив уравнения системы (2), получим выражение для $\sin^2 \varphi$:

$$\sin^2 \varphi = \frac{1}{m^2 \mu^2 \tan^2(2t)}. \quad (3)$$

Выразим $\cos(\varphi)$ из первого уравнения системы (2) и возведем его в квадрат:

$$\cos^2 \varphi = \frac{(\cos(2t) + m)^2}{m^2 \sin^2(2t)}. \quad (4)$$

Складываем (3) и (4):

$$\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = \frac{1}{m^2 \mu^2 \tan^2(2t)} + \frac{\cos^2(2t) + 2m \cos(2t) + m^2}{m^2 \sin^2(2t)}.$$

После математических преобразований получим уравнение:

$$\cos(2t) (\cos(2t) + \mu^2 \cos(2t) + 2m\mu^2 + m^2 \mu^2 \cos(2t)) = 0.$$

Получившееся уравнение имеет, очевидно, два возможных решения, каждое из которых соответствует приравнению нулю множителей выражения слева от знака равенства.

Первый вариант решения получается при $\cos(2t) = 0$:

$$t = \frac{\pi}{4} + \frac{\pi n}{2}, n \in \mathbf{Z}.$$

Так как $t \in [0; \frac{\pi}{2}]$, то $t = \frac{\pi}{4}$, тогда

$\gamma = \tan(t) = 1 \Rightarrow m = 0$, тогда из второго уравнения системы (1) получим

$$r = \frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 1}. \quad (5)$$

Второй вариант решения при $\cos(2t) + \mu^2 \cos(2t) + 2m\mu^2 + m^2 \mu^2 \cos(2t) = 0$:

$$\cos(2t) = \frac{-2m\mu^2}{1 + m^2 \mu^2 + \mu^2},$$

$$t = \pm \frac{1}{2} \arccos\left(\frac{-2m\mu^2}{1 + m^2 \mu^2 + \mu^2}\right) + \pi n, n \in \mathbf{Z}.$$

Так как $0 \leq \arccos(x) \leq \pi \Rightarrow -\frac{1}{2} \arccos(x) \in [-\frac{\pi}{2}; 0]$, а $t \in [0; \frac{\pi}{2}]$, то возможен лишь один вариант решения:

$$t = \frac{1}{2} \arccos\left(\frac{-2m\mu^2}{1 + m^2 \mu^2 + \mu^2}\right).$$

Тогда:

$$\gamma = \tan\left[\frac{1}{2} \arccos\left(\frac{-2m\mu^2}{1 + m^2 \mu^2 + \mu^2}\right)\right]. \quad (6)$$

Подставив полученное γ в первое уравнения системы (1), получим:

$$r = \frac{\mu^2 - 1 - m^2\mu^2}{(1 + m^2\mu^2 + \mu^2) \sqrt{1 - \left(\frac{-2m\mu^2}{1 + m^2\mu^2 + \mu^2}\right)^2}} \quad (7)$$

Видно, что если подставить $m = 0$, то получим первый вариант решения.

Апробация полученных результатов

Математическими методами моделирования была реализована двухточечная модель, излучатели которой расположены в точках с координатами $\xi_1 = -1$; $\xi_2 = 1$. К излучателям подводились коррелированные сигналы, квадратурные компоненты которых представляют собой нормальные случайные процессы с нулевым математическим ожиданием и заданными мощностями.

Положение точки излучения определялось по известному соотношению [2]:

$$F(i) = \operatorname{Re} \left(\frac{\Delta(i)}{\Sigma(i)} \right),$$

где $\Delta(i)$ - i -тый отсчет сигнала, принятого моделью разностной диаграммой направленности пеленгатора; $\Sigma(i)$ - i -тый отсчет сигнала, принятого моделью суммарной диаграммой направленности пеленгатора.

По построенной гистограмме случайного процесса $F(i)$ рассчитывались параметры m_{mod} и μ_{mod} , характеризующие ПРВ ШК. Полученные значения сравнивались с задаваемыми. Проведенные эксперименты показали хорошее соответствие задаваемых и получаемых величин.

Например, для пар m и μ , равных (0, 5); (-0.5, 5); (0.75, 1.2) имеем γ и r : (1, 0.923); (0.356, 0.871); (2.228, -0.152). А по результатам моделирования получили пары m_{mod} и μ_{mod} , равные (0, 4.9959); (-0.4998, 5.0017); (0.7535, 1.1955).

Заключение

1. Получены соотношения, позволяющие рассчитать мощности и коэффициент корреляции сигналов, подводимых к излучателям двухточечной модели распределенного радиолокационного объекта, при которых обеспечивается адекватность модели по критерию совпадения функции распределения шумов координат.

2. Методами численного моделирования получено подтверждение справедливости найденных соотношений.

3. Полученные соотношения могут быть использованы для синтеза геометрических моделей распределенных объектов при математическом и имитационном моделировании.

Библиографический список

1. Островитянов Р. В., Басалов Ф. А. Статистическая теория радиолокации протяженных целей. – М.: Радио и связь, 1982. – 232 с.

2. 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.

3. Замещение распределенного объекта трехточечной геометрической моделью / А. В. Никулин, М. А. Степанов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Радиолокационная техника. – 2014. – Вып. 2. – С. 77–85.

TWO-POINT GEOMETRIC MODEL OF DISTRIBUTED RADAR OBJECT COMPOSED OF RANDOM SIGNAL RADIATORS WITH THE GIVEN CROSS-CORRELATION COEFFICIENT

*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

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract

We considered a geometric model of distributed radar object composed of radiators, which radiate random processes with the given cross-correlation coefficient. As a criterion of adequacy we accepted the coincidence of the distribution function of the angle noise for model and substituted object. Essentially there is equality of expectation value and the parameter on which the width of the probability density function depends. We obtained the equations, which allow for these parameters to calculate powers of input signals and their cross-correlation coefficient. We confirmed theoretical conclusions by the results of numerical experiments.

Keywords: modeling, simulation, radiolocation, angle noise, distribution function

ОПТИМАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПОЛОСОВОГО ИНТЕРПОЛИРОВАННОГО ФИЛЬТРА

*Савиных Иван Сергеевич¹, канд. техн. наук, доцент,
Гладких Мария Олеговна¹, магистрант*

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. 346-15-46

Савиных И.С., e-mail isavinykh@mail.ru

Гладких М.О., e-mail mary_1993@mail.ru

Адрес для корреспонденции: *Савиных Иван Сергеевич*, Новосибирский
государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск,
пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-15-46

Аннотация: рассматривается способ синтеза методом взвешивания полосовых фильтров с интерполированной импульсной характеристикой. Для полученной ранее зависимости коэффициента вычислительной эффективности от коэффициента интерполяции и ширины полос перехода и пропускания был произведен поиск ее максимального значения. Получено соотношение для расчета оптимального коэффициента интерполяции при заданных полосах перехода и пропускания. Произведено математическое моделирование, подтверждающее корректность полученного соотношения.

Ключевые слова: КИХ-фильтры, интерполированные фильтры, метод взвешивания, цифровая связь, вычислительная эффективность.

1. Введение

В цифровых системах связи все больше устройств используют обработку принимаемых и формируемых сигналов в цифровом виде на промежуточной частоте [1]. Для этого используют полосовые фильтры [1, 2].

Цифровые фильтры для систем связи синтезируются, как правило, как дискретные фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ) и с линейной фазочастотной характеристикой (ФЧХ) [2]. Однако, для осуществления фильтрации КИХ-фильтрами требуются большие вычислительные затраты [2, 3].

При обработке сигнала на промежуточной частоте в цифровом виде требуются узкополосные фильтры. Это необходимо для эффективного подавления сигналов соседних станций. Однако уменьшение полосы пропускания (и полос переходов) приводит к увеличению вычислительных затрат. Применение фильтров с интерполированной импульсной характеристикой (ИХ) позволяет уменьшить вычислительные затраты для узкополосных фильтров [3, 4].

Ранее в [5] рассматривался случай синтеза методом взвешивания

интерполированного полосового фильтра с симметричной, относительно его центральной частоты, амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ), центр которой был равен четверти частоты дискретизации. В [5] было получено выражение для расчета вычислительной эффективности полосовых фильтров с интерполированной импульсной характеристикой при коэффициенте интерполяции равном 4. В [6] было получено общее соотношение для расчета вычислительной эффективности интерполированных полосовых фильтров, а также были определены границы целесообразности применения интерполированных фильтров при коэффициентах интерполяции 4, 6 и 8.

