

Федеральная служба по техническому и экспортному контролю

Государственный научный центр Российской Федерации  
Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Центральный научно-исследовательский институт химии и механики  
им. Д.И. Менделеева»

ISSN: 2073-6649

# БОЕПРИПАСЫ

№ 2

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
СБОРНИК

Москва  
2023



## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель Редакционного Совета, главный редактор,  
генеральный директор ФГУП «ЦНИИХМ»  
д-р техн. наук, доцент, действительный член РАН С.А. Бобков

Генеральный директор АО «ФНПЦ «НИИПХ» канд. техн. наук, член-корр. РАН Н.М. Вареных  
Генеральный директор АО «НПП «Краснознаменец» канд. техн. наук, доцент В.И. Вареница  
Генеральный директор и генеральный конструктор ФГУП «ФЦДТ «Союз»  
акад. РАН, акад. РАН, д-р техн. наук, проф. Ю.М. Милехин  
Генеральный директор Концерна «Калашников»  
д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН В.Н. Лепин  
Заместитель генерального директора, научный руководитель –  
генеральный конструктор АО «НПО «Прибор» им. С.С. Голембиовского»  
д-р техн. наук, проф., акад. РАН О.Т. Чижевский  
Заместитель генерального директора – директор по научной работе  
и инновациям АО «КНИИМ» канд. техн. наук Н.В. Шикун  
Ученый секретарь ФГУП «ЦНИИХМ» д-р техн. наук, проф. А.М. Аверченко  
Советник генерального директора ФГУП «ЦНИИХМ»  
д-р техн. наук, проф., акад. РАН И.Н. Торгун  
Главный специалист центра ФГУП «ЦНИИХМ» д-р техн. наук В.П. Никишов

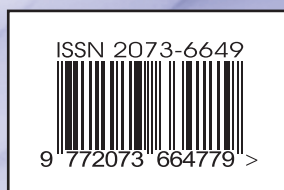
Ответственный секретарь В.В. Абрамов

Научно-технический сборник «Боеприпасы»  
зарегистрирован в Министерстве печати и информации Российской Федерации  
Регистрационное свидетельство: ПИ № 77-17212 от 16 января 2004 г.

В соответствии с решением Министерства обороны РФ и Федеральной службы  
по техническому и экспортному контролю от 30 марта 2009 г.  
научно-техническому сборнику «Боеприпасы» придан статус  
печатного органа Министерства обороны Российской Федерации  
по вопросам боеприпасов и специальной химии

Адрес редакции: 115487, г. Москва, ул. Нагатинская, д. 16А  
Телефоны: (499) 611-80-26, 616-98-22  
Факс: (499) 782-23-21  
E-mail: redaction@cniihm.ru

Электронная почта ФГУП «ЦНИИХМ»: [mail@cniihm.ru](mailto:mail@cniihm.ru)  
Электронная версия сборника размещена на сайте: <https://cniihm.ru>



---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

<b>РАКЕТНЫЕ ТОПЛИВА. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ.....</b>	<b>5</b>
<b>ВЛИЯНИЕ УТОПЛЕННОСТИ СОПЛА НА ОСАЖДЕНИЕ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА .....</b>	<b>5</b>
<i>А.С. Горбачев, А.С. Лебедев, С.Н. Вагичев, А.В. Курбатов</i>	
<b>ВЗРЫВАТЕЛИ .....</b>	<b>11</b>
<b>РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ СИГНАЛА В ДОПЛЕРОВСКОМ НЕКОНТАКТНОМ ДАТЧИКЕ ЦЕЛИ, КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ .....</b>	<b>11</b>
<i>Ф.Ф. Плескачевский, А.В. Федоров, П.Н. Шахкельдян</i>	
<b>МАКЕТИРОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНОГО СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНОГО РАДАРА-ВЫСОТОМЕРА ДЛЯ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ РАДИОВЗРЫВАТЕЛЯ .....</b>	<b>15</b>
<i>О.Ф. Андриюшин, А.А. Иванцов, М.Г. Фабричный, А.В. Федоров, Ф.Ф. Плескачевский</i>	
<b>ИНЖЕНЕРНЫЕ БОЕПРИПАСЫ .....</b>	<b>24</b>
<b>ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗАРЯДОВ РАЗМИНИРОВАНИЯ ПУТЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУР.....</b>	<b>24</b>
<i>И.В. Спириин, М.Г. Саутина</i>	
<b>БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ.....</b>	<b>30</b>
<b>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗАРУБЕЖНОЙ БЕСПИЛОТНОЙ БОЕВОЙ АВИАЦИИ .....</b>	<b>30</b>
<i>С.С. Семенов, С.М. Мужичек</i>	
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....</b>	<b>60</b>
<b>ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДЫ SCILAB ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОЕПРИПАСОВ .....</b>	<b>60</b>
<i>И.В. Спириин, М.Г. Саутина, В.К. Неретин</i>	
<b>АЛГОРИТМ ЗАЩИТЫ ВИДЕО СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНОГО РАДАРА-ВЫСОТОМЕРА ОТ АКТИВНОЙ МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ПОМЕХИ .....</b>	<b>66</b>
<i>О.Ф. Андриюшин, А.А. Иванцов, Ф.Ф. Плескачевский, М.Г. Фабричный, А.В. Федоров</i>	
<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>71</b>
<b>БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ БОЕПРИПАСОВ НА ПРОСТРЕЛ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ОСКОЛКОМ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ И МАССЫ.....</b>	<b>71</b>
<i>Н.М. Ватулин, В.С. Завьялов, В.В. Колтунов, Н.С. Сонин, А.Б. Терентьев</i>	
<b>СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФАЗОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ ПОЛИЭФИРУРЕТАНА .....</b>	<b>78</b>
<i>Ю.М. Лотменцев, Н.Н. Ильичева, Н.Н. Кондакова</i>	

ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ АВТОДИННЫХ (ДОПЛЕРОВСКИХ) НЕКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ ЦЕЛИ ОТ ОРГАНИЗОВАННЫХ ПОМЕХ МЕТОДОМ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ МАНИПУЛЯЦИИ ПАРАМЕТРАМИ ИЗЛУЧАЕМОГО СИГНАЛА.....	84
<i>О.Ф. Андриюшин, А.А. Иванцов, А.С. Малышкин, Ф.Ф. Плескачевский, А.В. Федоров</i>	
<b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ .....</b>	<b>87</b>
НОВЫЕ СПОСОБЫ ИСПЫТАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ОСКОЛОЧНОГО БОЕПРИПАСА.....	87
<i>С.М. Мужичек, М.А. Корзун, Т.М. Борисова, А.М. Губкин</i>	
<b>СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ .....</b>	<b>94</b>
ПЕРВЫХ ПОМНЯТ ВСЕГДА.....	94
<i>С.П. Бачурин</i>	
Артиллерия Европы XIV–XVI вв. Зарождение и становление нового рода войск.....	103
<i>А.О. Метельский, А.А. Иванов, А.О. Соколов, А.О. Преображенский</i>	
<b>ЮБИЛЕЙ .....</b>	<b>127</b>
КАФЕДРЕ БОЕПРИПАСОВ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА – 85 ЛЕТ.....	127
<i>С.В. Ладов, В.А. Марков, В.В. Селиванов</i>	
50 ЛЕТ СЛУЖЕНИЯ НАУКЕ И ОТЕЧЕСТВУ.....	135



---

---

## РАКЕТНЫЕ ТОПЛИВА. ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

---

---

УДК 662.215.1

### ВЛИЯНИЕ УТОПЛЕННОСТИ СОПЛА НА ОСАЖДЕНИЕ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

А.С. ГОРБАЧЕВ, д-р техн. наук А.С. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук С.Н. ВАГИЧЕВ, А.В. КУРБАТОВ  
(АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай»)

*С использованием численных методов исследовано двухфазное течение продуктов сгорания металлизированных твердотопливных составов в камере сгорания ракетного двигателя твердого топлива различной конфигурации. Показано, что увеличение степени утопленности сопла вглубь камеры приводит к закономерному снижению суммарной массы осаждения частиц конденсированной фазы на ее стенки за полное время горения наполнителя.*

*Как следует из анализа результатов расчетов, этот эффект зависит от геометрических характеристик наполнителя и заднего днища ракетного двигателя твердого топлива и обусловлен увеличением утопленности сопла, что приводит к снижению скорости потока и увеличению размеров рециркуляционных зон, которые оттесняют траектории частиц в сторону основного высокоскоростного потока и препятствуют осаждению на стенки корпуса и сопла. По сравнению с неутопленным соплом снижение суммарной массы осаждения частиц может достигать 100%.*

**Ключевые слова:** АГЛОМЕРАТЫ; КАМЕРА СГОРАНИЯ; СОПЛО; ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА; ГОРЕНИЕ.

Использование порошка алюминия в современных твердотопливных составах приводит к процессам агломерации металлизированного горючего на поверхности горения. Оно сопровождается образованием и попаданием в поток продуктов сгорания (ПС) крупных частиц агломератов, состоящих из оксида алюминия и остатков активного алюминия. Размеры частиц агломератов могут составлять от 100 мкм до не-

скольких миллиметров в зависимости от состава наполнителя и условий его горения. Двигаясь в потоке ПС, агломераты под действием аэродинамических и массовых сил осаждаются на стенках камеры сгорания (КС), что в итоге снижает энергетическую эффективность ракетного двигателя твердого топлива (РДТТ).

В настоящее время при проектировании и разработке РДТТ для снижения их габаритов

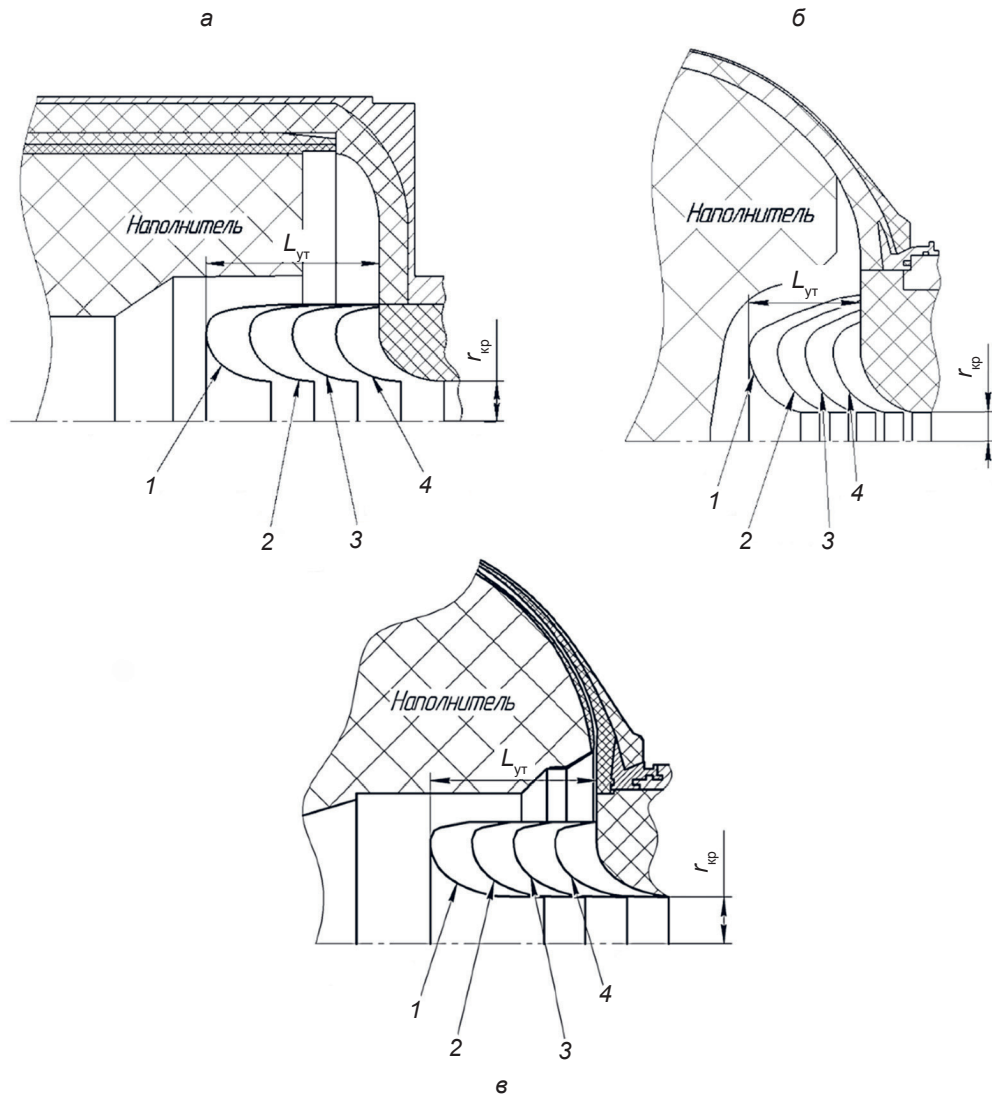
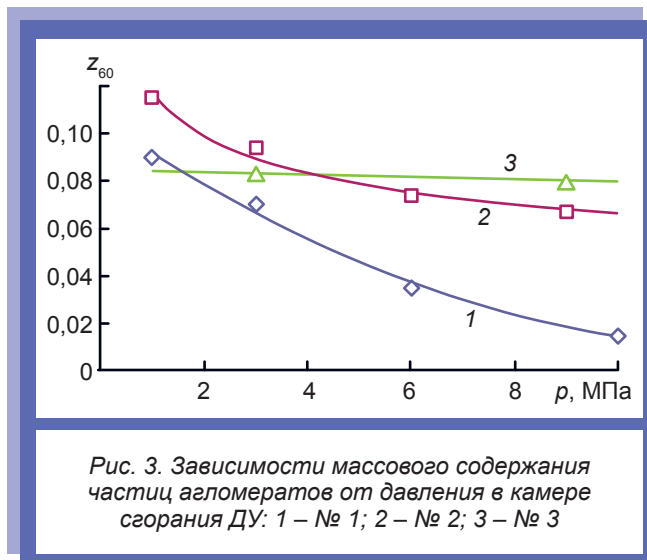
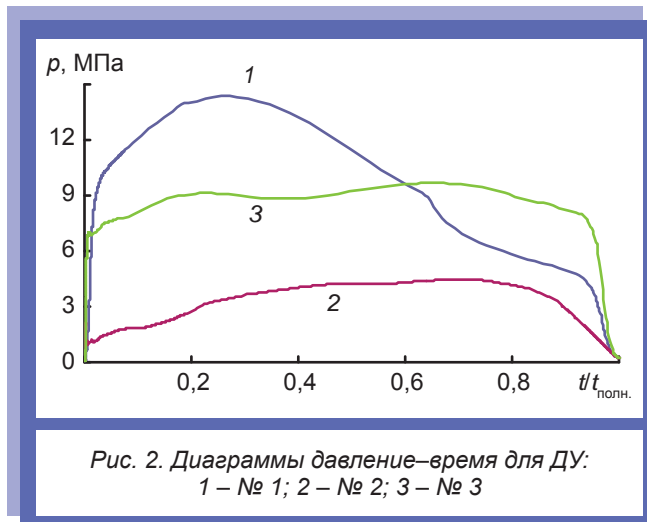


Рис. 1. Конструктивные схемы ДУ: а – № 1 ( $1 - L_{ут}/r_{кр} = 4,3$ ;  $2 - L_{ут}/r_{кр} = 3,2$ ;  $3 - L_{ут}/r_{кр} = 2,1$ ;  $4 - L_{ут}/r_{кр} = 1$ );  
 б – № 2 ( $1 - L_{ут}/r_{кр} = 4,8$ ;  $2 - L_{ут}/r_{кр} = 3,3$ ;  $3 - L_{ут}/r_{кр} = 2,4$ ;  $4 - L_{ут}/r_{кр} = 1,2$ );  
 в – № 3 ( $1 - L_{ут}/r_{кр} = 3,5$ ;  $2 - L_{ут}/r_{кр} = 2,6$ ;  $3 - L_{ут}/r_{кр} = 1,7$ ;  $4 - L_{ут}/r_{кр} = 0,8$ )

Таблица. Исходные данные для расчетов

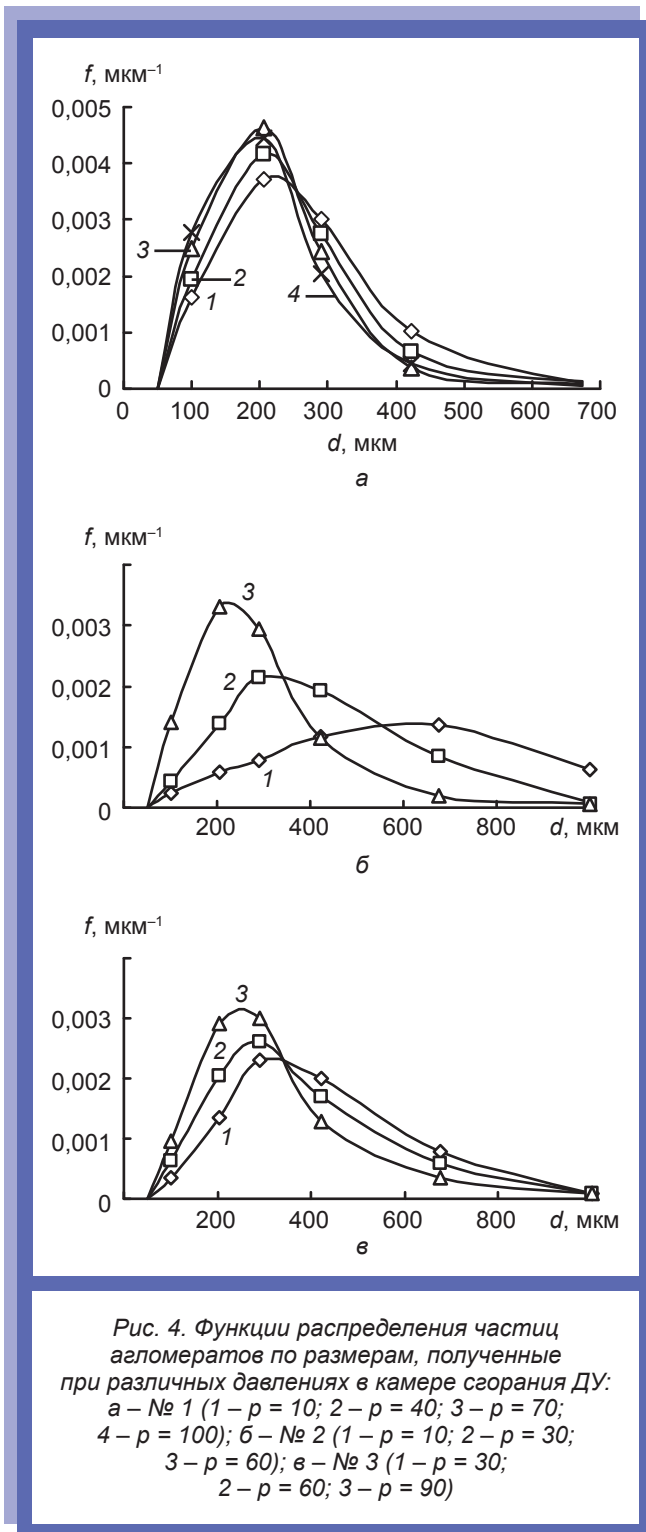
Параметр	Значения для ДУ		
	№ 1	№ 2	№ 3
$R_{кр}$ , мм	28		57
$L/D$	2	1	3
$L_{ут}/R_{кр}$	0...4	0...4,71	0...3,55
$t_{полн.}$ , с	7	80	50

Примечания:  $L, D$  – длина и внешний диаметр наполнителя;  $t_{полн.}$  – полное время горения наполнителя.