При синтезе полосового интерполированного фильтра целесообразно вычислять оптимальный коэффициент интерполяции, при котором вычислительная эффективность будет максимальной, а не перебирать возможные варианты.

Цель работы – определение соотношений для расчета оптимального коэффициента интерполяции при синтезе интерполированных полосовых фильтров методом взвешивания.

2. Теория

В [6] было получено общее соотношение для расчета вычислительной эффективности интерполированного полосового фильтра:

$$K = \frac{1 - K_{INT} \Delta f_{BW} - K_{INT} \Delta f_{trans}}{\frac{1}{K_{INT}} - \Delta f_{BW} + (K_{INT} - 1) \Delta f_{trans}}, \quad (1)$$

где K_{INT} – коэффициент интерполяции импульсной характеристики, а Δf_{trans} и Δf_{BW} – нормированные на частоту дискретизации полосы перехода и пропускания синтезируемого фильтра.

Для нахождения коэффициента интерполяции, при котором наблюдается максимальное значение вычислительной эффективности, продифференцируем (1) по K_{INT} и приравняем результат к нулю. В результате пренебрежения знаменателем (в силу мнимости его корней для реализуемых полос пропускания и перехода) и упрощения полученного соотношения получим

$$K_{INT}^2 \left((\Delta f_{trans} + \Delta f_{BW})^2 - \Delta f_{trans} \right) - 2K_{INT} (\Delta f_{trans} + \Delta f_{BW}) + 1 = 0. \quad (2)$$

Соотношение (2) является квадратным уравнением относительно K_{INT} . Решая его получим

$$K_{INT} = \frac{\Delta f_{trans} + \Delta f_{BW} \pm \sqrt{\Delta f_{trans}}}{(\Delta f_{trans} + \Delta f_{BW})^2 - \Delta f_{trans}}. \quad (3)$$

Одно из значений K_{INT} в (3) является отрицательным, что является физически не реализуемым, поэтому не учитываем его и окончательно получаем

$$K_{INT} = \frac{\Delta f_{trans} + \Delta f_{BW} - \sqrt{\Delta f_{trans}}}{(\Delta f_{trans} + \Delta f_{BW})^2 - \Delta f_{trans}}. \quad (4)$$

3. Математическое моделирование

Для проверки полученного соотношения было проведено математическое моделирование. Оно заключалось в расчете по 10000 отсчетов в зависимостях вычислительной эффективности от коэффициента интерполяции по соотношению (1) и сравнении коэффициентов интерполяции в их максимумах со значениями, рассчитанными по (4). На рисунке приведены зависимости, рассчитанные при $\Delta f_{trans} = 0,01$ и $\Delta f_{BW} = 0,01$ (сплошная) и $\Delta f_{trans} = 0,02$ и $\Delta f_{BW} = 0,005$ (точечная). Для этих случаев коэффициенты интерполяции при максимальных значениях вычислительной эффективности составляют 8,334 и 6,008 соответственно. Вычисленные по выражению (4) значения коэффициентов интерполяции составляют 8,333 и 6,009 соответственно. Таким образом, можно сделать вывод о корректности полученного соотношения (4).

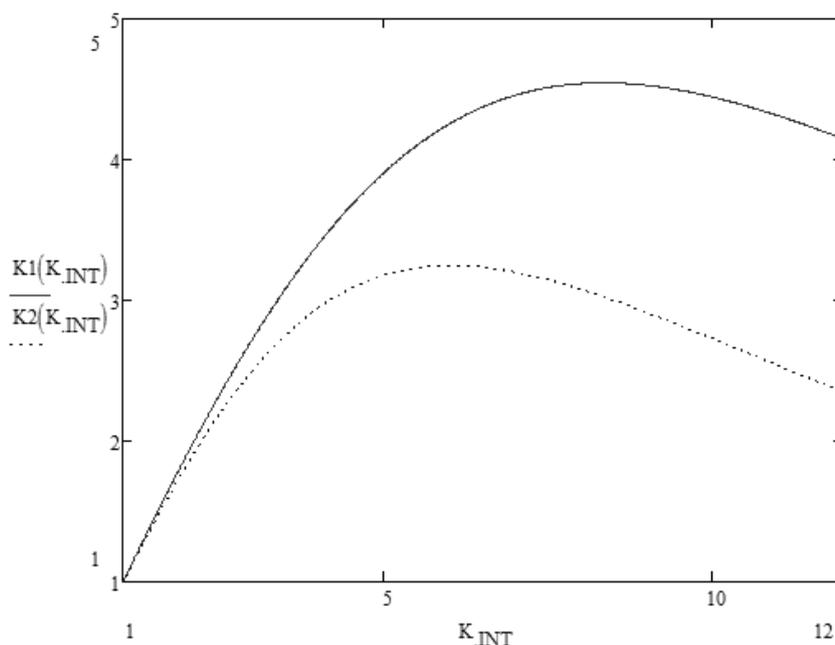


Рис. Зависимости вычислительной эффективности от коэффициента интерполяции при $\Delta f_{trans} = 0,01$ и $\Delta f_{BW} = 0,01$ (сплошная) и $\Delta f_{trans} = 0,02$ и $\Delta f_{BW} = 0,005$ (точечная)

4. Выводы

Рассмотрен способ синтеза методом взвешивания полосовых фильтров с интерполированной импульсной характеристикой. Получено соотношение для расчета оптимального коэффициента интерполяции при заданных полосах перехода и пропускания. Произведено математическое моделирование, подтверждающее корректность полученного соотношения.

Библиографический список

1. Sklar B. Digital Communications: Fundamentals and Applications (2nd Edition) - N.J Prentice-Hall PTR, 2001. - 1079 p.
2. Ifeachor E.C. Digital signal processing: a practical approach / E.C. Ifeachor, B.W. Jervis. - New York: Prentice Hall, 2002. - 933 p.
3. Lyons R.G. Understanding digital signal processing. - NJ: Prentice Hall, 2011. - 954 p.

4. Saramaki T. Design of computationally efficient interpolated FIR filters / T. Saramaki, Y. Neuvo, S. K. Mitra // IEEE Transactions on Circuits and Systems, vol. 35, no. 1, pp. 70-88, Jan 1988.

5. Гладких М. О. Полосовые интерполированные фильтры / М. О. Гладких, И. С. Савиных // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016): тр. 13 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 12. – С. 89–92.

6. Гладких М. О., Савиных И. С. Полосовые интерполированные фильтры// Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 4. С. 16–23.

OPTIMAL INTERPOLATION COEFFICIENT OF BANDPASS INTERPOLATED FILTER

Savinykh Ivan Sergeevich¹, Ph.D. (Engineering), Associate Professor

e-mail isavinykh@mail.ru,

Gladkikh Mariya Olegovna¹, Master's Degree student

e-mail mary_1993@mail.ru

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa,
Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: the windows method of synthesis bandpass filters with an interpolated impulse response is considered. For the previously obtained dependence of the of computational efficiency coefficient on the interpolation coefficient and the widths transition and pass bands a search was made for its maximum value. The equation for calculating the optimal interpolation coefficient for given transition and pass bands was obtained. The mathematical modeling was carried out, which confirms the correctness of the obtained equation.

Keywords: FIR filters, interpolated filters, windows method, digital communication, computational efficiency.

СОГЛАСОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО И КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ

*Савиных Иван Сергеевич¹, канд. техн. наук, доцент,
Сарвилина Виктория Вячеславовна¹, магистрант*

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. 346-15-46

Савиных И.С., e-mail isavinykh@mail.ru

Сарвилина В.В., e-mail vikasarvilina@mail.ru

Адрес для корреспонденции: *Савиных Иван Сергеевич*, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-15-46

Аннотация: рассмотрен способ согласования вещественного сопротивления генератора с комплексным сопротивлением нагрузки при использовании согласующего устройства на отрезках длинных линий. Фактически оно является трансформатором комплексного сопротивления, один из отрезков которого протяженностью одна восьмая длины волны компенсирует реактивную составляющую нагрузки, а другой протяженностью четверть длины волны трансформирует полученное вещественное сопротивление в сопротивление генератора. Получены соотношения для расчета волновых сопротивлений отрезков длинных линий, составляющих рассматриваемое согласующее устройство. Проведено математическое моделирование, подтверждающее корректность полученных соотношений.

Ключевые слова: Электрическое согласование сопротивлений, коэффициент отражения, длинная линия, четвертьволновый трансформатор.

1. Введение

При согласовании вещественного и комплексного сопротивлений синтез согласующего устройства, как правило, производится исходя из минимизации коэффициента отражения в заданной полосе частот [1]. При этом сопротивление генератора, как правило, считается вещественным, а сопротивление нагрузки комплексным. Такое представление является правомочным вследствие линейности и взаимности согласующего устройства [1].

Для согласования вещественных сопротивлений используются многоступенчатые четвертьволновые трансформаторы, представляющие собой совокупность отрезков длинных линий, с продольными размерами равными четверти длины волны ($\lambda/4$) у каждого, и разными волновыми сопротивлениями [2]. Однако, в случае если одно из сопротивлений (нагрузки или генератора) является комплексным, использование четвертьволновых трансформаторов

становится невозможным. Это происходит из-за невыполнения условий согласования, как по критерию максимизации коэффициента передачи по мощности, так и по критерию минимизации коэффициента отражения в системе генератор-нагрузка [1].

Для согласования комплексного и вещественного сопротивлений предлагается использовать двухступенчатый трансформатор, в котором компенсацию реактивной составляющей комплексного сопротивления осуществляет отрезок длинной линии с продольным размером $\lambda/8$, а трансформацию активной составляющей сопротивления – отрезок длинной линии с продольным размером $\lambda/4$.

Целью данной работы является получение соотношений для определения значений волновых сопротивлений отрезков длинных линий двухступенчатого трансформатора.

2. Теория

Определим входное сопротивление четвертьволнового трансформатора. Входное сопротивление отрезка длинной линии может быть определено как [2]:

$$Z_{BX} = \frac{Z_H \cdot \cos \theta + jZ_{B1} \cdot \sin \theta}{\cos \theta + j \frac{Z_H}{Z_{B1}} \cdot \sin \theta}, \quad (1)$$

где Z_B – волновое сопротивление длинной линии, $\theta = \beta l = 2\pi l / \lambda$ – ее электрическая длина, $\beta = 2\pi / \lambda$ – волновое число, а l – длина отрезка линии.

Электрическая длина для четвертьволнового трансформатора

$$\theta = \beta l = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}.$$

Тогда исходя из (1) входное сопротивление четвертьволнового трансформатора

$$Z_{BX} = \frac{Z_H \cdot \cos \frac{\pi}{2} + jZ_B \cdot \sin \frac{\pi}{2}}{\cos \frac{\pi}{2} + j \frac{Z_H}{Z_B} \cdot \sin \frac{\pi}{2}} = \frac{jZ_B}{j \frac{Z_H}{Z_B}} = \frac{Z_B^2}{Z_H}. \quad (2)$$

Коэффициент отражения определяется выражением [1]

$$\Gamma = \frac{Z_{BX} - R_\Gamma}{Z_{BX} + R_\Gamma}.$$

В случае согласования одноступенчатым четвертьволновым трансформатором (рис.1 а) и при условии равенства нулю коэффициента отражения $Z_{BX} = R_\Gamma$. Тогда из (2) можно получить выражение для определения волнового сопротивления одноступенчатого четвертьволнового трансформатора

$$Z_B = \sqrt{R_\Gamma \cdot Z_H}. \quad (3)$$

Как видно из (3) при использовании одноступенчатого четвертьволнового трансформатора сопротивление нагрузки должно быть вещественным, чтобы волновое сопротивление также было вещественным. Обычно, при синтезе

согласующих устройств, реактивной составляющей волнового сопротивления длинной линии пренебрегают, в силу малых требуемых собственных потерь [2]. Таким образом, согласование одноступенчатым четвертьволновым трансформатором возможно лишь в случае чисто вещественных сопротивлений генератора и нагрузки.

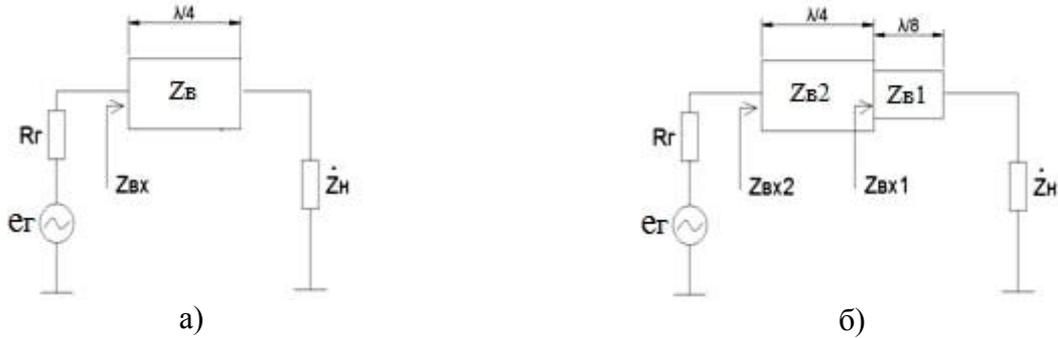


Рис. 1. Согласование генератора и нагрузки с помощью четвертьволнового (а) и двухступенчатого трансформатора ($\lambda/4$ и $\lambda/8$) (б)

Определим входное сопротивление отрезка длинной линии протяженностью $\lambda/8$. Его электрическая длина равна

$$\theta = \beta l = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{8} = \frac{\pi}{4},$$

а входное сопротивление согласно (1)

$$Z_{BX} = \frac{Z_H \cdot \cos \frac{\pi}{4} + jZ_B \cdot \sin \frac{\pi}{4}}{\cos \frac{\pi}{4} + j \frac{Z_H}{Z_B} \cdot \sin \frac{\pi}{4}} = \frac{Z_H \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + jZ_B \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}}{\frac{1}{\sqrt{2}} + j \frac{Z_H}{Z_B} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}} = Z_B \cdot \frac{Z_H + jZ_B}{jZ_H + Z_B}. \quad (4)$$

Запишем комплексное сопротивление нагрузки в экспоненциальной форме

$$Z_H = |Z_H| e^{j\varphi_H},$$

подставим в (4), умножим числитель и знаменатель на комплексно-сопряженное выражение знаменателя

$$\begin{aligned} Z_{BX} &= Z_B \cdot \frac{(|Z_H| e^{j\varphi_H} + jZ_B)}{(j|Z_H| e^{j\varphi_H} + Z_B)} = Z_B \cdot \frac{(|Z_H| e^{j\varphi_H} + jZ_B) \cdot (-j|Z_H| e^{-j\varphi_H} + Z_B)}{(j|Z_H| e^{j\varphi_H} + Z_B) \cdot (-j|Z_H| e^{-j\varphi_H} + Z_B)} = \\ &= Z_B \cdot \frac{-j|Z_H|^2 + jZ_B^2 + |Z_H| \cdot Z_B (e^{j\varphi_H} + e^{-j\varphi_H})}{|Z_H|^2 + Z_B^2 + j|Z_H| \cdot Z_B (e^{j\varphi_H} - e^{-j\varphi_H})}. \end{aligned}$$

Учитывая, что $(e^{j\varphi_H} + e^{-j\varphi_H}) = 2 \cos \varphi_H$ и $(e^{j\varphi_H} - e^{-j\varphi_H}) = j2 \sin \varphi_H$ получим выражение

$$Z_{BX} = Z_B \cdot \frac{-j|Z_H|^2 + jZ_B^2 + 2|Z_H| \cdot Z_B \cos(\varphi_H)}{|Z_H|^2 + Z_B^2 - 2|Z_H| \cdot Z_B \sin(\varphi_H)}. \quad (5)$$

Как говорилось ранее, будем использовать отрезок длинной линии протяженностью $\lambda/8$ для компенсации реактивности нагрузки, поэтому мнимая

составляющая его входного сопротивления должна быть равна нулю, т.е.

$$\operatorname{Im}(Z_{BX}) = 0 \text{ или } -j|Z_H|^2 + jZ_{B1}^2 = 0.$$

Таким образом, условием компенсации реактивности нагрузки является

$$Z_B = |Z_H|. \quad (6)$$

Перепишем соотношение (5) подставив в него (6)

$$\begin{aligned} Z_{BX} &= Z_B \cdot \frac{Z_B^2 \cdot 2 \cos \varphi_H}{Z_B^2 + Z_B^2 - Z_B^2 \cdot 2 \sin \varphi_H} = Z_B \cdot \frac{2 \cos \varphi_H}{2 - 2 \sin \varphi_H} = \\ &= Z_B \cdot \frac{\cos \varphi_H}{1 - \sin \varphi_H} = |Z_H| \cdot \frac{\cos \varphi_H}{1 - \sin \varphi_H}. \end{aligned} \quad (7)$$

Рассматривая двухступенчатый трансформатор (рис.2 б) используя (3), (6) и (7) получаем соотношения для определения волнового сопротивления первого и второго отрезков, составляющих этот трансформатор

$$Z_{B1} = |Z_H|, \quad Z_{B2} = \sqrt{Z_{BX1} \cdot R_\Gamma} = \sqrt{R_\Gamma \cdot |Z_H| \cdot \frac{\cos \varphi_H}{1 - \sin \varphi_H}}. \quad (8)$$

3. Математическое моделирование

Для проверки полученных соотношений и оценки целесообразности использования двухступенчатого трансформатора было проведено математическое моделирование.