широко используются утопленные вглубь КС сверхзвуковые сопла, которые обеспечивают требуемые энергетические характеристики. Результаты численных исследований демонстрируют влияние на двухфазное течение и осаждение степени утопленности сопла вглубь КС, под которой значится величина отношения  $L_{ут}/R_{кр}$ , где  $L_{ут}$  – расстояние от входного сечения сопла до стенки заднего днища корпуса РДТТ;  $R_{кр}$  – радиус критического сечения.

Проанализированы расчеты по осаждению для двигательных установок (ДУ) трех различных конструкций (рис. 1). Использованные в расчетах данные приведены в таблице. Диаграммы давления (относительное время для ДУ № 1–3) показаны на рис. 2. В расчетах применялись полученные ранее авторами опытные характеристики частиц агломератов вблизи по-



верхности горения наполнителей при давлении в КС  $p = 1...10$  МПа для ДУ № 1–3 (рис. 3, 4). В ПС наполнителей содержится большое по массе количество частиц агломератов, а их дисперсность невысока.

Осаждение частиц конденсированной фазы на стенке КС в значительной степени зависит от

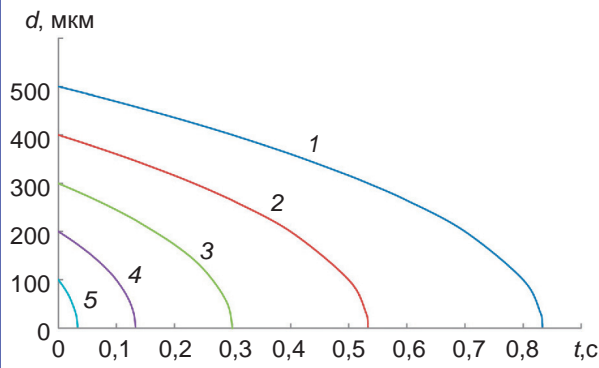


Рис. 5. Зависимости диаметра  $d$  частиц агломератов от времени их пребывания в потоке ПС, мкм: 1 – 500; 2 – 400; 3 – 300; 4 – 200; 5 – 100

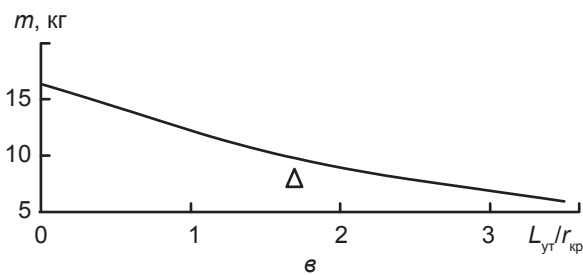
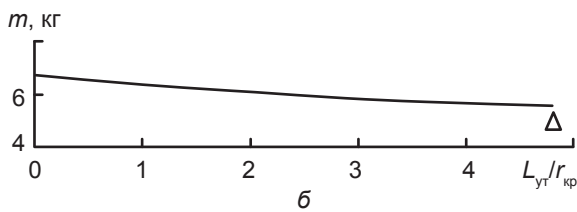
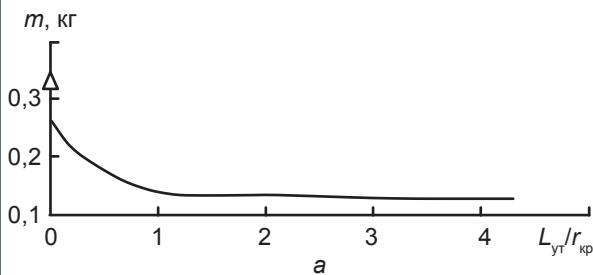


Рис. 6. Зависимости суммарной массы осаждения частиц агломератов от степени утолщенности сопла для ДУ: а – № 1; б – № 2; в – № 3; Δ – опытные значения

времени их пребывания в потоке ПС. В процессе движения в КС размеры частиц агломератов уменьшаются за счет горения активного алюми-

ния. Изменение размеров частиц агломератов во времени учитывается использованием полученной ранее экспериментальной зависимости [1]:

$$d = (d_0^2 - k \cdot t)^{1/2},$$

где  $d_0$ ,  $d$  – диаметр частицы на поверхности горения и в потоке ПС соответственно;  $t$  – время;  $k \approx 0,3 \text{ мм}^2/\text{с}$  (рис. 5).

Метод расчета двухфазного течения ПС основан на предположении о выгорании поверхности наполнителя, которое происходит параллельными слоями. Находящиеся в потоке агломераты не оказывают заметного влияния на параметры течения газовой фазы вследствие их небольшого массового содержания. Это позволяет проводить расчет двухфазного течения и осаждения в КС заданной геометрии в три этапа:

на первом – задается геометрия КС и расчетная сетка с использованием пакета «Компас-3D» [2];

на втором – рассчитывается поле течения газовой фазы;

на третьем – траектории движения частиц и параметры их осаждения на внутренние поверхности КС.

Определение параметров движения газовой фазы основано на численном решении уравнений Навье–Стокса в вязкой сжимаемой постановке с использованием метода конечных объемов [3]. Задаются граничные условия: плотность потока массы на поверхности горения; прилипание на поверхностях; симметрия потока на оси ДУ; равенство расхода через критическое сечение сопла приходу ПС с поверхности горения наполнителя.

Параметры движения частиц рассчитываются с помощью численного решения уравнений движения частиц вдоль их траекторий методом Рунге–Кутты [4]. Начальная скорость на поверхности горения принята равной аналогичной величине топлива. Частицы, пересекающие внутренние поверхности корпуса и утолщенной части сопла, осаждаются и составляют суммарную массу, величина которой определялась интегрированием плотности потока осаждения по внутренней поверхности КС и времени горения наполнителя. Расчеты проведены в заданные моменты времени работы ДУ на стационарном участке.



Предполагалось, что с ростом утопленности сопла вглубь КС масса осаждения должна возрастать за счет увеличения его поверхности. Однако, как показали результаты расчетов, использование полностью неутопленного вглубь КС сопла дает максимальную массу осаждения за полное время горения наполнителя для всех рассмотренных ДУ, а с увеличением степени утопленности суммарная масса осаждения закономерно снижается. Суммарная масса осаждения за счет утопленности сопла может максимально уменьшиться для ДУ № 2 на 15%, а для ДУ № 1, 3 – более чем вдвое, по сравнению с использованием неутопленного сопла (рис. 6). Для сравнения на рис. 6 приведены также опытные значения массы осаждения, полученные при проведении стендовых испытаний ДУ № 1–3.

Необходимо отметить, что конструкция ДУ влияет на величину и характер изменения массы осаждения от степени утопленности. Для объяснения закономерности рассмотрим более детально особенности течения двухфазных ПС в камере сгорания ДУ № 1–3. Расчеты, полученные для всех рассмотренных конструкций ДУ, показали, что увеличение степени утопленности сопла вглубь КС приводит к изменению структуры течения и закономерному снижению скорости потока в области заднего днища. Газообразные ПС являются несущей фазой, которая приводит в движение частицы агломераты, покидающие поверхность горения наполнителя. Снижение скорости газа приводит к соответствующему замедлению частиц, что снижает плотность потока осаждения тех частиц, которые под действием аэродинамических и массовых сил отклоняются от линий тока газа и осаждаются на стенки КС ДУ (рис. 7).

В процессе работы ДУ № 1 в области ее переднего и заднего днищ образуются рециркуляционные зоны, в которых газообразные ПС медленно движутся по замкнутым линиям тока. Эти зоны оттесняют траектории движения частиц в сторону основного высокоскоростного потока, препятствуя их осаждению на стенки корпуса и сопла. Размеры зон в области заднего днища увеличиваются с ростом степени утопленности сопла (рис. 8, а). Скорость движения газовой фазы в них снижается, что также приводит к уменьшению скорости частиц, оседающих на стенку заднего днища и утопленного сопла.

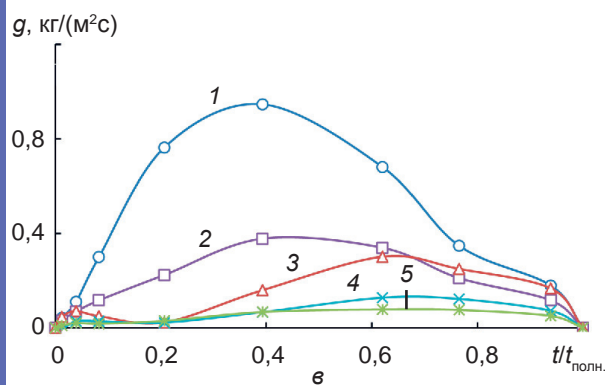
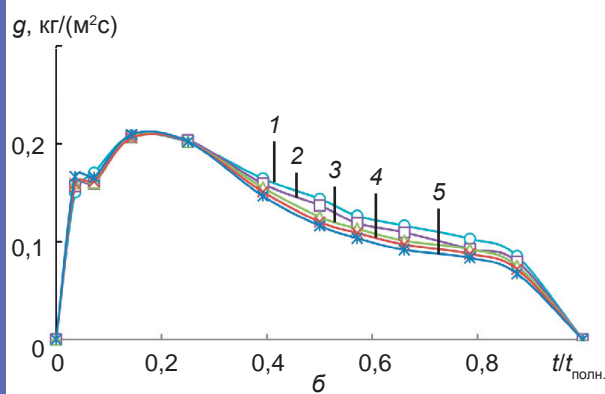
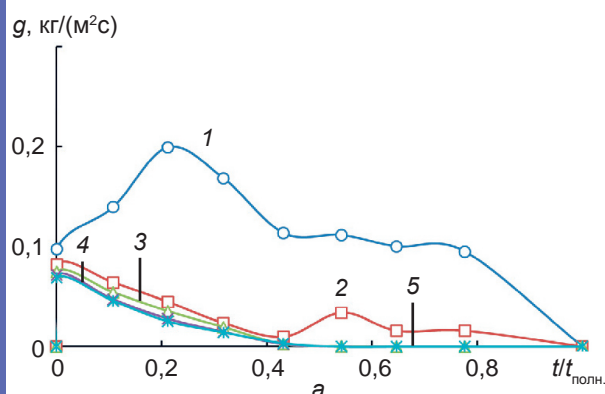
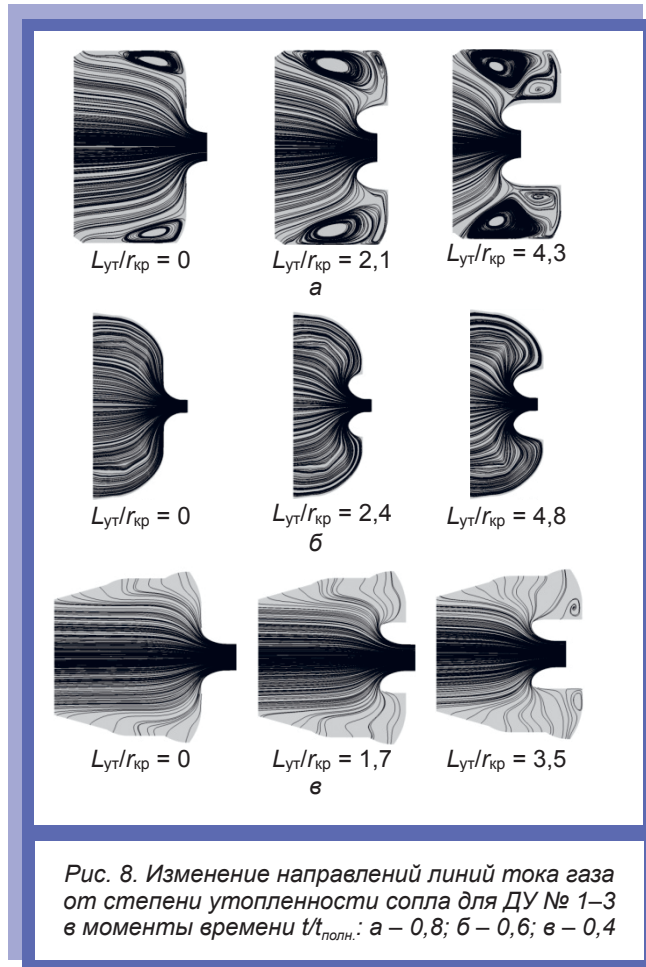


Рис. 7. Зависимости суммарной плотности потока осаждения частиц агломератов на заднее днище от времени при различной степени утопленности сопла для ДУ:

- а – № 1 (1 –  $L_{yt}/r_{кр} = 0$ ; 2 –  $L_{yt}/r_{кр} = 1$ ;  
3 –  $L_{yt}/r_{кр} = 2,1$ ; 4 –  $L_{yt}/r_{кр} = 3,2$ ; 5 –  $L_{yt}/r_{кр} = 4,3$ );
- б – № 2 (1 –  $L_{yt}/r_{кр} = 0$ ; 2 –  $L_{yt}/r_{кр} = 1,2$ ;  
3 –  $L_{yt}/r_{кр} = 2,4$ ; 4 –  $L_{yt}/r_{кр} = 3,3$ ; 5 –  $L_{yt}/r_{кр} = 4,8$ );
- в – № 3 (1 –  $L_{yt}/r_{кр} = 0$ ; 2 –  $L_{yt}/r_{кр} = 0,8$ ;  
3 –  $L_{yt}/r_{кр} = 1,7$ ; 4 –  $L_{yt}/r_{кр} = 2,6$ ; 5 –  $L_{yt}/r_{кр} = 3,5$ )



В случае ДУ № 2 на протяжении всего времени работы в области заднего днища рециркуляционные зоны не образуются (рис. 8, б). Как следствие, влияние степени утолщенности на величину осаждения значительно меньше, чем у ДУ № 1 и 3. Для ДУ № 2 уменьшение уровня осаждения происходит за счет появления встречного течения ПС из области утолщенной части сопла, которое препятствует попаданию частиц на стенку КС, направляя их в сторону входного сечения сопла.

Как в ДУ № 1 и 2, утолщенная часть сопла ДУ № 3 (рис. 8, в) создает встречное течение. Происходит разворот потока от заднего днища в сторону основного, движущегося из канала к соплу. Это создает дополнительное препятствие для осаждения частиц конденсированной фазы, отклоняя их от стенки КС в зависимости от степени утолщенности сопла. Конструкция ДУ № 3 такова, что в области ее переднего и заднего днищ образуются рециркуляционные зоны. Они существуют на протяжении всего времени работы и препятствуют осаждению частиц.

## ВЫВОД

Численные исследования показали, что увеличение степени утолщенности сопла вглубь камеры сгорания РДТТ приводит к закономерному снижению осаждения частиц агломератов на стенки заднего днища и утолщенного сопла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальное исследование эволюции частиц агломератов алюминия в потоке продуктов сгорания высокоэнергетического материала на основе HNIW: материалы IX Всерос. конк. молодых ученых, посвященного 70-летию Государственного ракетного центра им. акад. В.П. Макеева «Итоги диссертационных исследований» (г. Миасс Челябинской обл., 10–12 октября 2017 г.) / А.С. Лебедев [и др.]. Миасс, 2017. С. 98–108.
2. Система трехмерного моделирования «Компас-3D». Производитель ООО «АСКОН».
3. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
4. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. М.: Государственное изд-во физ.-мат. лит., 1960. Т. II. 620 с.



---

---

## ВЗРЫВАТЕЛИ

---

---

УДК 621.396.962

# РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ СИГНАЛА В ДОПЛЕРОВСКОМ НЕКОНТАКТНОМ ДАТЧИКЕ ЦЕЛИ, КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Ф.Ф. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ, канд. техн. наук А.В. ФЕДОРОВ, П.Н. ШАХКЕЛЬДЯН  
(Московский филиал АО «Научно-производственное объединение «Поиск»)

*Представлены структурные схемы аналогового тракта обработки сигнала доплеровского неконтактного датчика цели и тракта, использующего цифровую обработку сигнала, реализующие пороговый алгоритм определения высоты срабатывания.*

**Ключевые слова:** РАДИОВЗРЫВАТЕЛЬ; МАЛОГАБАРИТНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ; НЕКОНТАКТНЫЙ ДАТЧИК ЦЕЛИ; АВТОДИННЫЙ ГЕНЕРАТОР; ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА; АНАЛОГОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ; ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА.