На основании зависимости комплексного коэффициента отражения на выходе ВЧ транзистора ВТ09Е от частоты были рассчитаны значения его выходного комплексного сопротивления. Исходя из (8) были рассчитаны значения волновых сопротивлений обоих отрезков двухступенчатого трансформатора на частоте 1 ГГц. Далее по известным соотношениям для ABCD-матриц длинных линий [2] были рассчитаны зависимости его входного сопротивления и коэффициента отражения от частоты. Графики исходной зависимости коэффициента отражения от частоты (пунктирная линия), т.е. без согласующего устройства, и полученной зависимости коэффициента отражения от частоты (сплошная линия), при применении двухступенчатого трансформатора приведены на рисунке 2.

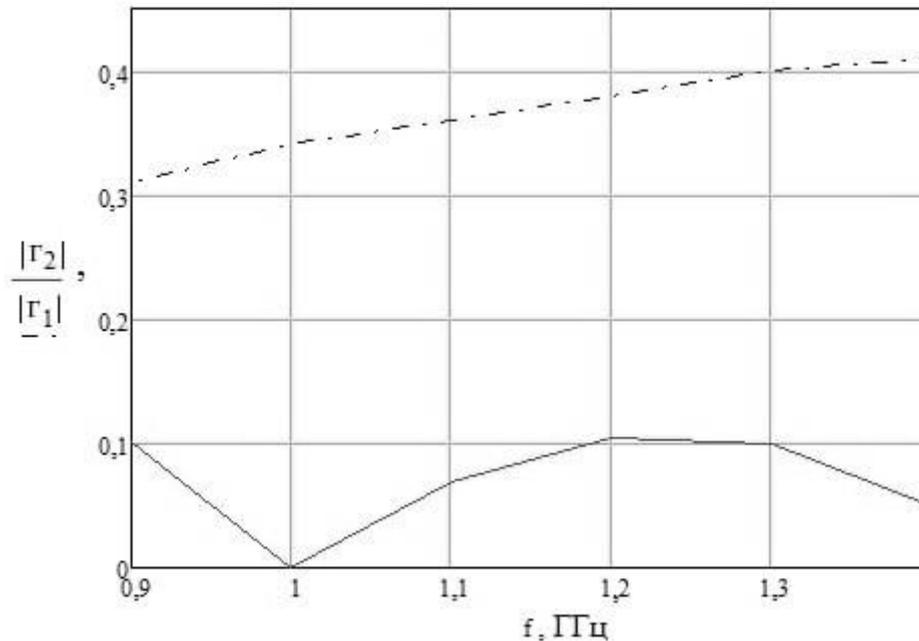


Рис. 2. График зависимости модуля коэффициента отражения от частоты без применения согласующего устройства (1) и с применением двухступенчатого трансформатора (2)

Без согласующего устройства коэффициент отражения был более 0,31 в 45% полосе частот. При применении двухступенчатого трансформатора значение коэффициента отражения не превышает значения 0,11. Таким образом, с помощью каскадного соединения отрезков длинной линии $\lambda/4$ и $\lambda/8$ удалось уменьшить значение модуля коэффициента отражения примерно на 65%. Кроме того, на частоте 1 ГГц, на которой рассчитывался двухступенчатый трансформатор, наблюдается полное согласование, что подтверждает корректность полученных соотношений.

4. Выводы

Рассмотрен двухступенчатый трансформатор комплексных сопротивлений, состоящий из отрезков длинных линий протяженностью $\lambda/4$ и $\lambda/8$. Получены соотношения для определения волновых сопротивлений этих отрезков. Проведено математическое моделирование, демонстрирующее не только корректность полученных соотношений, но и эффективность рассмотренного трансформатора в относительно узкой полосе частот.

Библиографический список

1. B. S. Yarman, Design of Ultra Wideband Power Transfer Networks, John Wiley & Sons, 2010, 755 p.
2. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

MATCHING OF REAL AND COMPLEX IMPEDANCE BY DOUBLE STAGE TRANSFORMER

Savinykh Ivan Sergeevich¹, Ph.D. (Engineering), Associate Professor

e-mail isavinykh@mail.ru,

Sarvilina Viktoria Vyacheslavovna¹, Master's Degree student

e-mail vikasarvilina@mail.ru

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa,
Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: the method of matching of generator real impedance with the complex load impedance when using a matching device based on segments of transmission lines is considered. In fact, it is a transformer of the complex impedance, one of its segments with a length of one eighth wavelength compensates the reactive component of the load, and the other one with a quarter wavelength transforms the resulting real impedance to the generator impedance. The relationships for calculating of the wave impedances of transmission lines segments, which compose the considered matching device, were obtained. Mathematical modeling which validates correction of obtained relationships was carried out.

Keywords: electrical impedance matching, reflection coefficient, transmission line, quarter-wave transformer.

ПОЛИНОМИАЛЬНАЯ ВЗВЕШИВАЮЩАЯ ФУНКЦИЯ БЕРНШТЕЙНА-ХЭММИНГА

*Савиных Иван Сергеевич¹, канд. техн. наук, доцент,
Фирзина Анастасия Евгеньевна¹, магистрант*

¹Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия,
г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20, тел. 346-15-46

Савиных И.С., e-mail isavinykh@mail.ru

Фирзина А.Е., e-mail fyrzinasty@mail.ru

Адрес для корреспонденции: *Савиных Иван Сергеевич*, Новосибирский
государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск,
пр. Карла Маркса, 20, тел. 346-15-46

Аннотация: получены соотношения для расчета полиномиальной взвешивающей функции Бернштейна-Хэмминга. Определены её основные параметры: максимальные потери преобразования, гребешковые искажения, эффективная шумовая полоса и максимальный уровень боковых лепестков спектра. Произведено сравнение синтезированной взвешивающей функции с взвешивающими функциями Кайзера-Бесселя и Хэмминга. Результаты сравнения показывают целесообразность применения взвешивающей функции Бернштейна-Хэмминга, поскольку ряд ее параметров превосходит параметры функций, с которыми производилось сравнение.

Ключевые слова: дискретное преобразование Фурье, гармонический анализ, метод взвешивания.

1. Введение

Взвешивающие функции используются во многих задачах цифровой обработки сигналов [1, 2]. Основными из них являются задачи гармонического анализа [3, 4], синтеза фильтров с конечной импульсной характеристикой методом взвешивания [1, 2] и цифровой радиосвязи [5].

В настоящее время известно достаточно большое количество взвешивающих функций. Однако полиномиальных из них известно мало, и многие недостаточно качественны (например, прямоугольная, треугольная, Рисса) [3, 4]. В свою очередь полиномиальные взвешивающие функции имеют преимущество перед другими взвешивающими функциями – они требуют меньше вычислительных затрат для их расчета. Это связано с тем, что при расчете полиномиальных взвешивающих функций используются операции сложения, вычитания, умножения и деления, в отличие от других, требующих еще и вычисления тригонометрических и/или специальных функций.

Ранее [6], нами были предприняты попытки синтезировать взвешивающие функции с использованием полиномов Бернштейна. Полином

Бернштейна степени N на интервале $x \in [0;1]$ определяется как

$$B_N(x) = \sum_{n=0}^N f\left(\frac{n}{N}\right) \cdot C_N^n \cdot x^n \cdot (1-x)^{N-n}, \quad (1)$$

где $C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$ – биномиальный коэффициент, а $f\left(\frac{n}{N}\right)$ – отсчеты,

аппроксимируемые полиномом Бернштейна.

Полученные в [6] взвешивающие функции имели нулевое значение на границах интервала определения и, как следствие, интенсивный спад боковых лепестков их спектров. Качественные характеристики синтезированных в [6] взвешивающих функций не определялись, однако, лучшим вариантом считалась функция подобная функции Ханна.

Предлагается принудительное устремление значения синтезируемой взвешивающей функции на границе интервала ее определения к некоторому ненулевому значению для уменьшения скорости спада боковых лепестков спектра функции. Фактически это предложение является прямой аналогией со способом синтеза взвешивающей функции Хэмминга. Взвешивающие функции Хэмминга и Кайзера - Бесселя имеют ненулевые значения на границах области их определения, а скорость спада боковых лепестков в спектральных характеристиках невелика.

Цель работы – осуществить синтез полиномиальной взвешивающей функции с использованием полиномов Бернштейна, стремящейся к ненулевому значению на границе области ее определения и сравнить ее по основным параметрам с взвешивающими функциями Хэмминга и Кайзера - Бесселя.

2. Теория

При синтезе взвешивающей функции Бернштейна-Хэмминга рассматривался симметричный интервал $x \in [-1;1]$. Это было сделано исходя из симметрии результирующей функции и удобства задания отсчетов, аппроксимируемых полиномом Бернштейна. Вследствие симметрии интервала, целого числа исходных отсчетов и (1), количество аппроксимируемых отсчетов $(N+1)$ должно быть нечетным, а степень полинома Бернштейна N – четной. Для $N=2$ результат отчасти известен – при нулевых значениях на границах интервала аппроксимации получается взвешивающая функция Рисса. Поэтому было выбрано $N=4$. Сначала синтез взвешивающей функции был произведен без определения конкретного значения ненулевого значения на границах интервала аппроксимации. Для этого центральный отсчет был задан равным единице, отсчеты на границах интервала равнялись некоторому ненулевому значению Δ , подлежащему определению в дальнейшем, а остальные два отсчета – нулю. Таким образом, при аппроксимации были выбраны следующие значения отсчетов – $\{\Delta, 0, 1, 0, \Delta\}$.

После замены переменных в (1) для приведения к интервалу аппроксимации $x \in [-1;1]$, подстановки $N=4$ и значений отсчетов $\{\Delta, 0, 1, 0, \Delta\}$ было получено соотношение для расчета синтезированной функции

Бернштейна-Хэмминга

$$BH_s(x) = x^4 - \frac{6x^2(1-\Delta)}{3+\Delta} + 1. \quad (2)$$

Численно был осуществлен поиск значения Δ из условия равенства уровней двух максимальных боковых лепестков в спектре синтезированной функции. Полученное значение составило $\Delta=0,0568$.

С учетом того, что взвешивающие функции определяют на единичном нормированном интервале и величина Δ имеет установленное значение, запишем (2) для определения синтезированной взвешивающей функции Бернштейна-Хэмминга на интервале $x \in [-0,5; 0,5]$

$$BH(x) = 16x^4 - \frac{24x^2(1-\Delta)}{3+\Delta} + 1 = 16x^4 - 7,4054x^2 + 1. \quad (3)$$

3. Математическое моделирование

Для оценки основных параметров синтезированной взвешивающей функции Бернштейна-Хэмминга (3) было проведено математическое моделирование. Оно заключалось в расчете 1024 отсчетов самой функции (рис. а) и вычислении ее спектра (рис. б), исходя из значений этих отсчетов. По полученным данным и определялись максимальные потери преобразования (МПП), гребешковые искажения, эффективная шумовая полоса (ЭШП) и максимальный уровень боковых лепестков спектра. Результаты приведены в таблице.

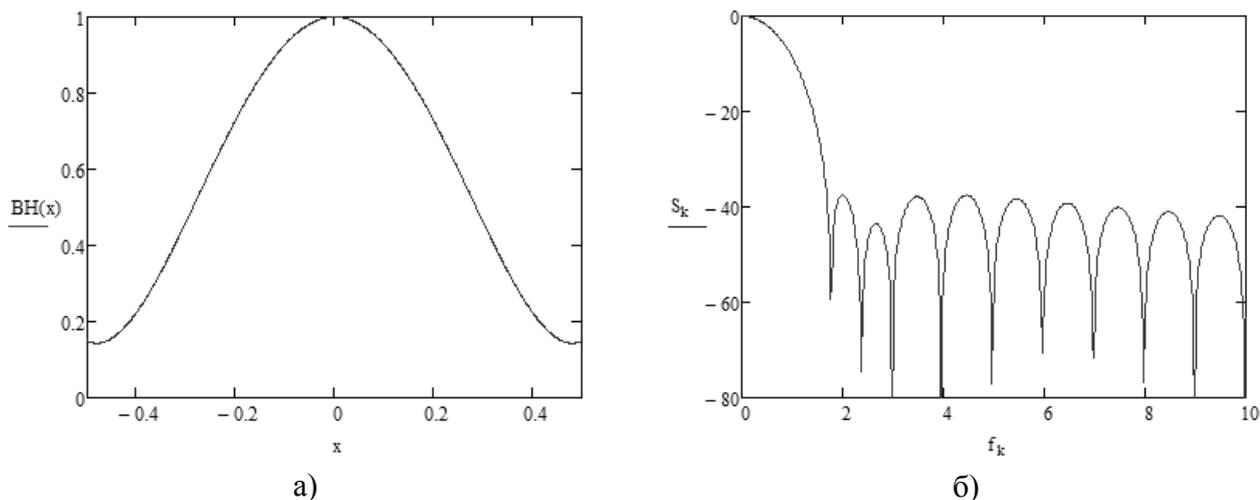


Рис. Взвешивающая функция Бернштейна-Хэмминга (а) и ее спектр (б)

Также была произведена оценка параметров взвешивающей функции Кайзера-Бесселя. При этом параметр β функции Кайзера-Бесселя подобран таким образом, чтобы уровень боковых лепестков ее спектра был равен уровню боковых лепестков спектра синтезированной функции Бернштейна-Хэмминга. Максимальный уровень боковых лепестков функции Кайзера-Бесселя, как и другие ее параметры, зависят от параметра β . Результаты также приведены в таблице.

Кроме того, в таблице приведены параметры взвешивающей функции

Хэмминга, взятые из [4].

Таблица. Сравнение параметров взвешивающих функций

Параметр \ Взвешивающая функция	Бернштейна-Хэмминга	Кайзера-Бесселя ($\beta=5,109$)	Хэмминга [4]
Максимальный уровень боковых лепестков, дБ	-37,6	-37,6	-43
Ширина главного лепестка	1,76x2	1,92x2	2,0x2
Когерентное усиление	0,583	0,537	0,54
ЭШП, дБ	1,06	1,385	1,36
Полоса по уровню -3 дБ, бин	1,22	1,32	1,3
Гребешковые искажения, дБ	1,989	1,707	1,78
МПП, дБ	3,049	3,092	3,10

4. Выводы

Проанализировав значения параметров, приведенных в таблице можно сделать вывод, что синтезированная взвешивающая функция Бернштейна-Хэмминга, является более качественной по большей части рассматриваемых параметров: ширине главного лепестка, когерентному усилению, ЭШП, МПП и полосе по уровню -3 дБ. Однако уступает по уровню гребешковых искажений и уровню боковых лепестков, взвешивающим функциям Хэмминга и Кайзера-Бесселя.

Библиографический список

1. Ifeachor E.C. Digital signal processing: a practical approach / E.C. Ifeachor, V.W. Jervis. - New York : Prentice Hall, 2002. - 933 p.
2. Lyons R.G. Understanding digital signal processing. - NJ: Prentice Hall, 2011. - 954 p.
3. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Оконные функции для гармонического анализа сигналов. М.: Техносфера, 2014. – 112 с.
4. Harris F.J. On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform, – Proc. IEEE vol. 66, pp. 51 – 83, Jan. 1978.
5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: 2-е издание. Перевод с английского. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
6. Савиных И. С. Полиномиальные взвешивающие функции / И. С. Савиных, А. Е. Фирзина // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП–2016): тр. 13 междунар. науч.-техн. конф., Новосибирск, 3–6 окт. 2016 г. : в 12 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – Т. 12. – С. 93–98.