Современное развитие высокопроизводительных, малогабаритных микроконтроллеров открыло новые возможности в построении трактов обработки сигнала артиллерийских радиовзрывателей и развитии алгоритмов определения высоты срабатывания.

Рассмотрим построение тракта обработки сигнала неконтактного датчика цели (НДЦ) артиллерийского радиовзрывателя [1]. Принцип действия данного НДЦ основан на эффекте Доплера с пороговым алгоритмом определения высоты срабатывания. В качестве приемопередающего модуля используется автодинный генератор. Для формирования требуемой зависимости амплитуды рабочего сигнала от высоты (функ-

ции селекции по высоте) введена частотная модуляция несущей частоты по пилообразному закону. Пороговый алгоритм определения высоты срабатывания является самым простейшим.

Структурная схема данного тракта обработки сигнала представлена на рис. 1.

Сигнал с выхода приемопередающего модуля 1 поступает на вход активного фильтра низких частот с частотой среза  $f_{\text{пв}}$  и коэффициентом усиления 3. Фильтр предназначен для ограничения всего обрабатываемого диапазона частот (рабочий канал и помеховый канал) сверху. Затем с выхода активного фильтра сигнал поступает на входы рабочего и помехового каналов. Усилитель рабочего канала 3 представляет собой активный

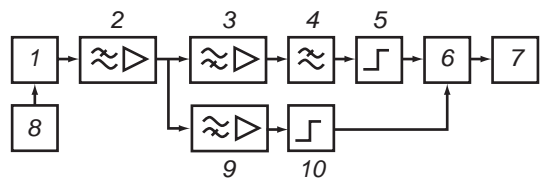


Рис. 1. Структурная схема тракта обработки сигнала НДЦ: 1 – приемопередающий модуль; 2 – активный фильтр низких частот с частотой среза 20 кГц; 3 – усилитель рабочего канала; 4 – фильтр низких частот рабочего канала с частотой среза 1500 Гц; 5 – компаратор рабочего канала; 6 – счетчик периодов рабочего сигнала; 7 – исполнительный каскад; 8 – генератор пилообразного напряжения; 9 – усилитель помехового канала; 10 – компаратор помехового канала

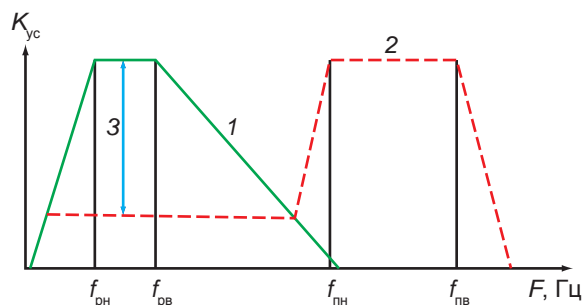


Рис. 2. Схематичное изображение АЧХ рабочего (1) и помехового каналов (2):  $f_{рн}$  – нижняя частота рабочего канала;  $f_{рв}$  – верхняя частота рабочего канала;  $f_{пн}$  – нижняя частота помехового канала;  $f_{пв}$  – верхняя частота помехового канала; 3 – пятикратное превышение усиления

фильтр высоких частот второго порядка с частотой среза  $f_{рн}$  и коэффициентом усиления 50. Данный активный фильтр формирует амплитудно-частотную характеристику рабочего канала в низкочастотной области. Далее сигнал ограничивается фильтром низких частот первого порядка 4 с частотой среза  $f_{рв}$ . Таким образом формируется амплитудно-частотная характеристика рабочего канала в области максимально возможной доплеровской частоты. Компаратор рабочего канала 5 сравнивает амплитуду рабочего канала с заданным порогом. Выход компаратора рабочего канала подключен к счетчику периодов рабочего сигнала 6, с выхода которого выдается сигнал на исполнительный каскад 7.

Усилитель помехового канала 9 представляет собой активный фильтр верхних частот второго порядка с частотой среза  $f_{пн}$  и коэффициентом усиления 50. Для организации «коридора» в области частот рабочего канала в схему фильтра введены элементы частотной коррекции. Схематично амплитудно-частотные характеристики рабочего и помехового каналов представлены на рис. 2.

С выхода усилителя помехового канала сигнал поступает на компаратор помехового канала, который выдает команду на сброс счетчика периодов сигнала.

Условием срабатывания является наличие сигнала заданного уровня в диапазоне частот от  $f_{рн}$  до  $f_{рв}$  (в рабочем канале), при этом должно быть зафиксировано не менее трех периодов рабочего сигнала подряд. Если в данном диапазоне частот сигнал превысит заданный уровень в пять раз, то происходит срабатывание компаратора помехового канала и сброс счетчика периодов рабочего сигнала. Срабатывание компаратора помехового канала происходит также при наличии сигнала заданного уровня в диапазоне частот от  $f_{пн}$  до  $f_{пв}$ .

До настоящего времени подобные тракты обработки сигнала строились на базе специализированных аналоговых микросхем. В качестве примера можно привести микросхемы 1483ХА1, 1483ХА3.

Основной проблемой при конструировании тракта обработки сигнала является ограничение габаритных размеров, в которых должны быть размещены электронные блоки тракта обработки сигнала. При реализации подобных схем в ограниченных габаритах возникают паразитные емкости между элементами и функциональными блоками электрической схемы, что может приводить к ее неустойчивой работе. Следует отметить, что применение автодинного генератора в качестве приемопередающего модуля создает дополнительные трудности при обработке тракта, поскольку он является системой с положительной обратной связью и большой чувствительностью к шумам, возникающим в цепях питания. Одним из примеров неустойчивой работы радиоблока является «пролезание» импульса срабатывания компаратора рабочего канала (амплитуда импульса 10 В) на вход усили-

теля помехового канала или на вход компаратора помехового канала. Этот эффект может вызвать ложное срабатывание компаратора помехового канала, а при подобных «пролезаниях» в цепи питания может вызвать самовозбуждение радиоузла НДЦ.

Еще одной проблемой является наличие спектральных составляющих модулирующего напряжения в сигнале, поступающем с выхода приемопередающего модуля. Недостаточное подавление этих спектральных составляющих модулирующего напряжения (в основном первой гармоники) в сочетании с высокой чувствительностью приемопередающего модуля может привести к ложному срабатыванию канала помех.

Современное развитие электроники позволяет некоторые функциональные блоки реализовывать на микроконтроллере, а не на аналоговых микросхемах [2]. Такая реализация функциональных блоков позволит устранить перечисленные выше недостатки. Например, при программной реализации компаратора при его срабатывании на выходе микросхемы не формируется фронт амплитудой 10 В, а только меняется информация в регистрах микроконтроллера. Процессы идут последовательно во времени, а не параллельно, как при реализации функциональных блоков на аналоговых микросхемах. При реализации алгоритма обработки сигнала на микроконтроллере требуется меньшее количество дискретных элементов, что позволяет уменьшить габаритные размеры конструкции тракта обработки сигнала.

С целью оценки возможности повышения устойчивости работы НДЦ, в частности, за счет технологических причин проникновения импульса срабатывания на вход помехового канала, обусловленного ограниченными габаритами электронных блоков тракта обработки сигнала, был разработан и испытан габаритный макет радиоузла НДЦ с цифровой обработкой сигнала.

Для реализации функциональной схемы тракта обработки сигнала был выбран 32-разрядный микроконтроллер K1977BE6M, с быстродействующим аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

На рис. 3 показана структурная схема тракта с элементами цифровой обработки сигнала, подобная схеме с аналоговой обработкой сигнала, представленной на рис. 1.

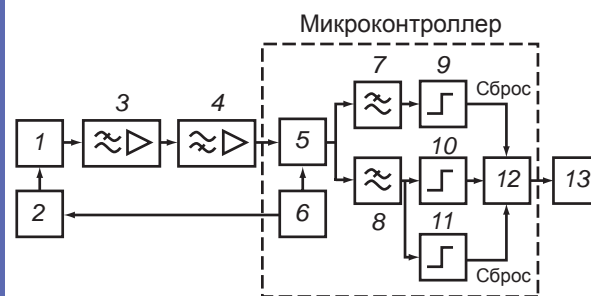


Рис. 3. Структурная схема тракта с цифровой обработкой сигнала: 1 – приемопередающий модуль; 2 – генератор пилообразного напряжения (модулятор); 3 – активный фильтр низкой частоты (защита от наложений спектров); 4 – активный фильтр высокой частоты; 5 – аналого-цифровой преобразователь; 6 – задающий генератор; 7 – цифровой фильтр высокой частоты помехового канала; 8 – цифровой фильтр низкой частоты рабочего канала; 9 – компаратор помехового канала (высокочастотная область); 10 – компаратор рабочего канала; 11 – компаратор помехового канала (рабочая частотная область); 12 – счетчик периодов рабочего сигнала; 13 – исполнительный каскад

Сигнал с выхода приемопередающего модуля поступает на вход активного фильтра низких частот 3 четвертого порядка с частотой среза  $f_{пв}$  и коэффициентом усиления 25. Данный фильтр обеспечивает защиту от наложения спектров при аналого-цифровом преобразовании [3]. Он должен подавлять до приемлемого уровня все частоты, превышающие половину частоты дискретизации.

Далее сигнал поступает на активный фильтр высокой частоты 4 второго порядка с частотой среза  $f_{рн}$  и коэффициентом усиления 4. Данный фильтр, формирующий амплитудно-частотную характеристику в области низких частот, является аналогом усилителя рабочего канала в аналоговом тракте (рис. 1 (3)). С выхода усилителя 4 сигнал поступает на АЦП 5. Частота преобразования АЦП выбрана равной частоте модуляции.

С целью обеспечения равенства частоты модулирующего напряжения и частоты преобразования АЦП задающий генератор 6, выполненный в виде программы, выдает синхронизирующий импульс на генератор пилообразного напряжения 2, по которому формируется обратный ход пилообразного напряжения. Поскольку данный импульс синхронизирован с запуском АЦП,

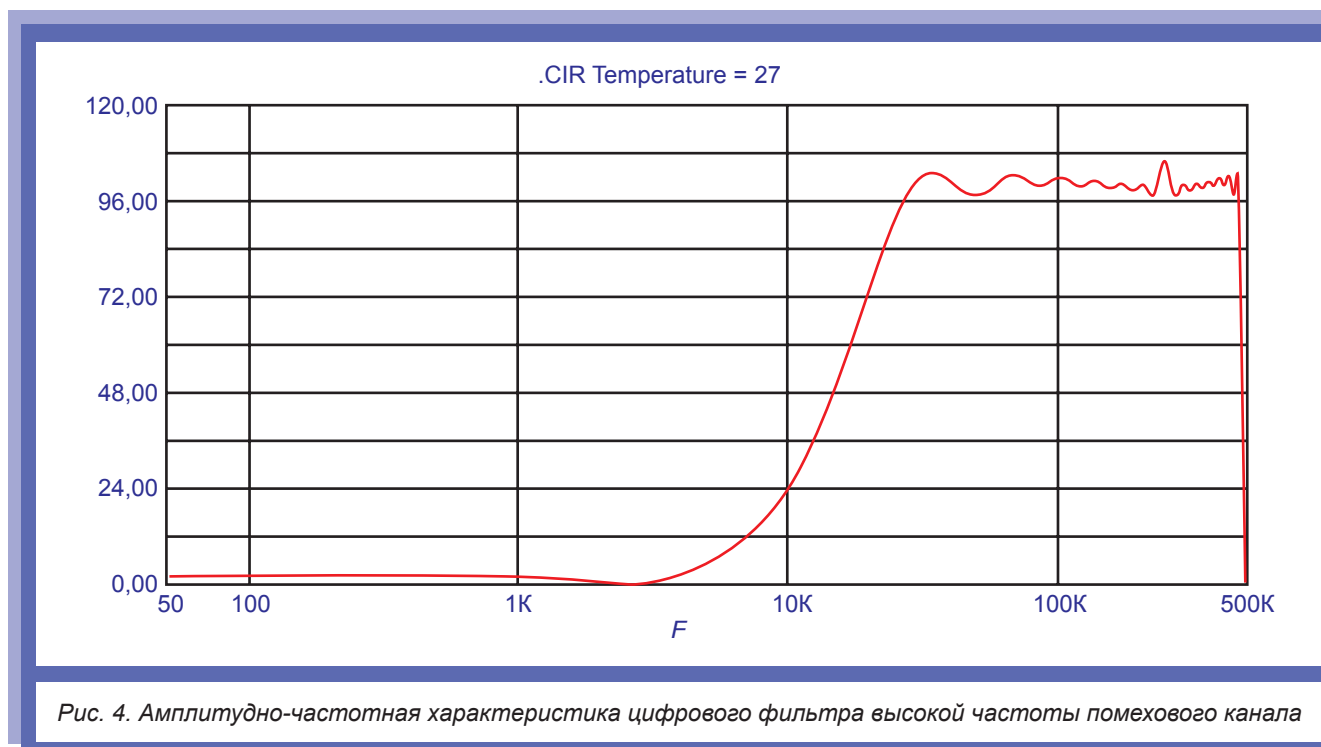


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика цифрового фильтра высокой частоты помехового канала

обеспечивается равенство частоты модулирующего напряжения и частоты дискретизации.

Данное решение позволяет уменьшить «пролезание» модулирующего напряжения в тракт обработки сигнала, реализованный в виде программы. Оцифрованный входной сигнал с частотой от  $f_{рн}$  до  $f_{пв}$  поступает на вход цифровых фильтров помехового канала 7 и рабочего канала 8. Цифровой фильтр высокой частоты помехового канала 7 является аналогом фильтра высокой частоты 9 тракта НДЦ, представленного на рис. 1. Данный фильтр является цифровым фильтром с конечной импульсной характеристикой. Для повышения быстродействия все коэффициенты фильтра округлены до целых значений. Амплитудно-частотная характеристика без учета предварительной фильтрации представлена на рис. 4.

Цифровой фильтр рабочего канала 8 является аналогом фильтра низких частот рабочего канала аналогового тракта НДЦ 4, представленного на рис. 1.

С выхода фильтров 7, 8 сигнал поступает на входы компараторов 9, 10, 11. Компаратор рабочего канала 10 оценивает амплитуду сигнала в рабочем канале и выдает сигнал на счетчик 12. Компаратор помехового канала 9 оценивает амплитуду сигнала в высокочастотной области помехового канала. Компаратор помехового ка-

нала 11 оценивает амплитуду сигнала в рабочем канале (максимальный сигнал). Выходы компараторов 9, 10 и 11 обрабатываются счетчиком периодов рабочего сигнала 12. При накоплении требуемого количества периодов рабочего сигнала с выхода счетчика 12 формируется команда на исполнительный каскад.

Таким образом, исследования, проведенные с помощью разработанного габаритного макета радиоузла НДЦ с цифровой обработкой сигнала, позволяют сделать вывод о том, что реализация тракта обработки сигнала НДЦ на цифровой основе является перспективным схемотехническим и технологическим решением, позволяющим разнести работу функциональных узлов во времени, благодаря чему повышается устойчивость работы тракта обработки сигнала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров И.В., Смольский С.М. Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний. М.: Изд-во «Горячая Линия – Телеком», 2010.
2. Carmine Noviello. Mastering STM32. Lean Publishing, 2018.
3. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход / пер. с англ. И.Ю. Дорошенко, А.В. Назаренко. Изд. 2-е. М.: Изд-во «Вильямс», 2004.

УДК 623.454.25

## МАКЕТИРОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТНОГО СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНОГО РАДАРА-ВЫСОТОМЕРА ДЛЯ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ РАДИОВЗРЫВАТЕЛЯ

Д-р техн. наук, проф. О.Ф. АНДРЮШИН, А.А. ИВАНЦОВ, канд. техн. наук М.Г. ФАБРИЧНЫЙ,  
канд. техн. наук А.В. ФЕДОРОВ, Ф.Ф. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ  
(Московский филиал АО «НПО «Поиск»)

*Рассматриваются результаты разработки макета маловысотного сверхкороткоимпульсного радара-высотомера для приемопередающего модуля радиовзрывателя. Исследуются параметры радиочастотного радара. Приводятся характеристики элементов радара: антенной системы, передатчика и приемника.*

**Ключевые слова:** СИСТЕМА БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ; СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ; ЭФФЕКТИВНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ РАССЕЯНИЯ; ПАРАМЕТРЫ РАДИОЧАСТОТНОГО РАДАРА-ВЫСОТОМЕРА.

Известно, что сверхширокополосная (СШП) и ее разновидность сверхкороткоимпульсная (СКИ) локация (с частотным диапазоном приблизительно от 1 до 10 ГГц с полосой 10 ГГц) по сравнению с традиционной узкополосной характеризуется многократно расширенными информационными возможностями, позволяющими кардинальным образом повысить точность, разрешающую способность, скрытность применения и помехозащищенность СШП-радаров, относящихся к классу систем ближней радиолокации [1, 2].

Объективные преимущества СКИ-локации перед традиционной узкополосной известны давно. Однако использование СШП-технологии при разработке радаров-высотомеров для неконтактных взрывателей артиллерийских и других видов боеприпасов (БП), характеризующихся жесткими требованиями к объемам для размещения электронных блоков и их энергопотреблению, долгое время не представлялось возможным из-за отсутствия в стране необходимой специализированной малогабаритной и экономной энергопотребляющей элементной базы.

На Западе с использованием технологий, базирующихся на излучении, приеме и обработке

СШП-сигналов, связывается создание образцов вооружений и военной техники нового поколения, обеспечивающих достижение качественно новых характеристик.

Ситуация стала меняться к 2011 г., когда ПО «Светлана» освоила промышленный выпуск дрейфовых диодов с резким восстановлением (ДДРВ), способных генерировать мощные импульсы с длительностью порядка 0,1 нс, предельным рабочим напряжением 20 В и импульсным током до 1 А.