POLYNOMIAL BERNSTEIN-HAMMING WINDOW

Savinykh Ivan Sergeevich¹, Ph.D. (Engineering), Associate Professor

e-mail isavinykh@mail.ru,

Firzina Anastasia Yevgenyevna¹, Master's Degree student

e-mail fyrzinasty@mail.ru

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa,
Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: the expressions for calculating polynomial Bernstein-Hamming window are obtained. Its general parameters are defined. Worst case processing loss, scalloping loss, equivalent noise bandwidth and highest sidelobe level are these parameters. The synthesized window is compared with Kaiser-Bessel and Hamming windows. The result of comparison shows the expediency of using the Bernstein-Hamming window, since a number of its parameters exceed the parameters of the windows with which the comparison was made.

Keywords: discrete Fourier transform, harmonic analysis, window method.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛУЧЕВОГО КАНАЛА

*Сенников Сергей Александрович*¹, магистрант; *Никулин Андрей Викторович*¹, к.т.н.

¹ Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (923)225-93-59

Сенников С.А., email sennikovsergey69@gmail.com

Никулин А.В., email andrei.nickulin@yandex.ru

Адрес для корреспонденции: **Сенников Сергей Александрович**, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел. (923)225-93-59

Аннотация: В работе представлен краткий обзор способов математического моделирования многолучевой среды распространения радиоволн. Отмечается важность моделирования многолучевых каналов с замираниями. Для таких каналов приведено аналитическое выражение, учитывающее реальный механизм многолучевого распространения сигналов в средах со случайно изменяющимися физическими свойствами. Рассмотрен частный случай использования модели с десятью каналами распространения радиоволн, вдоль прямолинейных улиц, на которых здания расположены по обе стороны.

Ключевые слова: имитатор многолучевого радиоканала; математическая модель; частотно-селективные замирания.

1. Введение

Для разработки систем передачи информации необходимы испытания приемопередающих устройств и процесс экспериментальной отладки. Внедрение и использование модельных экспериментов на этапах научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ сократит сроки и повысит эффективность разработки и проектирования систем передачи информации. С учетом быстрого развития систем передачи информации задача построения имитатора радиоканалов связи, максимально адекватного реальным радиоканалам, стала актуальной [1].

Среди возможных объектов моделирования особенно существенную роль играет канал связи. Моделирование радиоканала делает возможным испытания различных реализаций систем передачи информации в условиях, максимально приближенных к реальным, что уменьшит объем финансовых и временных затрат на натурные испытания за счет замены их лабораторными испытаниями.

Наиболее важно для практики моделирование многолучевых каналов с

замираниями. Необходимость моделирования таких каналов обусловлена также и тем, что при сравнительных испытаниях различных вариантов систем передачи информации на реальных трассах невозможно получить одинаковые условия распространения и повторить сеанс связи с задаваемыми разработчиком условиями распространения [2].

2. Методика экспериментального исследования

Если учитывать реальный механизм многолучевого распространения сигналов в средах со случайно изменяющимися физическими свойствами, то модель многолучевого канала связи можно записать в следующем виде:

$$y(t) = K\{s(t)\} + \xi(t) = \sum_{i=1}^N m_i(t)s(t - \tau_i) + \xi(t), \quad (1)$$

где $s(t)$ – сигнал на входе многолучевого канала связи;

K – оператор, отображающий воздействие среды распространения вместе с антенными системами (канала) на передаваемый сигнал $s(t)$;

$\xi(t)$ – аддитивная помеха;

i – номер луча распространения;

N – число лучей, формирующих выходной сигнал канала;

$m_i(t)$ – коэффициент передачи, характеризующий i -ый путь распространения;

τ_i – время запаздывания сигнала при распространении по i -му лучу [2].

Канал, описываемый моделью (1), соответствует физически реальной многолучевой системе распространения сигналов в средах с многочисленными отражениями.

Случайный характер всех взаимодействий определяет случайное поведение функции $m_i(t)$ в выражении (1). Величины N и τ_i также случайны и определяются конкретным состоянием среды распространения электромагнитных колебаний, протяженностью трассы, параметрами антенны и т.д. Формирование математической модели многолучевого канала связи предполагает учет статистических характеристик этих величин, функций и процессов.

Для моделирования многолучевого канала, согласно (1), необходимо сформировать сигналы отдельных лучей с учетом наблюдающихся в таких каналах замираний, которые обусловлены случайными изменениями коэффициента передачи канала во времени в силу его физических свойств, внести в них соответствующие задержки и просуммировать.

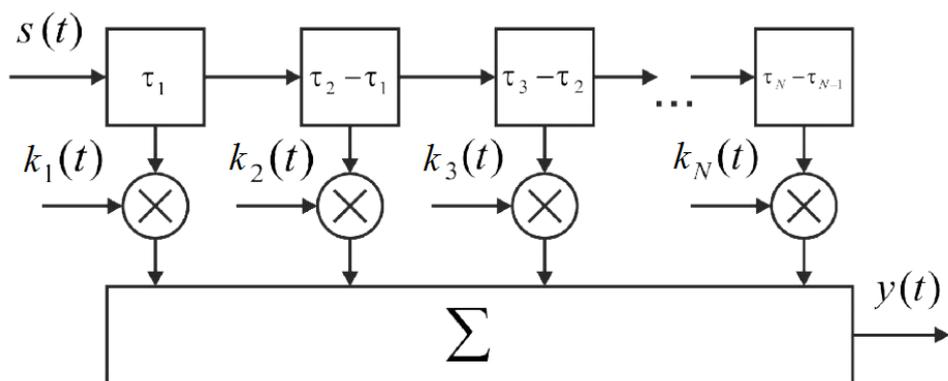


Рис. 1. Структурная модель многолучевого радиоканала k – коэффициент, учитывающий изменение мощности сигнала

Структурная модель (рис. 1) представляет собой регулируемую многоотводную линию задержки с набором из N умножителей и сумматором [3].

Рассмотрим частный случай использования десятилучевой модели распространения радиоволн описанной в [3].

3. Десятилучевая модель распространения радиоволн

Такая модель применима для случаев распространения радиоволн с неподвижными объектами, вдоль прямолинейных улиц, на которых здания расположены по обе стороны. Теоретически, от зданий может отражаться бесконечное количество лучей, которые попадают на приемную антенну. Однако, поскольку часть энергии сигнала рассеивается при каждом отражении, то путями распространения при трех и более числе отражений можно пренебречь, если улица относительно прямая.

Такая модель применима для случаев распространения радиоволн вдоль прямолинейных улиц, на которых здания расположены по обе стороны. Теоретически, от зданий может отражаться бесконечное количество лучей, которые попадают на приемную антенну. Однако, поскольку часть энергии сигнала рассеивается при каждом отражении, то путями распространения при трех и более числе отражений можно пренебречь, если улица относительно прямая.

Десять лучей включают все лучи с одним, с двумя или тремя отражениями. В частности, учитывается прямой луч, луч, отраженный от земли, отраженный от одной стены, отраженный от двух стен, отраженный от трех стен, отраженный от стены и земли, отраженный от земли и стены. Имеются два луча каждого типа с отражениями от стен [3].

В таблице 1 показаны условия математического моделирования.

Таблица 1

N	Длина пути, r, км	Временная задержка, $\tau = \frac{r-l}{c}$, мкс	Фазовый сдвиг, $\Delta\varphi = \frac{2\pi(r-l)}{\lambda}$, градус	Ослабление относительно прямого луча $\beta \approx 1/d^4$, разы
Прямой луч	1	0	0	1
1	1,115	38,4	293	0,647
2	1,126	42	274	0,622
3	1,158	52,7	335	0,556
4	1,205	68,4	202	0,474
5	1,282	94,1	214	0,37
6	1,256	85,4	283	0,402
7	1,197	65,7	69	0,487
8	1,15	50	286	0,572
9	1,131	43,6	307	0,612

Соответствующая модель канала связи была спроектирована и реализована. На каждый луч воздействует аддитивный белый гауссовский шум. Поскольку модель рассчитана для неподвижных объектов, частотный сдвиг равен 0. Установив соответствующие для каждого луча значения временной задержки, фазового сдвига и ослабления, снимем вероятность ошибки на бит в зависимости от отношения сигнал/шум рис.7.а.