В период с 2011 по 2014 г. АО «НИИМЭ и АО «Микрон» совместно с АО «НПП «Дельта» разрабатывали в рамках ОКР «Сложность-7», включенной в ФЦП «Развитие ОПК на период 2011–2020 гг.», специализированную боевую информационную систему (БИС) 1354ХК7У для неконтактного подрыва, реализующую функции управления генератором зондирующих сигналов на ДДРВ, приема, когерентного накопления и обработки отраженных от объекта локации аperiodических видеосигналов.

Создание двух ключевых элементов, необходимых для построения радарной части СКИ приемопередающего модуля (ППМ), позволило разработать ЗАО «Светлана-Электронприбор» в 2016 г. модуль формирования и коммутации

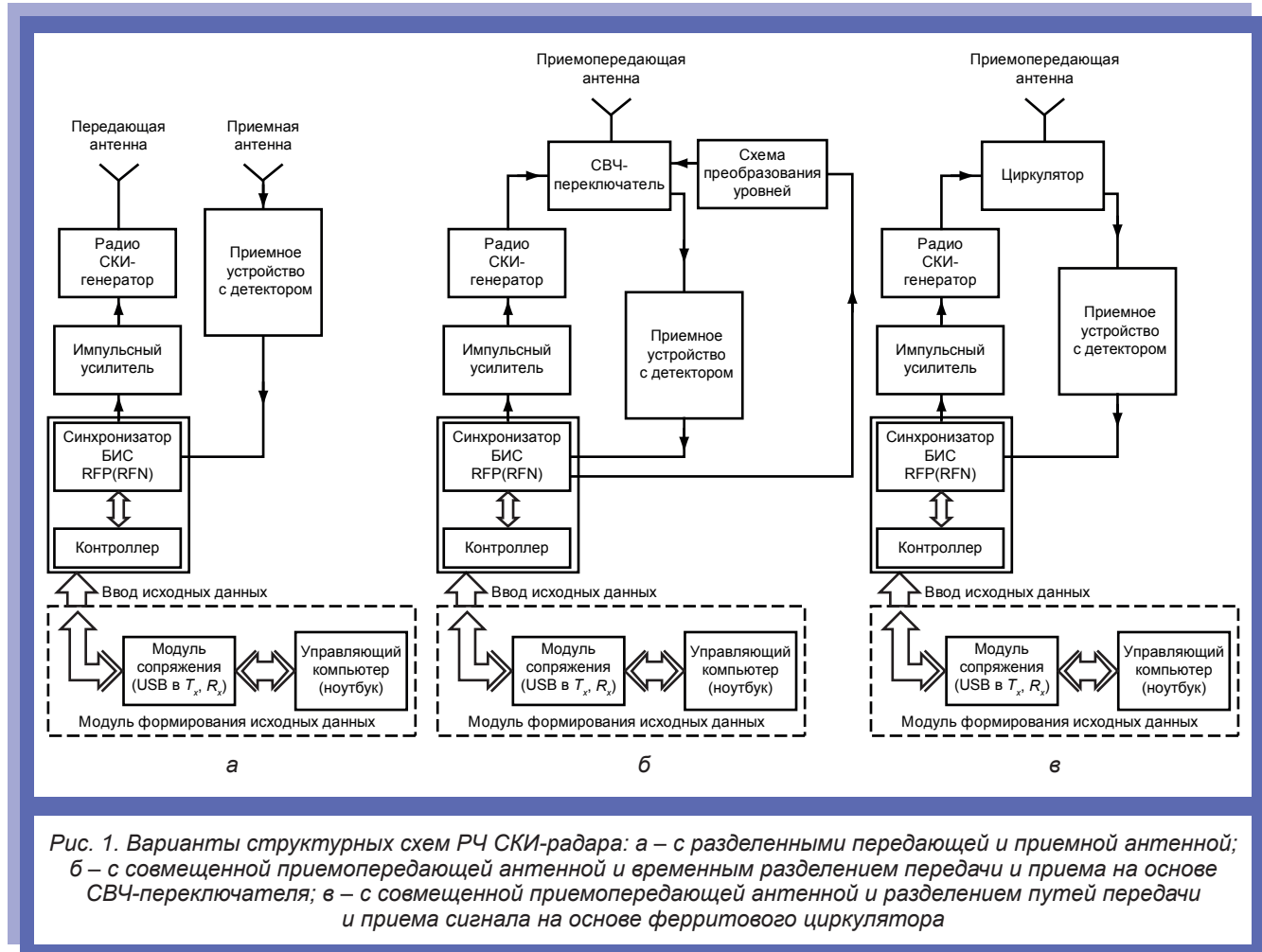


Рис. 1. Варианты структурных схем РЧ СКИ-радаров: а – с разделенными передающей и приемной антенной; б – с совмещенной приемопередающей антенной и временным разделением передачи и приема на основе СВЧ-переключателя; в – с совмещенной приемопередающей антенной и разделением путей передачи и приема сигнала на основе ферритового циркулятора

импульсов сверхкороткой длительности («Одноцветник-43»).

Таким образом, за период с 2011 по 2016 г. был создан научно-технический и производственно-технологический задел, необходимый для создания сверхкороткоимпульсного радара-высотомера для приемопередающего модуля радиовзрывателя (РВ).

Существует два вида СКИ-радаров, относящихся к классу систем ближней радиолокации (СБРЛ): видеоимпульсные (ВСКИ) и радиочастотные (РЧ СКИ), использующие для зондирования видеоимпульсы и радиоимпульсы соответственно.

Общим для видео- и радиочастотных СКИ-радаров является то, что оба этих вида, относящихся к классу СБРЛ, обладают более высокой точностью определения дальности до объекта локации, повышенной защищенностью от активных помех в силу малой спектральной плотности мощности зондирующего сигнала и

другими преимуществами, отличающими их от неконтактных узкополосных взрывателей.

При этом каждый из этих двух видов СКИ-радаров характеризуется своими отличительными особенностями.

В настоящей статье рассматриваются вопросы макетирования радиочастотных СКИ-радаров.

Возможны два варианта структурного построения РЧ СКИ: с разделенными антеннами для передачи зондирующего и приема отраженного сигналов и с совмещенной приемопередающей антенной. При этом разделение на передающий и приемный каналы при совмещенной приемопередающей антенне производится либо с помощью быстродействующего сверхвысокочастотного СВЧ-переключателя на основе GaAs [3, 4], либо с помощью СВЧ-ферритового циркулятора.

Варианты структурного построения радара РЧ СКИ с совмещенной и разделенными приемной и передающей антеннами представлены на рис. 1.



Следует заметить, что в артиллерийских взрывателях вариант с разделенными передающей и приемной антеннами не применяется в силу ограниченного объема, выделяемого в БП для размещения РВ.

Структурная схема радара РЧ СКИ включает в себя традиционные блоки, работающие в режиме сверхкоротких радиоимпульсов: СВЧ-генератор, модулируемый сверхкороткими импульсами, приемный канал с быстродействующим переключателем «прием-передача», усилителем, детектором и устройством цифровой обработки принятого сигнала на основе БИС 1354ХК7У.

Одной из важнейших задач, возникающих при проектировании СКИ-радаров, является задача оптимального выбора варианта конструкции антенны, которая во многом определяет технические характеристики СКИ-радара и РВ в целом [5].

Для макета радиочастотного СКИ-радара была рассчитана и разработана осесимметричная диско-конусная антенна с заданными габаритами, диаграммой направленности и достаточно хорошим согласованием частотной характеристики с СВЧ-трактом ПППМ.

Схема осесимметричной антенны и ее внешний вид представлены на рис. 2.

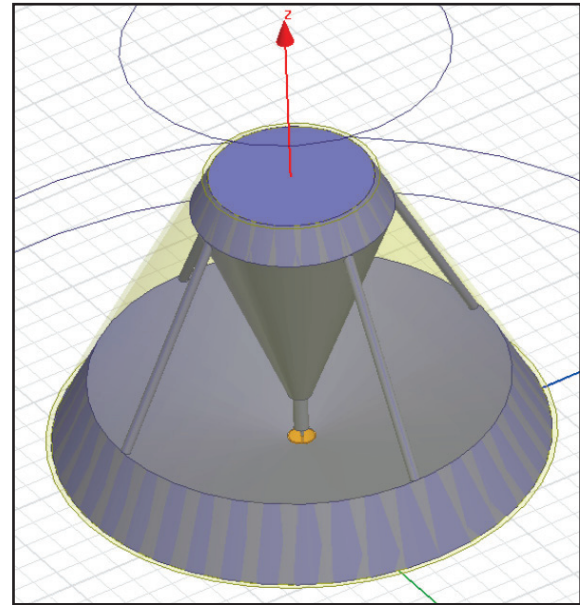
На рис. 3 приведена расчетная диаграмма направленности осесимметричной антенны. Ее параметры соответствуют требованиям, заданным при проектировании.

Диаграмма направленности осесимметричной диско-конусной антенны имеет воронкообразную форму, ширина конуса в которой по половинному уровню мощности составляет  $30^\circ$  относительно оси симметрии.

В макете радара-высотомера РЧ СКИ с совмещенной и приемопередающей антенной разделение передающего и приемного каналов производится с помощью СВЧ-ферритового циркулятора ФКЦН2-132Б (9...18 ГГц) разработки АО «Ферроприбор».

Циркулятор обеспечивает подключение в антенне передатчика мощностью 0,5 Вт и приемника. В приемнике применяются МШУ SEL-X2 V1 разработки АО «Светлана-Электронприбор» и детектор MD903 АО «НПФ «Микран».

На рис. 4 показана осциллограмма отраженного импульса в приемном тракте макета РСКИ СБРЛ (на выходе детектора).



а



б

Рис. 2. Схема осесимметричной антенны (а) и ее внешний вид (б), диаметр основания антенны 90 мм

Для расчета параметров СКИ-радара необходимо располагать данными по эффективной поверхности рассеяния (ЭПР). Существует большое количество публикаций, содержащих данные по ЭПР, используемых при расчетах в

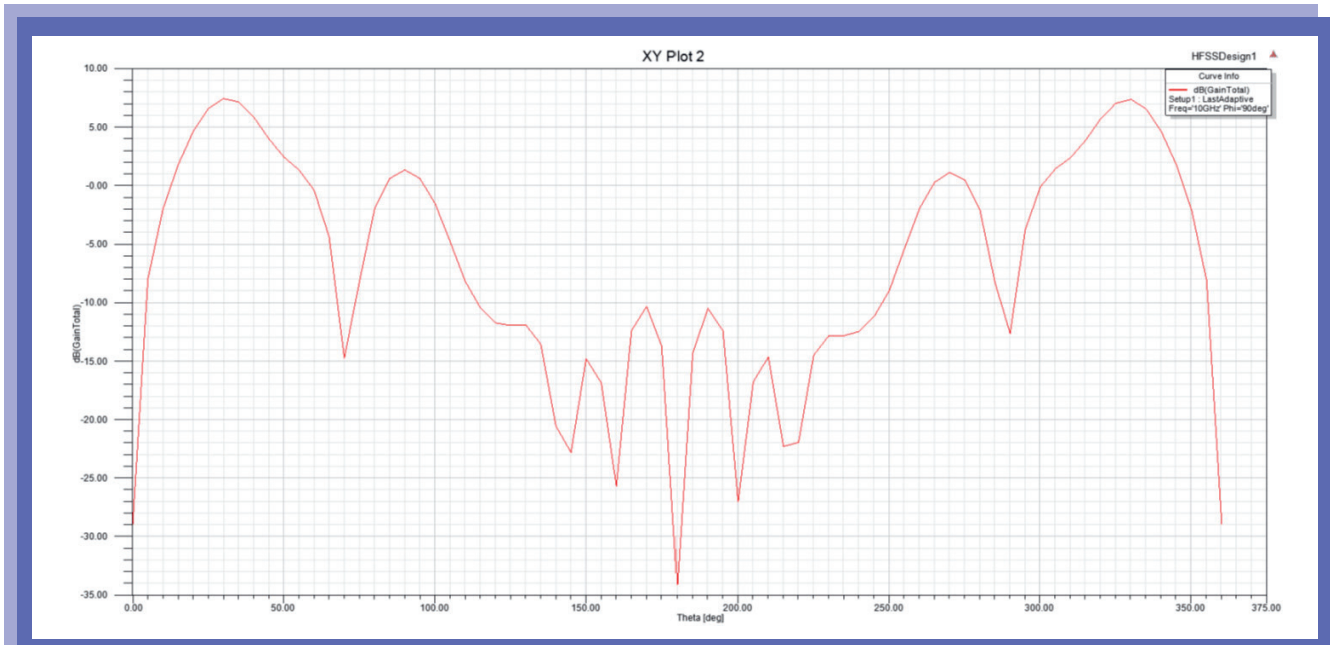


Рис. 3. Диаграмма направленности осесимметричной антенны

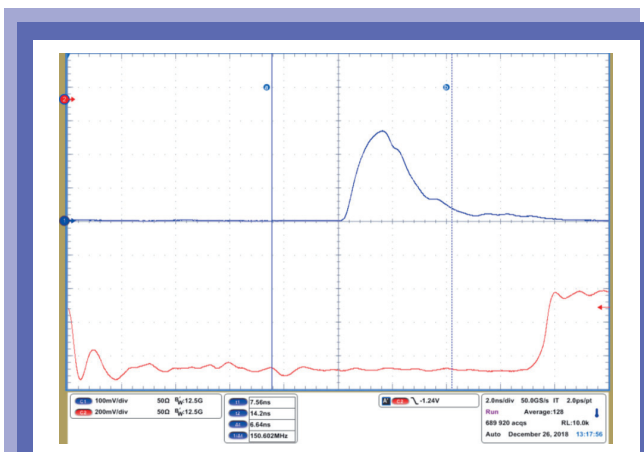


Рис. 4. Осциллограмма отраженного импульса в приемном тракте СБРЛ после детектора (верхняя кривая), синхриимпульс (нижняя кривая). Регистрация осуществлялась осциллографом MSO1254C с полосой пропускания 12,5 ГГц

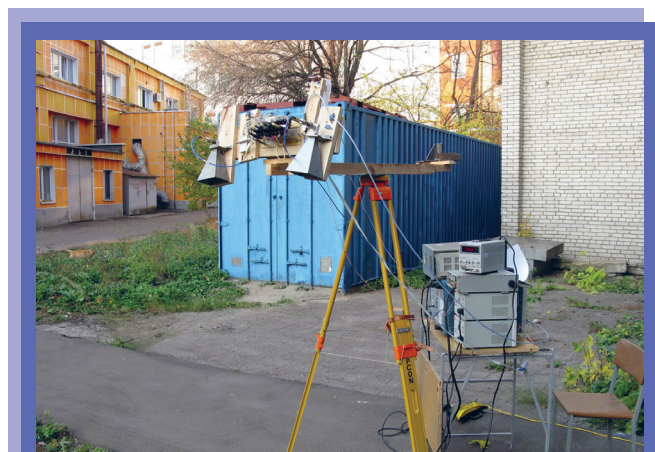


Рис. 5. Общий вид рабочего места для проведения измерения ЭПР

традиционной узкополосной радиолокации [6–9], однако их применимость для расчетов в СКИ-радиолокации мало изучена.

Для получения общих представлений об ЭПР подстилающих поверхностей при их сверхкороткоимпульсном зондировании был проведен ряд натуральных экспериментальных измерений некоторых типов земной поверхности.

Для этого использовался прямой метод оценки ЭПР, исходя из известной формулы для расчета [10]:

$$\sigma = 4 \cdot \pi \cdot R_{\text{экср}}^2 \frac{E_2^2}{E_1^2},$$

где  $\sigma$  – ЭПР;  $E_1^2$  – плотность мощности излучения в точке облучения объекта локации (подстилающей поверхности);  $E_2^2$  – плотность мощности в точке приема отраженного излучения;  $R_{\text{экср}}$  – расстояние от антенн до подстилающей поверхности в эксперименте.

Плотность мощности в точке облучения объекта локации  $E_1^2$  оценивается измерением амплитуды сигнала на выходе приемной антенны  $E_{1A}^2$ ,

установленной на расстоянии  $R_A$  от передающей антенны.

Плотность мощности  $E_{1A}^2$ , пересчитанная к плотности мощности, в эксперименте по измерению ЭПР:

$$E_1^2 = E_{1A}^2 \cdot \frac{R_A^2}{R_{ЭПР}^2}$$

Измерения ЭПР производились с помощью специально организованного для проведения натуральных экспериментов рабочего места (рис. 5).

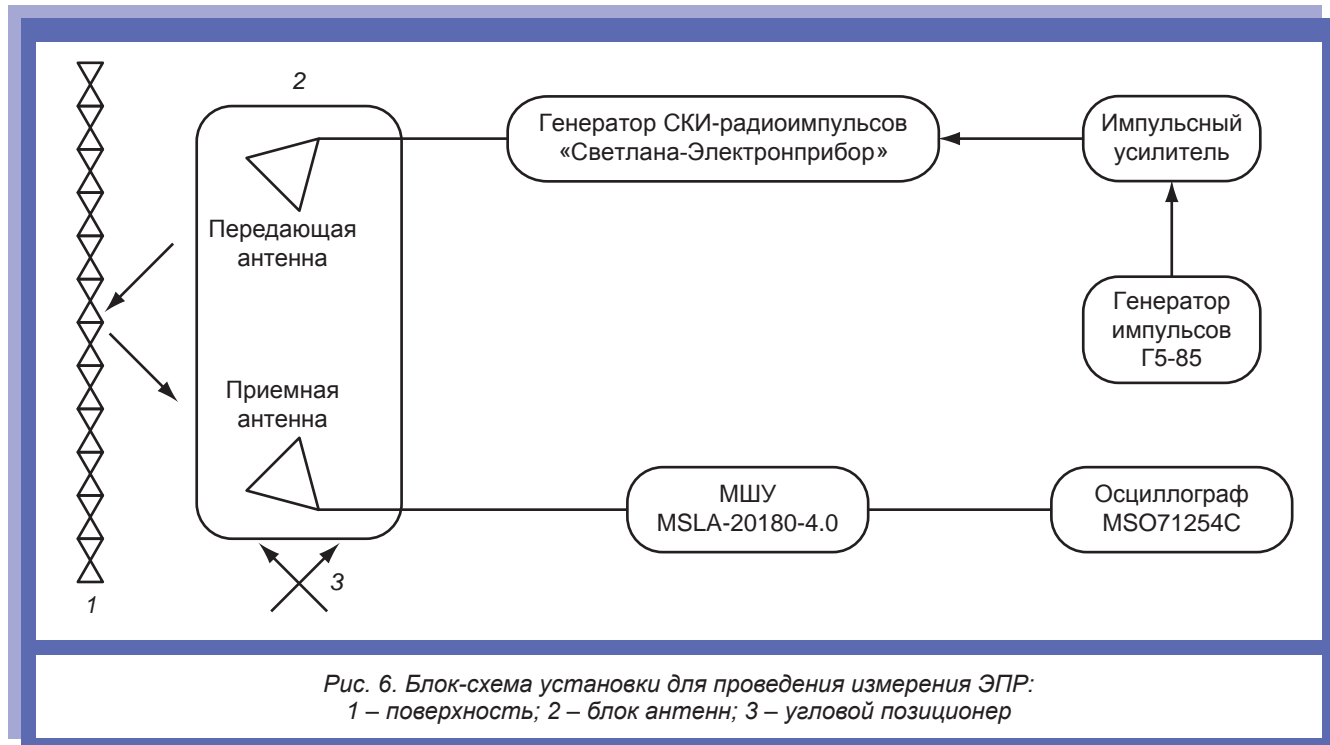
При измерениях использовался передатчик на основе генератора СКИ-радиоимпульсов с рупорной антенной апертурой 80×110 мм.