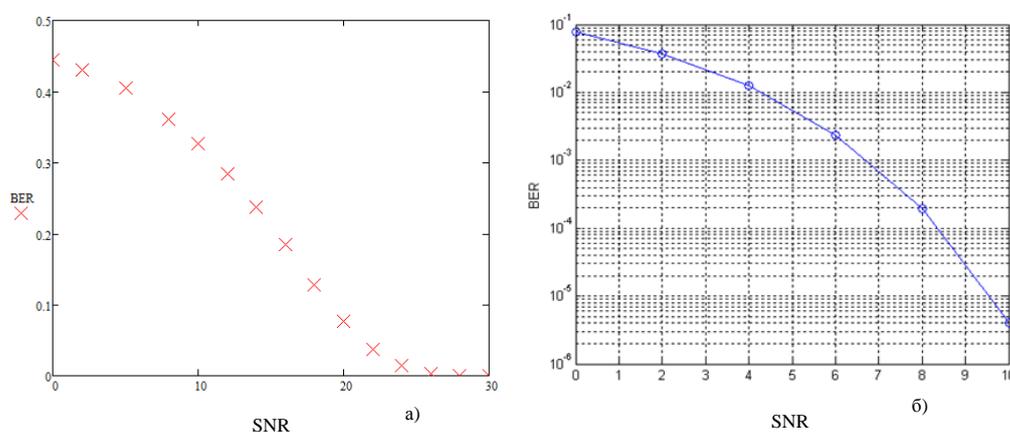


Рис.2. Зависимость количества битовых ошибок (BER) от отношения сигнал/шум (SNR)

На рис. 2.б. для сравнения приведена такая же зависимость при QPSK модуляции. Но сигнал проходит только канал с белым шумом

4. Выводы

В работе была рассмотрена математическая модель многолучевого канала связи. Полученные в ходе проектирования результаты совпадают с результатами, опубликованными в литературе. Планируется исследовать и

другие модели многолучевого канала связи.

Библиографический список:

1. Галкин А.П., Лапин А.Н., Самойлов А.Г. Моделирование каналов систем связи. – М.: Связь, 1979. – 96 с.
2. Иванов А. П. Имитатор многолучевого канала связи / А. П. Иванов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»— 2011.— № 1.— С. 45–49.
3. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер с англ. / Под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.: ил.

MULTIPATH CHANNEL MATHEMATICAL MODELING

Sennikov Sergey Aleksandrovich¹, undergraduate; Nikulin Andrey Viktorovich¹, Ph.D.

e-mail: sennikovsergey69@gmail.com

¹Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract: Brief review of mathematical modeling methods of radio waves multipath propagation environment is presented. The importance of modeling multipath channels with fadings is noted. The analytical expression, which takes into account real principle of signals multipath propagation in mediums with randomly variable characteristics, is presented. The particular case of using model with ten propagation channels along straight street where buildings are situated on both sides is considered.
Keywords: simulator of a multipath radio channel; mathematical model; Frequency selective fading.

Содержание

СЕКЦИЯ: КОНСТРУКЦИЯ И ДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ И БОЕПРИПАСОВ	5
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОБИТИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ПРЕГРАДЫ КУМУЛЯТИВНЫМИ ЗАРЯДАМИ МАЛОГО КАЛИБРА <i>Бакиров Альберт Ревальевич, Попов Александр Геннадьевич, Нурмухаметов Андрей Тагирович</i>	5
ВОЗМОЖНОСТИ 30-мм БРОНЕБОЙНОГО АКТИВНО-РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА С РДТТ <i>Брагунцов Егор Яковлевич, Звезгинцев Валерий Иванович, Кузнецов Егор Алексеевич, Самойлов Леонид Александрович</i>	9
ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ДЛЯ ИЗДЕЛИЯ-ПОСТАНОВЩИКА МАСКИРУЮЩЕЙ ЗАВЕСЫ <i>Брагунцов Егор Яковлевич, Хребтова Мария Сергеевна, Чемерис Алексей Васильевич</i>	16
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДА, СОСТОЯЩЕГО ИЗ ЗЕРНЕННЫХ ПОРОХОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ <i>Вандышев Артем Максимович, Дубинина Софья Федоровна, Хмельников Евгений Александрович</i>	21
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПЛЕКСА ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ «ССДС 2000» <i>Вольф Нина Андреевна, Гуськов Анатолий Васильевич, Милевский Константин Евгеньевич</i>	26
БРОНЕБОЙНЫЙ-ОПЕРЕННЫЙ ПОДКАЛИБЕРНЫЙ СНАРЯД <i>Гуськов Анатолий Васильевич, Гынгазов Дмитрий Владимирович, Милевский Константин Евгеньевич</i>	32
НОВЫЙ ТИП ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА ДЛЯ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО СНАРЯДА К НАРЕЗНОМУ ОРУЖИЮ <i>Зезюлинский Ярослав Сергеевич; Вандакуров Кирилл Александрович, Гуськов Анатолий Васильевич, Милевский Константин Евгеньевич, Вольф Нина Андреевна</i>	38
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РЕГИСТРАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОЕПРИПАСОВ <i>Крючкова Анастасия Александровна, Литус Игорь Борисович, Смагин Константин Владимирович, Заводова Татьяна Евгеньевна</i>	42

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ГЕНЕРАТОРОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ВСКРЫТИЯ ПЛАСТА	
<i>Непрухин Иван Валерьевич, Палий Алексей Петрович, Ганигин Сергей Юрьевич.....</i>	45
ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УДЛИНЕННОГО УДАРНИКА И МДФ-ПАНЕЛЕЙ	
<i>Орлов Максим Юрьевич, Дарбинян Роберт Хачатурович, Панин Владислав Олегович</i>	49
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УТИЛИЗИРУЕМЫХ ПОРОХОВ <i>студент Плохов Никита Алексеевич, Палий Алексей Петрович, Ганигин Сергей Юрьевич.....</i>	53
АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ АРТИЛЛЕРИИ <i>Логинев Евгений Сергеевич, Самойлов Леонид Александрович.....</i>	57
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УДАРНИКОВ НА ОСНОВЕ ФТОРПОЛИМЕРОВ С ПРЕГРАДАМИ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ <i>Тюрин Ярослав Васильевич; Смагин Константин Владимирович; Заводова Татьяна Евгеньевна; Хмельников Евгений Александрович</i>	61
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТРАЕКТОРНОГО ПОДРЫВА БОЕПРИПАСА С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВИДЕОКАМЕР <i>Федоров Денис Сергеевич; Смагин Константин Владимирович; Заводова Татьяна Евгеньевна; Литус Игорь Борисович, Хмельников Евгений Александрович</i>	66
ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ТАНКА Т-90А С ЦЕЛЬЮ ВЫРАБОТКИ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ЕЁ ПОВЫШЕНИЮ <i>Шадрин Иван Дмитриевич, Рожков Леонид Фёдорович</i>	71
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МОГУЩЕСТВА УНИТАРНЫХ ПАТРОНОВ <i>Вандакуров А.Н., Гуськов А.В., Кислин М.А., Милевский К.Е., Шальнев В.А.....</i>	76
КОРРЕКТИРУЕМЫЙ ОСКОЛОЧНО - ФУГАСНЫЙ СНАРЯД <i>Гуськов Анатолий Васильевич, Милевский Константин Евгеньевич, Шарков Александр Валерьевич, Ткачев Александр Андреевич.....</i>	83
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ОПЕРАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ НА ПАДЕНИЕ ТЕЛ <i>Ширяева Вероника Юрьевна; Дёмин Сергей Евгеньевич, Дёмина Елена Леонидовна; Смагин Константин Владимирович.....</i>	88

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СУО МНОГОЦЕЛЕВЫХ МАШИН

*Абдулов Сергей Владимирович, Падурич Сергей Викторович,
Яковлев Антон Геннадьевич* 94

СЕКЦИЯ: ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ 98

МИНИСТР МАШИНОСТРОЕНИЯ В.В. БАХИРЕВ

*Адриашкина Татьяна Расуловна, Гриф Екатерина Михайловна, Гуськов
Анатолий Васильевич, Довгаль Анастасия Ильинична, Милевский Константин
Евгеньевич* 98