В приемном канале применялась рупорная антенна с малошумящим широкополосным усилителем MSLA-20180-4.0 (ЗАО «Микроволновые системы») и широкополосным осциллографом MSO71254C «Tektronix».

Угол наклона антенн относительно вертикали равнялся 10°.

Генератор запускался импульсом длительностью 1 нс от генератора Г5-85 амплитудой 1В через импульсный усилитель, построенный на двух микросхемах сверхбыстродействующей логики.

Блок-схема установки для проведения измерения ЭПР при СКИ-локации земной поверхности приведена на рис. 6.



**Таблица 1. Сравнение удельных (нормированных) результатов измерения ЭПР, полученных при узкополосном (данные из литературных источников) и СКИ-зондировании подстилающей поверхности**

Тип поверхности	ЭПР/ $R_{эксп}$ ( $R_{эксп}$ , м)	Удельная ЭПР, дБ ( $\tau = 1,4$ нс)	Удельная ЭПР, дБ Литературные данные [6, 7]
Земля с редкой травой	0,065 (1,63)	-10,1	-18...-10
Земля, подсыхающая, без травы	0,00156 (1,67)	-26,3	-25
Земля, взрыхленная лопатой	0,0085 (1,67)	-18	-18...-10
Земля с ветками	0,033 (1,67)	-13	-18...-10
Асфальт	0,525	-1	$\leq (-10)$

Результаты измерения ЭПР приведены в табл. 1. Значения удельной ЭПР рассчитаны из условия длительности импульса по нулевому уровню, равной 1,4 нс.

Для обеспечения возможности использования результатов измерения ЭПР в табл. 1 приведены нормированные (удельные) значения ЭПР, которые рассчитывались по формуле:

$$\text{ЭПР}(R) = \text{ЭПР}_{\text{эксп}} \cdot \frac{R \cdot \tau_{\text{и}}}{R_{\text{эксп}} \cdot \tau_{\text{и эксп}}}$$

Как следует из приведенных данных, ЭПР поверхностей, измеренных при зондировании СКИ-сигналом, практически не отличаются от ЭПР, измеренных при узкополосном зондировании. Это позволяет использовать данные по ЭПР и основные соотношения узкополосной радиолокации в расчетах сигналов при СКИ-локации.

С учетом полученных выводов был выполнен расчет дальности обнаружения подстилающей поверхности при ее локации маловысотным радиочастотным сверхкороткоимпульсным радаром-высотометром.

Дальность обнаружения оценивалась с учетом тепловых шумов приемного устройства, исходя из неравенства:

$$P_{\text{пр}} \geq k \cdot T \cdot \Delta f \cdot N_{\text{ш}} \cdot (S/N),$$

где  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – шумовая температура в градусах Кельвина;  $\Delta f$  – полоса пропускания входного тракта;  $N_{\text{ш}}$  – коэффициент шума входного тракта;  $S/N$  – отношение сигнал шум.

Для надежного обнаружения отраженного СКИ-сигнала на фоне теплового шума полагалось, что отношение сигнал/шум по мощности  $S/N > 25$  [11].

Уровень шума, создаваемый элементами приемного тракта, оценивался величиной шумовой температуры  $T_{\text{ш}} = T_0(1 - \eta)$ , где  $\eta$  – коэффициент полезного действия, учитывающий потери рассогласования, а также потери в антенне и кабельных линиях. Ориентировочные значения величин потерь для радиолокационных станций приведены в [12]. Общая величина шумовой

температуры определялась суммированием составляющих шумовых температур СВЧ-элементов и антенны:

$$T_{\text{ш}} = \sum_i T_{\text{ш},i}$$

Коэффициент шума входного каскада рассчитывался, исходя из рекомендаций, изложенных в работе [13], и составил  $N_{\text{ш}} = 2,5$  дБ.

При расчете учитывалось, что полоса пропускания радиоприемного устройства составляет 1,5 ГГц.

Расчетное значение теплового шума составило 70 мкВ.

Для проверки справедливости расчетной оценки теплового шума проведено экспериментальное измерение уровня теплового шума в безэховой камере.

Тепловые шумы измерялись ваттметром R&S на выходе малошумящего усилителя MSLA-20180-4.0 (2...20 ГГц), включенного на выход рупорной антенны. Измеренная величина среднеквадратического значения теплового шума составляет 37 мкВ.

Разница в значениях теоретических и экспериментальных оценок объясняется тем, что эксперимент проводился в безэховой камере, т.е. не учитывалось влияние шумов окружающей среды.

Расчет дальностей обнаружения подстилающей поверхностей радаром РЧ СКИ проводился для следующих исходных данных:

импульсная мощность передатчика с несущей частотой сантиметрового диапазона длин волн составляет 0,5 Вт;

максимальная амплитуда генератора радиоимпульса – 5,5...6 В;

полоса пропускания приемного устройства – 1,5...2 ГГц;

максимальный устойчивый коэффициент усиления усилителя приемного устройства приемника прямого усиления – 48 дБ;

коэффициент усиления диско-конусной антенны при расчете – 4;

общий коэффициент передачи усилительно-преобразующего тракта принимался равным произведению коэффициента усиления усилителя на коэффициент преобразования детектора.

На рис. 7 представлены частотная характеристика приемного канала и амплитудная характеристика детектора MD903.

Уровень сигнала на выходе антенны СКИ-радар с совмещенной антенной передатчика и приемника определяется по формуле:

$$P_{пр} = \frac{P_{имп} \cdot \lambda^2 \cdot G^2 \cdot \sigma_{уд} \cdot c \cdot \tau_{имп} / 2}{(4\pi)^3 \cdot R^3},$$

где  $P_{имп}$  – импульсная мощность передатчика;  $G$  – коэффициент усиления антенны.

Равенство получено исходя из известной радиолокационной формулы [10] и соотношения для расчета ЭПР объекта локации:

$$\sigma_{ол} = S \cdot \sigma_{уд},$$

где  $S \approx \pi \cdot R \cdot c \cdot \tau_{имп} / 2$ ;  $\sigma_{уд}$  – удельная ЭПР поверхности.

Для надежного обнаружения отраженного сигнала на фоне шумов (отношение сигнал/шум  $\geq 3$ ) должно выполняться неравенство:

$$P_{пр} \cdot (c/\text{ш}) \cdot K \geq P_{вх},$$

где  $P_{вх}$  – уровень сигнала на входе БИС;  $K$  – коэффициент передачи участка приемного устройства от выхода приемной антенны до входа в БИС.

Коэффициент усиления антенны  $G$  задан конструкцией диско-конусной антенны, исходя из требуемой диаграммы направленности.

Таким образом, для выполнения указанного выше неравенства при требуемом отношении сигнал/шум и задаваемой дальности зондирования выбранного типа земной поверхности необходимо определить  $K$  – коэффициент передачи в приемном устройстве от выхода приемной антенны до входа БИС-устройства обработки сигнала.

С этой целью на основании проведенных измерений величин ЭПР подстилающих поверхностей при их зондировании СКИ-сигналом измерения коэффициентов усиления рупорных и диско-ко-

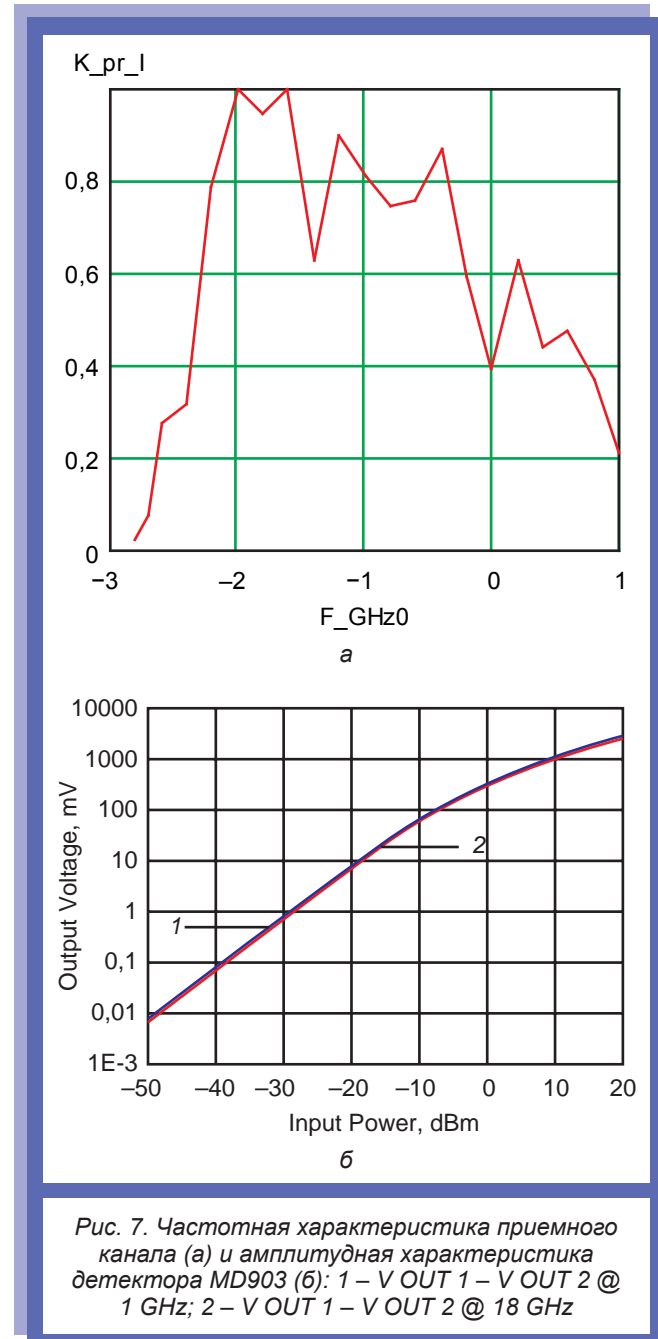


Рис. 7. Частотная характеристика приемного канала (а) и амплитудная характеристика детектора MD903 (б): 1 – V OUT 1 – V OUT 2 @ 1 GHz; 2 – V OUT 1 – V OUT 2 @ 18 GHz

нусой антенн и оценки теплового шума входного усилителя приемного устройства рассчитаны уровни входных сигналов и коэффициенты усиления входных усилителей, обеспечивающих работу детектора и устройства синхронизации и обработки сигнала на основе БИС 1354ХК6.

При пересчете экспериментальных значений мощности  $P$ , напряжения  $U$  и дальности  $R$  к значениям мощности  $P_{пр}$  и напряжения  $U_{пр}$ , соответствующим задаваемой дальности  $R$ , использовались формулы, полученные из соотношений, приведенных выше:

$$P_{пр} = P_{пр\_Эксп} \cdot \frac{P_{имп}}{P_{имп\_Эксп}} \cdot \frac{R_{Эксп}^3}{R^3} \cdot \frac{G^2}{G_{Эксп}^2} \cdot \frac{\tau_{имп}}{\tau_{имп\_Эксп}};$$

$$U_{пр} = U_{пр\_Эксп} \cdot \frac{U_{имп}}{U_{имп\_Эксп}} \cdot \frac{G}{G_{Эксп}} \cdot \sqrt{\frac{R_{Эксп}^3}{R^3} \cdot \frac{\tau_{имп}}{\tau_{имп\_Эксп}}}$$

Значения уровней напряжения и отношения сигнал/шум представлены на рис. 8 в виде графиков зависимости напряжения от дальности

Таблица 2. Уровень входных сигналов

Поверхность	R, м	U <sub>сигн</sub>		Сигнал/шум
		мкВ	дБм	
1	3	92	-67,7	3,1
	5	42,8	-74,3	1,5
	10	15,1	-83,4	0,52
2	3	614	-51,2	21
	5	285,5	-57,9	9,8
	10	101	-67	3,4

до подстилающей поверхности (подсохшая земля – сплошная кривая и земля с редкой травой – пунктирная кривая).

Уровни входных сигналов представлены в табл. 2 (поверхность 1 – подсохшая земля, поверхность 2 – земля с редкой травой).

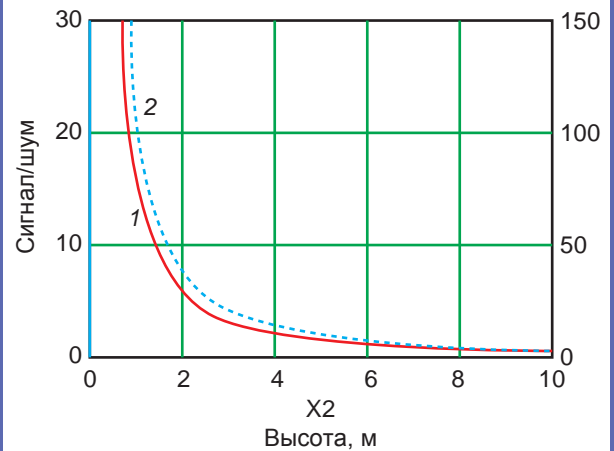


Рис. 8. Значения уровня напряжения и отношения сигнал/шум: 1 – U<sub>pr1\_Shum</sub>(X2); 2 – U<sub>pr2\_Shum</sub>(X2)



Рис. 9. Уточненная структурная схема маловысотного радара РЧ СКИ-высотомера

Расчеты показали, что уровень сигнала на выходе детектора при данной импульсной мощности передатчика на дальностях до 10 м составляет в среднем от 40 до 300 мкВ, что недостаточно для работы БИС-блока цифровой обработки сигнала. Это потребовало включения в структурную схему радара РЧ СКИ-высотомера широкополосного видеоусилителя с коэффициентом усиления более 20 дБ, подключенного к выходу детектора.

Структурная схема маловысотного радара РЧ СКИ-высотомера, отражающая результаты проведенных исследований и выполненных расчетов, представлена на рис. 9.

### ВЫВОДЫ

1. Проведенные лабораторные и натурные исследования с целью получения отсутствующих в открытых публикациях данных по ЭПР различных типов подстилающих поверхностей, облучаемых сверхкороткоимпульсными сигналами, показали, что измеренные при СКИ-локации ЭПР близки к значениям ЭПР-поверхностей, измеренных при узкополосном зондировании. Это позволяет использовать данные по ЭПР и основные соотношения узкополосной радиолокации в расчетах сигналов при СКИ-локации.

2. Дальности обнаружения подстилающих поверхностей, разработанных на отечественной электронной компонентной базе радиочастотным габаритным макетом маловысотного СКИ-радар с диско-конусной антенной и совмещенными каналами передачи и приема зондирующего сигнала, составляют от 3 м (для подсохшей земли) до 10 м (для вспаханной).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иммореев И.Я., Синявин А.Н. Излучение сверхширокополосных сигналов // Антенны. 2001. Вып. 1(47).
2. Козлов Д. Импульсно-когерентный радар A111 от шведской компании Acconeer – впечатляющие технологии будущего [Электронный ресурс] // «Сканти Навигатор в мире электронных компонентов». 2019. URL: <https://www.acconeer.com/products>.
3. СВЧ-переключатель HMC427LP3 // Проспект фирмы Hittite Microwave Corporation, USA.
4. СВЧ-переключатель HMC347ALP3E // Проспект фирмы Analog Devices, USA.
5. Каталог антенных устройств ООО СНИЦ РЭС «Завант». Смоленск, 2016.
6. Мельник Ю.А. Радиолокационные методы исследования Земли. М.: Советское радио, 1980.
7. Зубкович С.Г. Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. М.: Советское радио, 1968.
8. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / под ред. О.И. Сухаревского. Харьков: ХУВС, 2009.
9. Андришин О.Ф., Иванцов А.А., Фабричный М.Г. Имитация отраженного СКИ сигнала при полунатурном моделировании процесса ближней локации в СШП диапазоне // Боеприпасы. 2018. № 1.
10. Дулевич В.Е. Теоретические основы радиолокации. М.: Советское радио, 1964.
11. Залогин Н.Н., Кислов В.В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. М.: Радиотехника, 2006.
12. Перунов Ю.М., Мацукевич В.В., Васильев А.А. Зарубежные радиоэлектронные средства. М.: Радиотехника, 2010. Кн. 1–4.
13. Руденко В.М. Электромагнитная доступность к источникам радио и радиотехнических излучений Гелиос АРВ. М., 2009.



---

---

## ИНЖЕНЕРНЫЕ БОЕПРИПАСЫ

---

---

УДК 536.495

# ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗАРЯДОВ РАЗМИНИРОВАНИЯ ПУТЕМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУР

Канд. воен. наук *И.В. СПИРИН, М.Г. САУТИНА*  
(АО «Научно-исследовательский инженерный институт»)

*Приводятся особенности подготовки исходных данных и проведения вычислительных экспериментов по нескольким вариантам моделирования полей температур работающего реактивного твердотопливного двигателя при подаче заряда разминирования на минно-взрывное заграждение по воздуху. Используются модули инженерного анализа программно-методического комплекса «Двойник-МУЗР». Предлагаются целесообразные варианты конструктивных решений по теплозащите элементов удлиненных зарядов разминирования, основываясь на результатах вычислительных экспериментов.*

**Ключевые слова:** ИНЖЕНЕРНЫЙ БОЕПРИПАС; ЗАРЯД РАЗМИНИРОВАНИЯ; РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ; ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУР; ТЕПЛОЗАЩИТА.

Теплозащиту различной конструкции имеют все состоящие на вооружении удлиненные заряды взрывного разминирования (УЗВР), разработанные АО «НИИИ» (рис. 1):

УЗП-77 – ОКР «Метеорит», 1978 г., для гусеничной самоходной установки разминирования УР-77;

УЗП-83 – ОКР «Подвязка», 2001 г., для прицепной установки разминирования УРП-01, или для переносной (возимой) установки разминирования УР-83П;

ЗРП-2 – ОКР «Тропа», 1985 г., индивидуальный переносной комплект разминирования [1].

Теплозащита обеспечивает сохранение функциональных свойств зарядов разминирования, при воздействии на них высоких температур и интенсивного эрозионного износа (рис. 2) [2].

Залогом успешного и эффективного решения задач частями и подразделениями Инженерных войск является их оснащённость современными специальными боеприпасами.

Прогнозно-поисковые исследования, проводимые в отрасли боеприпасов, не выявили тенденций перехода к разминированию с использованием новых (отличных от энергии взрыва) физических принципов. Это подтверждает



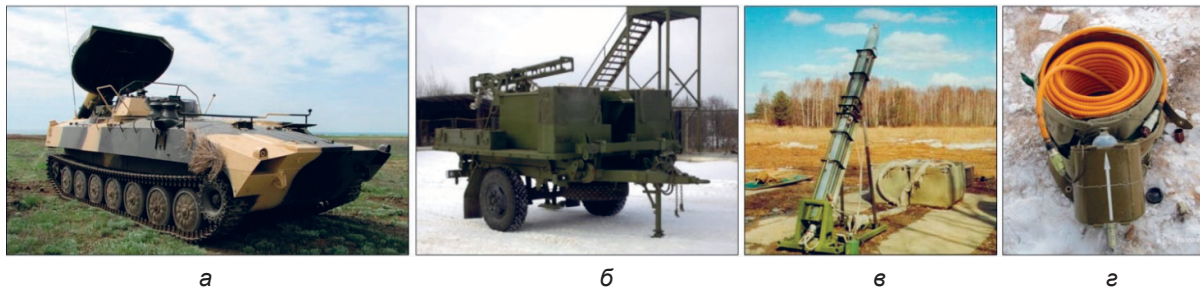


Рис. 1. Средства разминирования, состоящие на вооружении: а – УР-77; б – УРП-01; в – УР-83П; г – ЗПР-2



Рис. 2. Элементы удлиненных зарядов после запуска

актуальность и перспективность сохранения технологий производства и конструктивного совершенствования УЗВР.

Сегодня нет основания для прорывной эволюции в вопросах подачи заряда на минное поле по воздуху, а поэтому использование проверенной временем технологии твердотопливных реактивных двигателей будет продолжено. Более того, необходимость решения задачи теплозащиты в ходе создания перспективных УЗВР подтверждают актуальность темы статьи.

Все вычислительные эксперименты, упоминаемые в настоящей статье, проводились с помощью составных элементов программно-методического комплекса «Двойник-ПС», а именно модулей инженерного анализа, которые были разработаны на основе программного комплекса

(ПК) «Логос» [3] в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в период с 2018 по 2020 г. [4].

Вычислительно-экспериментальные работы начинались с целью совершенствования штатной методики ПК «Логос», определения работоспособности в условиях задачи и сходимости получаемых результатов с экспериментальными данными [5]. На основании первичных результатов цель была откорректирована с углублением в практическую область.

Каждый вычислительный эксперимент предполагает последовательное выполнение следующего алгоритма из пяти пунктов:

- построение геометрической модели;
- создание дискретной (сеточной) модели;
- постановка задачи или формирование физико-математической модели;

проведение вычислений;  
анализ полученных результатов.

Для всех проведенных вычислительных экспериментов были характерны следующие особенности.

1. При построении геометрических моделей (в основном – в программе «FreeCAD») (рис. 3) твердотопливный двигатель и каждое из сопел в отдельности представлялись осесимметричным телом вращения. На всех обтекаемых поверхностях конструкции (кроме внутренней поверхности сопел) максимально упрощались или исключались все элементы малого размера (резьба, крепежные отверстия и элементы, приливы, притупления, фаски и пр.). Все тела сборки объединялись с удалением внутренних (замкнутых) полостей и границ сопряжения.

Для статьи отобраны наиболее характерные варианты геометрических моделей, отличающиеся расположением соплового блока (в головной или хвостовой частях) и количеством двигателей, используемых для подачи (1 или 4).

Характерность вариантов определяется граничностью по диапазонам исходных данных постановки задач.

Геометрия внутренней поверхности и продольная ориентация оси сопла сохранялись неизменными для всех моделей.

После построения геометрических моделей они экспортировались в формат «\*.step» или «\*.stp» с исключением всех элементов (эскизы, размеры, вспомогательная геометрия, грани и пр.), кроме твердых тел.

Область (регион) продувки формировалась непосредственно в модуле инженерного анализа

«Двойник-ПС» с линейными размерами, превышающими характерные размеры моделей двигателей в 5–10 раз, и осевой цикличностью в 90°.

2. Дискретные (сеточные) модели создавались с помощью унаследованных от ПК «Логос» средств модулей инженерного анализа ПМК «Двойник-ПС» после импорта файлов «\*.step» и проверки качества геометрической модели (отсутствие открытых объемов, вырожденных ребер, свободных вершин, незамкнутых контуров и пр.).

Во всех перечисляемых случаях использовался генератор упорядоченной гексаэдральной сетки посредством метода отсечения, как наиболее устойчивого в работе и надежного по результативности. Области пристеночных течений формировались не менее чем из 3-х призматических слоев с толщиной от 0,03 до 0,07% относительно базового размера ячейки и коэффициентом роста толщины не более 1,2. Для четырехдвигательного варианта применялись регионы дополнительного измельчения в форме параллелепипедов, расположенных в местах предполагаемого «соединения» факелов от различных сопел.

После генерации выполнялись обязательные проверки качества дискретной модели (величина безразмерного расстояния до стенки на поверхности двигателя и сопел от 10 до 100, отсутствие дублирующихся узлов, ребер и ячеек, отсутствие ячеек с отрицательным объемом и вырожденных и т.п.).

Примеры дискретных моделей для различных вариантов и этапов генерации представлены на рис. 4.

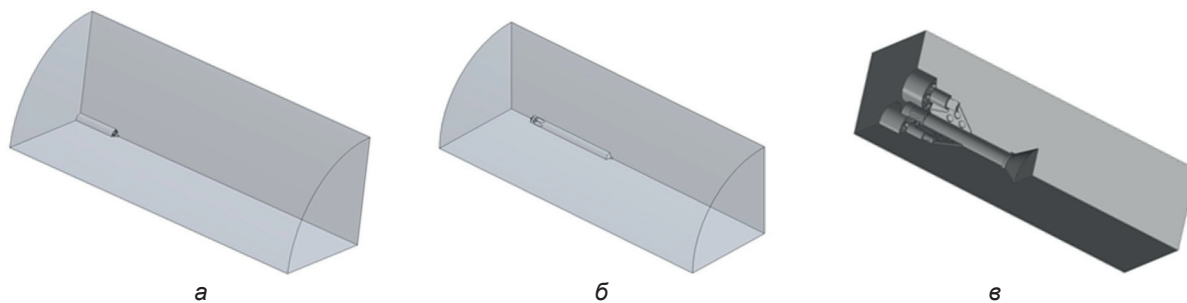


Рис. 3. Геометрические модели: а – 1 двигатель, задние сопла; б – 1 двигатель, передние сопла; в – 4 двигателя, задние сопла

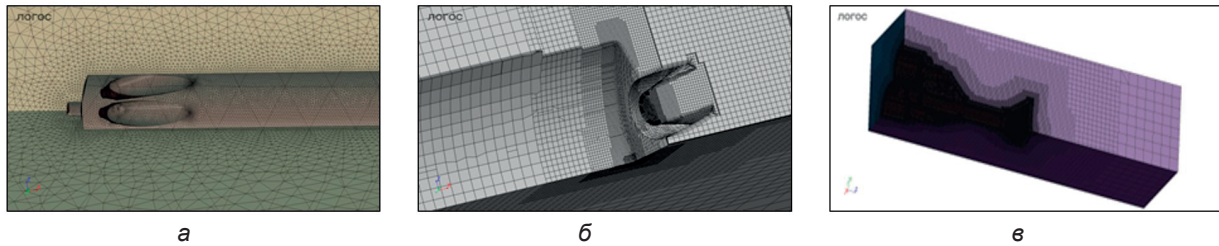


Рис. 4. Дискретные модели: а – поверхностная для одного двигателя с головными соплами; б – объемная для одного двигателя с задними соплами; в – объемная для четырех двигателей

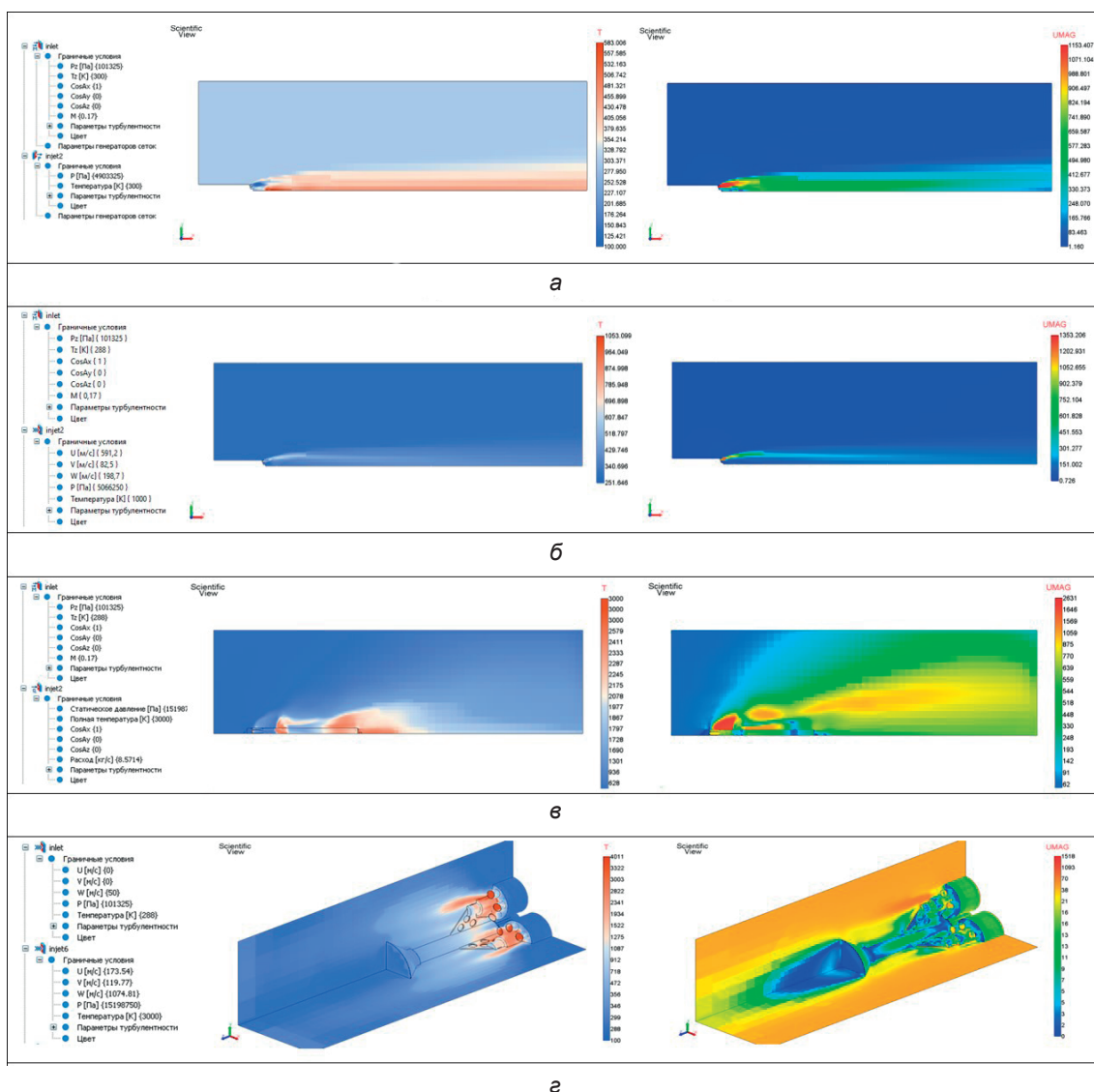


Рис. 5. Результаты решений для различных вариантов и условий: а – inlet – свободный поток, injet и outlet – давление; б – inlet – свободный поток, injet – сверхзвуковой вход, outlet – давление; в – inlet – свободный поток, injet – массовый расход, outlet – давление; г – inlet и injet – сверхзвуковой вход, outlet – давление

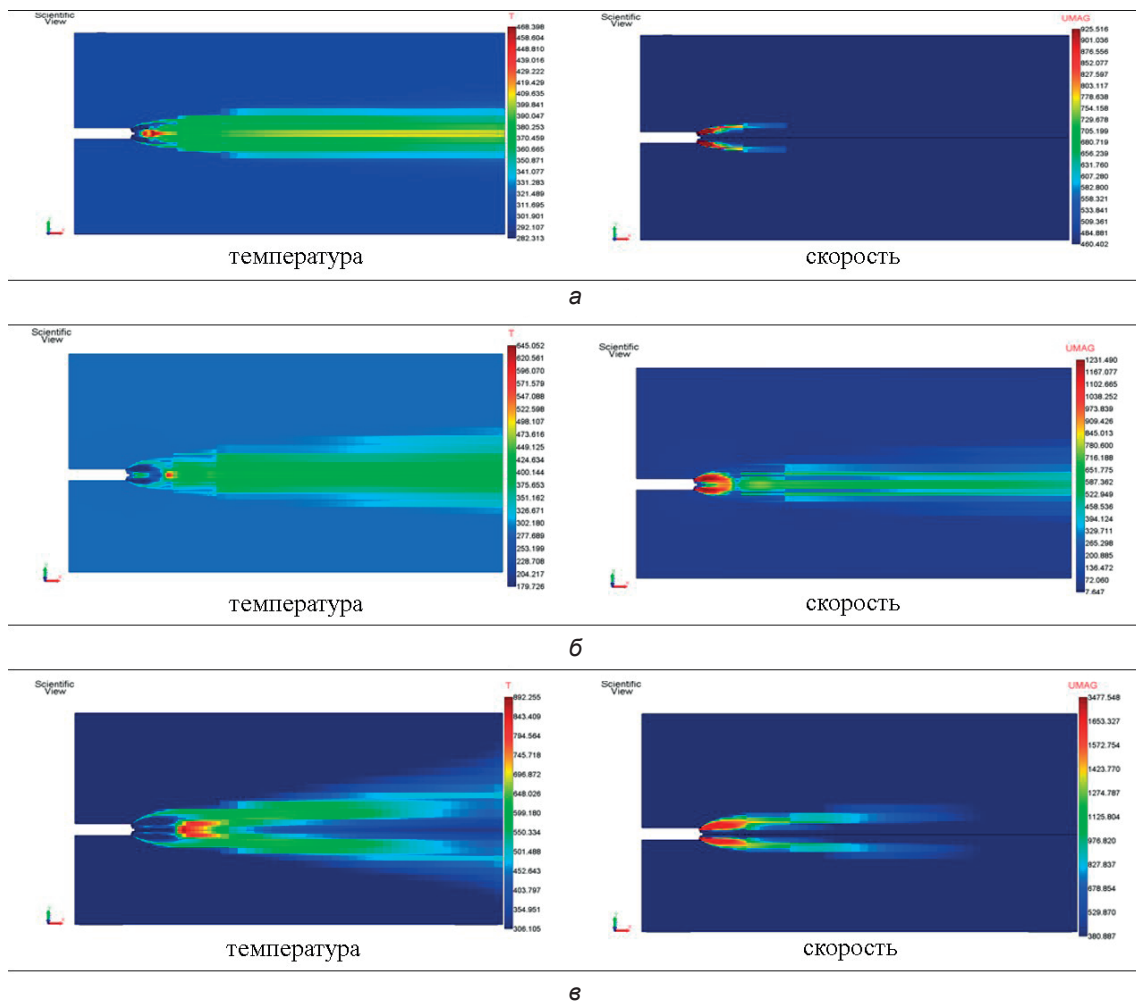


Рис. 6. Распределения параметров для сочетания «свободный поток – сверхзвуковой вход – давление»: а – давление 1; б – давление 2; в – давление 3

3. Формирование физико-математической модели включает задание свойств материалов, граничных условий, режимов работы решателей, периодичности сохранения результатов и данных для перезапуска.

Набор граничных условий отличается от стандартной аэродинамической задачи наличием одновременно нескольких «граней-входов» – границы региона продувки (inlet) и срезов на границе расширяющихся частей сопел (injet).

Вход inlet имитирует полет двигателя (обтекание набегающим потоком со скоростями в несколько десятков м/с), а injet – истечение газов из сопел работающего двигателя.

Остальные грани описывались традиционно для газодинамических задач: выход (outlet) –

фиксированное давление; symmetry – для двух плоскостей симметрии; все обтекаемые поверхности (wall) – «стенка без проскальзывания».