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ЧАСТИЦ ТИТАНА

Белоусова Наталья Сергеевна, Глотов Олег Григорьевич 103

ДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ О-НУКЛЕОФИЛОВ НА 3-МЕТИЛ-5-ТРИНИТРОМЕТИЛ-ТЕТРАЗОЛО-[1,5- α]-1,3,5-ТРИАЗИН-7-ОН

*Заломленков Владимир Александрович, Гидаспов Александр Александрович,
Поварова Людмила Викторовна; Степанова Елена Сергеевна, Частухина Кира
Дмитриевна; Володина Светлана Николаевна* 110

К ВОПРОСУ О КРИВИЗНЕ ФРОНТА ДЕТОНАЦИИ ЗАРЯДОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА

*Виноградов Алексей Валерьевич, Зимоглядова Ольга Алексеевна,
Мержиевский Лев Алексеевич* 114

ИЗУЧЕНИЕ ГОРЕНИЯ ТЭНА В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ, ПОМЕЩЕННОЙ В ГИЛЬЗУ КД-8С

*Кожевников Евгений Александрович, Гидаспов Александр Александрович,
Янзин Семен Александрович, Анисимов Дмитрий Игоревич* 118

СЕКЦИЯ: РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ 123

РАСЧЕТ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СХемой ВОЗБУЖДЕНИЯ

*Верёвкина Евгения Владимировна, Непомнящая Виктория Владимировна,
Ромодин Валерий Борисович, Шебалкова Любовь Васильевна* 123

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ НАВЕДЕНИЯ КРЫЛАТЫХ РАКЕТ

 129

*Веремчук Оксана Леонидовна, Исаков Дмитрий Сергеевич, Гольдберг Михаил
Аркадьевич, Легкий Владимир Николаевич* 129

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Гириной Дмитрий Вадимович, Русский Евгений Юрьевич 141

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТОННЕЛЬНЫМ ВЕНТИЛЯТОРОМ МЕТРОПОЛИТЕНА МОДАЛЬНЫМ МЕТОДОМ	
<i>Гундарева Мария Олеговна, Русский Евгений Юрьевич</i>	146
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ	
<i>Евтушенко Семен Викторович, Лех Дмитрий Юрьевич, Заруев Антон Антонович, Литвиненко Сергей Алексеевич</i>	152
МЕТОД АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ФИНАНСОВЫХ СТРУКТУР ТИПА «ПИРАМИДА»	
<i>Заруев Антон Антонович, Евтушенко Семён Викторович, Лех Дмитрий Юрьевич, Швец Владимир Викторович</i>	156
РОБАСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ	
<i>Зюрин Кирилл Эдуардович, Канцырев Антон Иванович, Русский Евгений Юрьевич</i>	160
РАЗРАБОТКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНОК ГАЗОПРОВОДОВ	
<i>Канцырев Антон Иванович, Зюрин Кирилл Эдуардович, Русский Евгений Юрьевич</i>	165
АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВЫХ РАДИОВЫСОТОМЕРОВ	
<i>Курзина Анастасия Дмитриевна, Гнибедюк Владимир Игоревич, Шелковой Денис Сергеевич</i>	170
КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ	
<i>Лех Дмитрий Юрьевич, Заруев Антон Антонович, Евтушенко Семён Викторович, Кирильчик Антон Александрович</i>	175
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОРРЕКТИРУЕМЫХ АВИАБОМБ	
<i>Мишушин Дмитрий Андреевич, Шибков Илья Анатольевич, Кропачева Ирина Петровна</i>	180
АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	
<i>Николаев Павел Андреевич, Слободяненко Александр Александрович, Русский Евгений Юрьевич</i>	185
РАДИОВЗРЫВАТЕЛИ СНАРЯДОВ ЗАРУБЕЖНЫХ РСЗО	
<i>Ольшина Екатерина Анатольевна, Кропачева Ирина Петровна, Семенов Василий Тимофеевич</i>	190

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБНАРУЖЕНИЯ КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ ЛОКАЦИИ	
<i>Орлова Мария Владимировна, Эдвабник Валерий Григорьевич, Лепшей Татьяна Викторовна, Пуртов Антон Игоревич</i>	196
ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОПЕРЕХОДОВ	
<i>Фисун Иван Дмитриевич, Легкий Владимир Николаевич, Демидов Дмитрий Евгеньевич, Читава Александр Романович</i>	202
АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В ИК ДИАПАЗОНЕ	
<i>Черников Андрей Андреевич, Легкий Владимир Николаевич, Алексеев Константин Аркадьевич</i>	208
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФОНОВЫХ ИК ПОЛЕЙ	
<i>Черников Андрей Андреевич, Легкий Владимир Николаевич, Алексеев Константин Аркадьевич</i>	212
ПРИМЕНЕНИЕ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК В ГЕОРАДАРАХ	
<i>Шебалкова Любовь Васильевна, Марков Максим Алексеевич, Эдвабник Валерий Григорьевич</i>	216
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФУРЬЕ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ	
<i>Ющенко Валерий Павлович, Батуров Дмитрий Петрович</i>	221
СЕКЦИЯ: РАДИОЛОКАЦИЯ, РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ	226
ДВУХЧАСТОТНЫЙ ДИПОЛЬНЫЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ ПИТАНИЕМ УСЛОВИЯ ИНВАРИАНТНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ШУМОВ КООРДИНАТ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ К УГЛУ ВИЗИРОВАНИЯ	
<i>Артюшенко Вадим Валерьевич</i>	231
ДИРЕКТОРНЫЕ АНТЕННЫ С ПЕЧАТНЫМИ ВОЗБУДИТЕЛЯМИ ДИПОЛЬНОГО ВИДА	
<i>Бухтияров Дмитрий Андреевич</i>	236
МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ЛОКАТОР ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	
<i>Голицын Александр Андреевич; Сейфи Наталья Андреевна</i>	241
ОБНАРУЖИТЕЛЬ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ТОЧЕЧНЫХ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ С ДВУМЯ СКОРОСТНЫМИ ПОРОГАМИ	
<i>Елагина Ксения Александровна</i>	245

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПЕЛЕНГАЦИИ ПОСТАНОВЩИКОВ АКТИВНЫХ ПОМЕХ МОБИЛЬНОЙ РЛС	
<i>Калин Артем Валерьевич</i>	250
МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАССОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ ОСНОВАННЫЙ НА ОЦЕНКЕ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ	
<i>Мартынов Дмитрий Олегович</i>	253
РАСЧЕТ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ ПО ЕЁ ЦИФРОВОЙ КАРТЕ МЕСТНОСТИ	
<i>Никулин Андрей Викторович</i>	257
ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ БИФОКАЛЬНОЙ ЛИНЗЫ	
<i>Никулина Юлия Сергеевна, Степанов Максим Андреевич</i>	262
КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ПОМЕХ ОТ НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ	
<i>Орешкина Маргарита Валерьевна</i>	266
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ШУМОВ КООРДИНАТ	
<i>Подкопаев Артемий Олегович, Степанов Максим Андреевич</i>	269
ДВУХТОЧЕЧНАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБЪЕКТА, СОСТАВЛЕННАЯ ИЗ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ С ЗАДАННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ВЗАИМНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ	
<i>Сабитов Тимур Ильясович; Степанов Максим Андреевич, Киселев Алексей Васильевич</i>	274
ОПТИМАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПОЛОСОВОГО ИНТЕРПОЛИРОВАННОГО ФИЛЬТРА	
<i>Савиных Иван Сергеевич, Гладких Мария Олеговна</i>	279
СОГЛАСОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО И КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ ТРАНСФОРМАТОРОМ	
<i>Савиных Иван Сергеевич, Сарвилина Виктория Вячеславовна</i>	283
ПОЛИНОМИАЛЬНАЯ ВЗВЕШИВАЮЩАЯ ФУНКЦИЯ БЕРНШТЕЙНА- ХЭММИНГА	
<i>Савиных Иван Сергеевич, Фирзина Анастасия Евгеньевна</i>	289
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОЛУЧЕВОГО КАНАЛА	
<i>Сенников Сергей Александрович, Никулин Андрей Викторович</i>	294

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Наука Промышленность Оборона

Труды XVIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

г. Новосибирск, 19-21 апреля 2017 г.

Том II

Под редакцией *С.Д. Саленко*

Компьютерная верстка *А.С. Долматов*

Подписано в печать 09.06.2017 г. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная
Тираж 40 экз. Уч.-изд.л. 17,9. Печ.л. 19,25. Заказ № 798

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Тел: (383)-346-31-87