В задачах использовались различные сочетания условий на «входе–выходе»: «свободный поток – давление – давление», «сверхзвуковой вход – давление – давление», «свободный поток – массовый расход – давление» и т.п.

Установить наиболее устойчивое (универсальное) сочетание условий для всех вариантов в ходе проведенных вычислительных экспериментов не представилось возможным. Все задачи вынужденно решались поитерационным совершенствованием физико-математической модели в соответствии с рекомендациями пользователям ПК «Логос» [6].

Некоторые варианты и полученные для них визуализации результатов представлены на рис. 5. Применение разных сочетаний граничных условий приводит к результатам, сходящимся с полигонными или огневыми стендовыми экспериментами.

Эксперименты показали, что наибольшей схожести при удовлетворительной устойчивости решения удалось достичь при сочетании «свободный поток – сверхзвуковой вход – давление».

Визуализация результатов этого сочетания условий для различных параметров давления на «сверхзвуковом входе» приведена на рис. 6.

Даже самые жаростойкие конструкционные материалы не выдержат длительного воздействия продуктов сгорания ракетного топлива в двигателях.

Особенности вариативной постановки и решения задач, выявленные в процессе проведения серии вычислительных экспериментов, целесообразно учитывать в ходе дальнейшего совершенствования методического аппарата.

## ВЫВОДЫ

В ходе обработки результатов экспериментов в достаточной для практического использования степени сделаны следующие выводы:

1. С точки зрения теплозащиты элементов конструкции УЗВР предпочтительнее считается тянущая схема размещения сопел. Для установившихся режимов работы двигателя она позволяет снизить значения температур на поверхности секции на 20...30%. Вывод полностью подтверждается ранее проведенными практическими экспериментами [7].

2. Более неблагоприятными по теплозащите режимами стали низкие (отрицательные) температуры твердотопливного заряда двигателя, которые приводят к дальнейшим изменениям: практически незначительному (менее 2%) по амплитуде снижению температур на поверхности конструкции заряда; продолжительностью воздействия нагрузок – до 30% дольше, чем у «теплого» двигателя.

Вывод косвенно подтверждается экспериментально полученными данными [8, 9].

3. Требуется дополнительное исследование и конструкторско-технологическая проработка перераспределения полей температур и скоростей за счет осесимметричного или периодич-

но-симметричного увеличения угла отклонения сопел от оси симметрии двигателя. Потенциал снижения тепловых нагрузок достигает 50% при значительном уменьшении полезного импульса тяги двигателя, а, следовательно, достижимой дальности подачи заряда по воздуху.

Детализация результатов, получаемых методами численного моделирования, обеспечивает практическую возможность учета условий функционирования теплозащиты составных элементов зарядов разминирования, что дает весомые обоснования для принятия конструкторских решений. Исходя из полученных данных, определены элементы конструкции заряда разминирования, которые, попадая под высокотемпературное воздействие реактивной струи, формируют адаптивно-неравномерную теплозащиту.

Ограничений для использования результатов вычислительных экспериментов и выводов в ходе перспективных разработок УЗВР не выявлено.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт Минобороны России [Электронный ресурс]. URL: <https://structure.mil.ru/structure/forces/ground/weapons/engineer> (дата обращения 26.10.2022).
2. Протоколы испытаний, проведенных на этапе технического проектирования. Приложения к пояснительной записке технического проекта ОКР «Разрез». Балашиха: АО «НИИИ», 2017.
3. Техническое руководство ПК «Логос» (из состава дистрибутива ПМК «Двойник-ПС» – версия 5.3.19, сборка 2399). Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2020.
4. Акт ввода программно-методического комплекса «Двойник-ПС» в опытную эксплуатацию. Балашиха: АО «НИИИ», АО «НПК «Техмаш», 2020.
5. Техническое задание на СЧ НИОКР «Двойник-МУЗР». М.: АО «НПК «Техмаш», 2021.
6. Официальный сайт ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» [Электронный ресурс]. URL: <http://logos.vniief.ru/products/logos/> (дата обращения 26.10.2022).
7. Фахрутдинов И.Х. Ракетные двигатели твердого топлива. М.: Изд-во «Машиностроение», 1981.
8. Пояснительная записка к техническому проекту по ОКР «Разработка удлиненного заряда разминирования». Балашиха: АО «НИИИ», 2017.
9. Программа и методики предварительных испытаний модульного удлиненного заряда разминирования (МУЗР). ОКР «Разрез». Дополнение № 1. Балашиха: АО «НИИИ», 2019.

---

---

## БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

---

---

УДК 629.7.05:004.94; 623.76

### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗАРУБЕЖНОЙ БЕСПИЛОТНОЙ БОЕВОЙ АВИАЦИИ

Канд. техн. наук С.С. СЕМЕНОВ,

(АО «Государственное научно-производственное предприятие «Регион»),

д-р техн. наук, проф. С.М. МУЖИЧЕК

(ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»)

*Сформированы требования, предъявляемые к ударным беспилотным летательным аппаратам и их боевому применению. Представлена новая концепция ведения воздушных боевых действий с использованием смешанных групп из пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов с развитым искусственным интеллектом. Также изложена зарубежная концепция построения опционально пилотируемых многофункциональных истребителей и бомбардировщиков 5–6-го поколений. Целью данной статьи являются анализ материалов открытой печати и изложение новых концептуальных положений создания и боевого применения беспилотных летательных аппаратов и беспилотной авиации на ближайшую и дальнюю перспективу, вплоть до 2045 г.*

**Ключевые слова:** БЕСПИЛОТНАЯ АВИАЦИОННАЯ СИСТЕМА; БЕСПИЛОТНЫЙ БОЕВОЙ САМОЛЕТ; КОМПЛЕКС БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ; БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ; ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ; НАДЕЖНЫЙ ВЕДОМЫЙ; ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПИЛОТИРУЕМЫМИ.

#### О ПРОБЛЕМАХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ БОЕВЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ознакомление с аналитическими исследованиями и статьями в периодической печати последних лет, посвященными беспилотной авиации, позволяет оценить текущее состояние

работ в этой области и перспективы ее развития. Первенство в развитии беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в мире связывают с США. Европейские программы создания боевых БЛА отстают от американских на 10–12 лет. Китай стремится занять одно из лидирующих мест в данной области. Тридцатилетний опыт разработки разведывательных, разведывательно-ударных и ударных БЛА и результаты их боевого

применения в Афганистане и Ираке показали, что они заняли важное место в системе вооружения ВВС и армии США.

В начале XXI в. роль БЛА значительно возросла, особенно в локальных военных конфликтах. Активное применение БЛА в качестве носителя авиационных средств поражения (АСП) стало поводом для внедрения таких систем в воздушном пространстве районов боевых действий. БЛА могут использоваться в боевых условиях, при этом они существенно отличаются от пилотируемых летательных аппаратов (ЛА) из-за способности выполнять маневрирование с большими перегрузками при продолжительных боевых действиях и длительных полетах.

Например, в Афганистане количество АСП, сброшенных с БЛА, превышает количество АСП, сброшенных с обычных боевых ЛА [1]. Из общего количества АСП, израсходованных в Афганистане в 2015 г., примерно 56% сброшены с БЛА. В 2011 г. этот показатель составлял только 5%. В 2015 г. с БЛА в Афганистане сброшено и запущено всего 530 авиабомб и управляемых ракет (УР), что составляет половину от аналогичного показателя 2014 г., когда было сброшено максимальное количество АСП. В период активных боевых действий в Афганистане в первом квартале 2016 г. из почти 300 АСП, израсходованных ВВС, на БЛА пришелся 61%.

Преобладающее положение в парке БЛА большинства зарубежных ВВС занимают тактические аппараты. Например, в вооруженных силах США они составляют более 95% от всего парка. Наибольший прогресс в области тактических БЛА достигнут благодаря бурному развитию микропроцессорной техники, миниатюризации радиоэлектронной компонентной базы, микромеханических устройств, датчиков, маршевых двигателей, приводных высокоэффективных электродвигателей, источников электропитания, композиционных материалов.

На сегодняшний день разработка тактических БЛА (около 300 проектов) осуществляется в более 30 странах мира, но разведывательно-ударные и ударные БЛА разрабатываются, как показали исследования, лишь в 20-ти.

Фирмы «Боинг» и «Дженерал Атомикс Аэронотикл Системс» выступают на рынке с БЛА, имеющими традиционный конструктивно-аэ-

родинамический облик, а компании «Локхид Мартин» и «Нортроп Грумман» предлагают конструкции типа «летающее крыло» с возможностями скрытного полета.

Программы по созданию БЛА получают поддержку со стороны МО США, которое рассматривает их финансирование как «инициативы с высоким приоритетом» (3,8 млрд в 2013 г.). Согласно планам американского военного командования предполагалось, что к 2025 г. парк стратегической авиации на 45% будет состоять из БЛА [2].

Тем не менее есть признаки того, что ведущая роль БЛА в основополагающих концепциях ведения военных операций США начинает ослабевать [3]. Прямая конкуренция между программами создания традиционных пилотируемых самолетов и БЛА продолжает расти, хотя программы по созданию БЛА столкнулись с определенными бюджетными проблемами. Специалисты прогнозируют наступление «периода охлаждения» в отношении инвестиций правительства США в программы БЛА. Важное значение при этом имеет статус БЛА и их пилотов в американских ВВС. Дело в том, что первоначально дистанционно-пилотируемые ЛА не считались самолетами и пилоты ВВС к операторам БЛА относились как к авиатехникам.

Разработки беспилотного боевого самолета (ББС) в США ведутся из-за нехватки летчиков – 1555 пилотов, из которых 1211 – истребители [4]. Эксперты считают, что БЛА по-прежнему будут применяться только для наблюдения и разведки, подавления противовоздушной обороны (ПВО) противника, целеуказания, контроля результатов авиаударов и выполнения других боевых задач в локальных конфликтах. Они также уверены в том, что в обозримом будущем не предвидится полного отказа от пилотируемой авиации при проведении боевых операций.

*«Боевые БЛА, несомненно, способствуют росту боевой мощи ВВС, – заявил руководитель дирекции программ боевой авиации Объединенной авиастроительной компании, генерал армии в отставке, Герой России В. Михайлов. – Однако они все еще далеки от действительно эффективных ударных пилотируемых систем.*

Из-за свойственных недостатков их роль заключается в обеспечении действий боевой пилотируемой авиации, а также в нанесении ударов по объектам противника в относительно несложной обстановке» [5]. Он отметил, что применение боевых БЛА будет проблематичным в условиях сложной воздушной, информационной и помеховой обстановки, характерной для конфликтов с сопоставимым противником, способным не только обеспечивать мощное радиоэлектронное подавление систем связи, управления, разведки и целеуказания, но и уничтожать околоземную группировку спутников связи и навигации. Проблемы с проведением дальнейших исследований связаны с необходимостью иметь уверенность, что перспективный ББС сможет сохранять живучесть и действовать эффективно в воздушном пространстве с выполнением ударных задач.

Мнение военных экспертов существенно отличается от информационной эйфории на страницах печати: «Эти летательные аппараты создавались и имели преимущество только при строго определенных условиях, вне которых они, как и «самолеты-невидимки», есть обычные воздушные мишени» [6]. Условие, при котором «дроны», «самолеты-невидимки» и прочая подобная техника имеют неоспоримые преимущества и позволяют решать реальные задачи, всего одно: противник не должен обладать хотя бы элементарными средствами борьбы с ними, у него не должно быть абсолютно никаких средств противодействия. БЛА являются малоскоростными и достаточно заметными, несмотря на особую конструктивную форму и использование композиционных материалов. На сегодняшний день на вооружении разных стран стоят зенитные ракетные комплексы, способные бороться с БЛА различных классов, а также вести радиоэлектронную борьбу (РЭБ) [6–8]. Необходимо время на осмысление и выработку тактики боевого применения БЛА в современных военных конфликтах с высокотехнологичным противником. Поэтому БЛА пока что остаются относительно слабой альтернативой существующим ЛА в сфере боевой авиации. Чтобы повысить эффективность их применения, от ВВС США, например, потребуется время и значительное финансирование разработки новой концепции ведения

боевых действий и развитие нанотехнологий в предположении, что окупаемость создания БЛА в долгосрочной перспективе будет достаточно высока [3].

Появилось много публикаций, посвященных исследованиям по созданию и боевому применению разведывательно-ударных и ударных БЛА. Однако все они отражают уже сложившуюся концепцию. Сегодня сформированы новые взгляды на развитие беспилотной авиации, включая интеграцию БЛА с пилотируемыми самолетами и использование искусственного интеллекта (ИИ) в системе управления (СУ) [9].

При принятии решений в перспективе, как полагают в ВВС США, будут основываться не на том, станет ли новый самолет пилотируемым или беспилотным, а на том, будет ли он вносить свой вклад в будущие требования к эффективному выполнению боевых задач. Так, например, в 2013 г. в ВВС обсуждались планы создания «опционально пилотируемого» бомбардировщика большой дальности (программа LRS), известного как MQ-X, на который МО США наложило ограничение по цене на единицу в 550 млн долларов.

Различают «опционально пилотируемые» и «адаптированные пилотируемые» ЛА, причем первый термин означает, что ЛА разработан с таким расчетом, что может пилотироваться как летчиком, так и дистанционно оператором, а второй – ранее созданный пилотируемый ЛА, преобразованный в беспилотный.

### **ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К УДАРНЫМ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ И ИХ БОЕВОМУ ПРИМЕНЕНИЮ**

Согласно предварительным оценкам, в следующем десятилетии ежегодные расходы на производство и эксплуатацию комплексов беспилотных летательных аппаратов (КБЛА) увеличатся почти вдвое (с 6,6 до 11,4 млрд долларов).

В ближайшие 10 лет рынок БЛА составит 89 млрд долларов.

Увеличение дальности и продолжительности полетов, всеракурсная малозаметность и расширенное сетевое взаимодействие делают воз-



возможным для КБЛА выполнение задач разведки, ведение радиоэлектронной борьбы и нанесение ударов на любой дальности, в разных условиях, при борьбе с любым боевым средством противника.

Современные многофункциональные БЛА оснащаются бортовыми датчиками по выбору заказчика в зависимости от решаемых задач, что делает их доступными для стран с ограниченными экономическими ресурсами, где имеется небольшой опыт работы с перспективной электроникой. Такие БЛА способны выполнять не только разведывательные задачи и задачи РЭБ, но и осуществлять долгосрочную радиоэлектронную (SIGINT) и радиотехническую (ELINT) разведки, а также вести сбор информации и наблюдение (ISR). Наблюдение с помощью БЛА в режиме реального времени – одно из наиболее важных преимуществ их использования, позволяющее видеть полную картину боевых действий, включая передвижения собственных войск и войск противника в формате «здесь и сейчас».

Основная особенность развития боевых современных средневысотных БЛА заключается в устойчивом росте максимальной взлетной массы, полезной нагрузки (ПН), расширении диапазона скоростей и высот за счет замены поршневых двигателей на турбовинтовые.

*«В период до 2040 г. боевым БЛА станет доступно выполнение задач автономного преодоления многоэшелонированной и многослойной системы ПВО и нанесения ударов по объектам в глубине обороны противника, – дает свой прогноз руководитель дирекции программ боевой авиации ОАК В. Михайлов [5]. – Успешному преодолению ПВО во многом будет способствовать реализация технологий малозаметности и потенциальные возможности маневрирования БЛА с более высокими, чем у пилотируемых ЛА, перегрузками при выполнении противоракетных и противозенитных маневров».*

К КБЛА нового поколения предъявляются следующие требования:

возможность реконфигурации базовой беспилотной платформы для БЛА;

полная интеграция с пилотируемыми ЛА по технологии МUM-T: взаимодействие пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов в ходе ведения боевых операций;

использование автоматизированного управления и модулей ПН, представляющих собой отсеки для размещения оборудования и АСП, обеспечивающие максимальные боевые возможности, гибкость и эффективность;

возможность функционирования в опасных условиях;

обеспечение высокой маневренности;

возможность барражировать над целью в течение длительного времени и наносить удары АСП по объектам противника;

обеспечение функционирования размещенных на БЛА датчиков и АСП по принципу «find, fix, finish» («найти, прицелиться, поразить цель»);

использование технологий малозаметности в радиолокационном и инфракрасном диапазонах; скрытность полетов;

использование перспективной технологии, исключающей поражение от дружественного огня;

возможность контроля окружающего воздушного пространства;

более эффективная операционная совместимость со средствами поражения;

высокая эффективность за счет улучшенных тактико-технических характеристик (ТТХ) и большей степени автоматизации;

повышенная боевая живучесть;

малая численность персонала управления [4].

В прошлом БЛА разрабатывались для выполнения конкретных задач, из-за чего возникали трудности в их применении для решения дополнительных задач. Для внедрения новых систем требовалось сохранять и обслуживать производственные линии и обеспечивать проектную поддержку для большого количества разных типов БЛА с различными ТТХ и бортовыми датчиками.

Современным требованием является необходимость разработки многоцелевых платформ, что предусматривает использование только двух или трех типов БЛА, которые легко адаптируются к выполнению различных задач.

Платформы могут различаться по типу силовой установки, конструкции планера, запасу топлива, дополнительным аппаратным средствам и программному обеспечению (ПО), а потому только небольшое число БЛА может

выполнять разнообразные сложные задачи. Многоцелевая реконфигурируемая беспилотная платформа окажет положительное воздействие на стоимость жизненного цикла БЛА, поскольку предстоит обслуживать меньшее количество БЛА разных моделей.

Ключевым направлением развития БЛА и одним из основных требований к перспективной беспилотной авиации называют возможность их группового применения [10]. Это подразумевает совместные согласованные действия группы аппаратов, направленные на решение общей задачи. Главным преимуществом группового использования БЛА является возможность достижения синергетического эффекта, состоящего в существенном увеличении боевого потенциала группы по сравнению с единичным применением.

Групповое использование БЛА предполагает также выполнение боевой задачи совместно с пилотируемым ЛА. Использование БЛА в боевых условиях может быть совместным, автономным и интегрированным.

*Совместное применение* пилотируемого ЛА и БЛА по схеме MUM-T заключается в том, что БЛА («ведомый») решает поставленную задачу под непосредственным контролем экипажа взаимодействующего самолета («ведущий»).

*Автономное использование БЛА* предусматривает выделение одного БЛА в качестве ведущего при минимальном участии человека, но при сохранении за ним функции управления всей группой БЛА.

*Интегрированное* – заключается в согласованном по месту и времени действий роботизированных БЛА, принадлежащих разным видам вооруженных сил и действующих по единому плану в интересах достижения общей цели.

В ходе будущих боевых операций задачи в воздушной, наземной, надводной сферах будут распределяться между автономными беспилотными средствами и боевыми комплексами с экипажами. Новая концепция ведения боевых действий в воздухе предполагает отказ от применения высокотехнологичных пилотируемых ЛА, проекты которых обычно характеризуются высокой стоимостью, продолжительными сроками разработки и малосерийными закупками, в пользу смешанных групп, состоящих из пилотируемых авиационных платформ и более дешевых

БЛА, способных к оперативному развертыванию и модернизации на основе новейших технологий и меняющегося спектра угроз. Будущие поколения истребителей-дронов станут быстрее во всех отношениях, поскольку пилот будет самым слабым местом – физиологически и интеллектуально – в боевой машине.

Несмотря на очевидные достоинства группового применения, оно пока не нашло широкого внедрения в практику в силу неразрешенных проблем методического и технического характера.

В США, Великобритании, Франции, Германии, Китае, Японии и России разработка «ведомого» БЛА с ИИ для совместного применения с пилотируемым ЛА признана перспективной, она позволяет минимизировать потери в ходе боевых действий, а совершенствование данной технологии возможно позволит в дальнейшем полностью перейти к ББС.

Исследовательская лаборатория ВВС США (AFRI) уже выпустила презентацию, в которой рассказывается о сценариях применения БЛА «Скайборг». Исполнительный директор ВВС США по закупкам Уил Ропер заявил, что истребители пятого поколения F-22 «Рэптор» и F-35 будут взаимодействовать друг с другом посредством ведомого БЛА, оснащенного перспективной системой ИИ, создаваемой в рамках программы «Скайборг» [11]. Она предполагает, что новые БЛА с 2030 г. должны прийти на смену устаревающим разведывательно-ударным БЛА MQ-9 «Рипер». Одним из БЛА, отвечающих концепции «Скайборг», является прототип XQ-58A «Валькирия».

#### **ПРОГРАММЫ РАБОТ В ОБЛАСТИ БЕСПИЛОТНОЙ БОЕВОЙ АВИАЦИИ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПИЛОТИРУЕМОЙ И БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ КАК ШАГ К ПОЛНОСТЬЮ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ**

**США.** Разработкой проектов по созданию перспективных истребителей занимаются ВМС, а истребителей и бомбардировщиков – ВВС США. ВМС США считают, что истребитель нового поколения станет самостоятельным проектом без участия ВВС по причине различия оперативных задач [12].



Рис. 1. Внешний облик истребителя 6-го поколения фирмы «Локхид Мартин»



Рис. 2. Концепция истребителя 6-го поколения фирмы «Боинг»

Истребитель 6-го поколения NGAD (Next Generation Air Dominance) – «самолет вторжения для борьбы с авиацией противника» необходим ВВС для достижения превосходства в воздухе при выполнении боевых задач по глубокому проникновению в воздушное пространство противника во время интенсивных боевых действий с прорывом его системы ПВО.

ВМС не планируют использовать свой истребитель NGAD в таком качестве и отмечают дороговизну предлагаемого проекта ударного самолета с очень высокой степенью малозаметности (предположительно без вертикального стабилизатора), который флоту не требуется. Флоту необходим авиационный боевой комплекс для нанесения ударов с воздуха на большую глубину по новейшим средствам противника с применением УР большой дальности.

На истребителях 6-го поколения ВМС и ВВС не исключается применение некоторых общих бортовых систем РЭБ и радиолокационных станций (РЛС), а также сетевого оборудования и оружия. Предполагается, что истребитель NGAD будет использоваться совместно с самолетами F-35B и F-35C. Присвоение самолету NGAD статуса 6-го поколения ВМС рассматривают как результат анализа альтернатив AoA (Analysis of Alternatives) будущего авиационного комплекса.

Одна из основных целей проекта NGAD – поиск такой же прорывной технологии, какой в середине 1980-х гг. стала технология «стелс». Несмотря на различие концептуальных подходов к облику истребителей 6-го поколения, их объединяет использование одних и тех же

новейших технологий: малозаметный планер и управляемое оружие большой дальности. Такая тенденция в создании конструкции по технологии «стелс» хорошо просматривается в облике новейшего истребителя 6-го поколения фирмы «Локхид Мартин» на базе аэродинамической схемы «летающее крыло» с плавным переходом от крыла к фюзеляжу (рис. 1) [13].

Концепция истребителя NGAD 6-го поколения фирмы «Боинг». Специалисты ВВС США приступили к выработке требований к будущему истребителю, который планируется создать в 2040-х гг. [14, 15]. Проектирование самолета, именуемого NGAD, находится на начальном этапе. Работа ведется «Совместной группой по исследованию проблем завоевания господства в воздухе в 2030 г.» (Air Superiority 2030 ECCT) на авиабазе Райт-Паттерсон (штат Огайо).

Фирма «Боинг» в ноябре 2016 г. представила концепцию истребителя 6-го поколения для ВВС США [16]: это обтекаемая конструкция планера без хвостовой части (аэродинамическая схема «бесхвостка») с тонкими крыльями стреловидной формы и двумя конформными воздухозаборниками двигателя (рис. 2).

Конформная конфигурация воздухозаборников указывает на малозаметный самолет, обладающий возможностью полета на сверхзвуковой скорости. Наличие управляющих поверхностей на передних кромках крыльев несколько увеличивает его заметность. Конструкция кабины летчика самолета выполнена таким образом, чтобы удовлетворить требование ВВС США о возможности выбора варианта боевого применения в пилотируемом или беспилотном режиме.

Будущий перспективный многоцелевой истребитель NGAD также известен под обозначением F/A-XX [17].

В 2020 г. был создан полномасштабный демонстрационный летный образец платформы самолета 6-го поколения. Рекордное сокращение сроков создания новой платформы с десяти лет до одного года стало возможным после широкого применения в проектировании цифровой инженерии и 3D-моделирования. Благодаря появлению новейших инструментальных средств, успехам в вычислительных методах и компьютерном проектировании значительно возросли возможности исследования ряда концепций, в 20 раз ускорилось итерационное моделирование [14].

*Концепция нового боевого самолета РСА (Penetrating Counter Air) предполагает создание «семейства систем».* Перспективный истребитель будет применяться совместно с истребителями F-22 и F-35 и, в конечном итоге, заменит их. При этом речь идет об интегрированной сети боевых систем. Помимо ЛА, обладающих как способностью прорывать ПВО, так и наносить удары, не входя в зону поражения противника, в эту сеть будет включен ряд киберсистем, космических систем, а также средств РЭБ.

При выполнении программы создания самолета РСА возможно использование концепции «летающий арсенал», когда несколько самолетов, оснащенных системами обнаружения и уничтожения цели, по определенному алгоритму могут управлять огнем с самолета-«арсенала» [16].

В качестве второго пилота и для управления БЛА на самолете F/A-XX предложена система ИИ. Она представляет собой математическую модель, а также ее программное или аппаратное воплощение, построенную по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. По сути это цифровой аналог сети нервных клеток живого организма. Особенность программирования состоит в том, что разработчики боевых алгоритмов не используют никакие запреты для действий ИИ. Принятые алгоритмы многократно подвергаются различным видам виртуального воздействия – симуляциям. Это происходит до тех пор, пока программа не научится понимать, что можно делать, а что нельзя. Важнейшую роль в этой работе сыграл

выбранный тип нейронной сети, а также количество симуляций. Согласно планам МО США, в течение пяти лет системы ИИ будут установлены почти на все БЛА, которые в составе роя будут действовать совместно с малозаметными истребителями.

*Разработка программ ИИ для ведения воздушного боя.* Управлением перспективных оборонных разработок (DARPA) в мае 2019 г. был объявлен конкурс по программе ACE (Air Combat Evolution) на создание программ ИИ для управления самолетом и его вооружением в воздушном бою [18].

DARPA рассматривает конкурс как первый шаг в разработке ПО, которое автоматизировало бы воздушный бой. Управляемые системами с ИИ истребители смогут быстрее реагировать на возникшую ситуацию при ведении боя, при этом снижается нагрузка на летчика, оставляя ему только возможность принимать тактические решения в рамках более масштабной боевой задачи.

Предполагается, что ИИ сможет мгновенно управлять маневрированием во время воздушных боев в пределах визуального контакта, обеспечивая безопасность пилотов и увеличивая эффективность боевых действий, поскольку будет организовывать большое количество беспилотных систем в сеть.

DARPA считает, что воздушный бой является хорошим тестовым случаем для боевых программ ИИ, потому что у него есть четко определенная цель и измеримый результат, а самолеты имеют внутренние физические ограничения. Расширение границ функционирования ИИ будет контролироваться летчиками, находящимися внутри автономно управляемого самолета.

Как только пилоты будут уверены, что алгоритмы ИИ надежны в управлении, прозрачны и предсказуемы в поведении, сценарии воздушного боя станут более сложными и реалистичными. После виртуального тестирования планируется продемонстрировать алгоритмы воздушного боя на масштабных моделях ЛА, что в конечном итоге приведет к реальному бою пилотируемой/беспилотной группы с авиацией противника.

ACE является частью более крупного исследовательского проекта DARPA в области воздушного боя, который называется «мозаичная война» (mosaicwarfare). DARPA ищет пути для

перенесения воздушного боя из области пилотируемых самолетов в будущее, где пилотируемые и менее дорогие беспилотные платформы будут действовать вместе. Существует мнение, что БЛА смогут эффективнее противостоять изменяющимся угрозам, поскольку их разработка, развертывание и модернизация с использованием новейших технологий проходят быстрее и дешевле, чем у пилотируемых самолетов.

Соединение пилотируемых платформ с более дешевыми БЛА образует систему, в которой отдельные части можно легко перекомпоновать для создания различных эффектов или быстро заменить в случае разрушения, что приводит к более устойчивой боевой способности.

Примером такой концепции, разрабатываемой отдельно Исследовательской лабораторией ВВС США (AFRL), считается БЛА «надежный ведомый» (Loyal Wingman) XQ-58A «Валькирия», который должен летать вместе с истребителями 4-го и 5-го поколений [19].

На соревнованиях Alpha Dogtight Trial, которые были проведены DARPA с 18 по 20 августа 2020 г., нейросетевой алгоритм, разработанный американской компанией Heron Systems, выиграл серию из пяти поединков в ближнем воздушном бою с противником – опытным профессиональным пилотом, инструктором ВВС США [20]. Испытания проводились на симуляторе Flight Gear, имитирующем истребитель F-16 Fighting Falcon. Всего было проведено пять виртуальных воздушных поединков на ближней дистанции и с использованием только пушечного вооружения. По словам летчика, тактика алгоритма была странной с точки зрения привычных традиционных представлений, но при этом очень эффективной. Один из создателей системы Бен Белл подтвердил, что в процессе обучения их система провела 4 млрд симуляций, что соответствует 12 годам опыта. *«То, что мы можем видеть сегодня – это начало симбиоза человека и машины. Представьте пилота, сидящего в кабине истребителя, которым управляет ИИ. Это единое оружие. Каждый сможет сосредоточиться на том, что у него получается лучше всего»*, – объясняет руководитель офиса стратегических технологий DARPA Тимоти Грейсон.

Полученные результаты должны стать основой для создания обучаемой системы ИИ по

программе ACE, которая сможет управлять БЛА и вести маневренный воздушный бой.

Новая концепция разработки платформы NGAD с помощью цифровой инженерии получила название Digital Century Series («Серия цифрового века»). По условиям контракта разработчик перспективного самолета должен передать ВВС США все цифровые чертежи, а командование уже само решит, каким компаниям поручить производство, модернизацию и его техническое обслуживание.

Для определения основных характеристик, необходимых для ведения боевых действий в 2030-х гг. до начала официального этапа анализа альтернатив (рассмотрение концепций нового боевого самолета PCA, сформированных американскими авиастроительными компаниями), в октябре 2016 г. создан Научно-консультативный комитет ВВС AFSAB (Air Force Scientific Advisory Board). На него возлагаются выявление вероятных противников, рассмотрение и оценка соответствующих технологий, сроков их разработки и необходимых ассигнований. Задача этого исследования – создание технологического плана в целях поддержки разработки самолета PCA и развертывания его первоначальных возможностей в 2030 г.

Итак, NGAD – это исследовательская программа ВВС США в области инновационных технологий и радикальных концепций, направленная на выявление потенциальных возможностей, требуемых для успешной борьбы в будущих конфликтах с равным противником. ВВС пытаются определить, какие разработки будут иметь решающее значение в 2030-х гг. и позднее. В ходе реализации программы предусматривается расширение цифрового моделирования и имитации (modeling and simulation (M&S)) с целью создания опытных образцов и испытания разных систем и конструкций [21]. Посредством цифровой инженерии и M&S ВВС смогут оценивать новейшую технику не только на этапе разработки, но также на этапах производства и технической поддержки. При этом технология M&S позволят создавать обновляемые системы модульной конструкции на уровне современных достижений. Чем более сложными, надежными и точными являются цифровые M&S, тем меньше времени, усилий и средств должно быть потрачено

но на создание и испытания реальных моделей. Это касается как простых комплектующих, так и демонстраторов технологий и натурных моделей самолетов. Предположительно разработка кодов, алгоритмов и программного обеспечения обходится дешевле, чем разработка, производство и испытания опытных образцов систем и платформ.

В 2020 г. командование ВВС США запросило 1 млрд долларов на программу NGAD, что позволит ускорить разработку платформы для самолета 6-го поколения. Бюджет на пятилетний период (2020–2024 гг.) предусмотрен в размере 6,1 млрд долларов. В случае поддержки Конгрессом США программы NGAD ВВС США рассчитывают в будущем приобретать в год от 50 до 80 самолетов нового поколения.

Концепция бомбардировщика следующего поколения NGB (*Next-Generation Bomber*) фирмы «Нортроп Грумман». В 2011 г. МО США приняло решение возобновить финансирование проекта создания бомбардировщика нового поколения NGB. В период 2004–2009 гг. он существовал под обозначением «2018 Bomber» [22]. В командовании ВВС США впервые задумались о создании нового бомбардировщика в 2004 г. К этому времени бомбардировщики В-52 отслужили уже более 30 лет. В результате решили, что новый самолет должен быть принят на вооружение в 2018 г. Поэтому проект получил название «2018 Bomber» («Бомбардировщик 2018 года»). Позднее проект был переименован в «Бомбардировщик нового поколения» (NGB) и получил обозначение В-21 [23].

Компания «Нортроп Грумман» заключила контракт на разработку и производство В-21 в 2015 г., а эскизное проектирование было завершено в 2019 г.

Проект NGB компании «Нортроп Грумман» рассчитан на создание среднего бомбардировщика для обновления авиапарка ВВС США (замены используемых сегодня стратегических бомбардировщиков В-52 и В-1). При создании В-21 будут применяться существующие технологии, чтобы избежать задержек и рисков, связанных с внедрением новых технологий. Максимальная скорость самолета не будет превышать скорости звука. Дозвуковая скорость выбрана не случайно – полет в таком режиме обеспечивает



Рис. 3. Внешний вид бомбардировщика нового поколения NGB фирмы «Нортроп Грумман»

максимальную экономию топлива. Кроме того, уменьшаются затраты на реализацию проекта, так как нет необходимости в проведении дополнительных исследований, которые пришлось бы проводить при создании сверхзвукового самолета. Особенность программы разработки NGB заключается в том, что бомбардировщик создается на базе «летающего крыла» в модульном исполнении основных отсеков вооружения и оборудования (рис. 3) [24]. Это означает, что ВВС США будут получать новые самолеты в базовом варианте, а в перспективе предусмотрено наращивание их возможностей за счет разработки и установки нового оборудования. При этом некоторые технические решения, например, электромагнитное экранирование и защита от воздействий ядерного взрыва, будут использованы при разработке проекта NGB с самого начала. Фактически проект стал удешевленным вариантом бомбардировщика В-2 с использованием более современных разработок. Затраты на разработку самолета компании «Нортроп Грумман» составят около 23,5 млрд долларов, проектная стоимость одного бомбардировщика – 500–650 млн долларов. В целом на программу создания и закупки новых самолетов планируется потратить 40–50 млрд долларов.

На вооружение ВВС США в середине 2020-х гг. должны поступить от 80 до 180 новых бомбардировщиков проекта NGB. Проект ориентирован на выполнение конструкции самолета с использованием технологии «стелс» и возможностью осуществления пилотируемого и беспилотного полетов. Планируемый радиус действия составляет 3800 км без дозаправки, 9260 км с



Рис. 4. Первый опытный образец БЛА «Лойал Уингман»

дозаправкой. Масса ПН – до 12,5 т [25]. Благодаря использованию новых технологий эффективность сжигания топлива увеличится на 35%.

В 2020 г. произведена сборка первого летного образца бомбардировщика. Испытание планировалось осуществить в декабре 2021 г., однако из-за нарушения графика работ первый полет был перенесен на середину 2022 г., который выполнил не экспериментальный образец, а серийный самолет [26]. Это необходимо для внедрения инновационных технологий в производство и обеспечения ремонтпригодности и способности самолета к длительной эксплуатации.

Программа «Лойал Уингман» взаимодействия с самолетами осуществляется с 2015 г. Она предназначена для обеспечения пилотов многофункциональных истребителей надежными помощниками в виде полноценных БВС [27]. Суть программы состоит в том, что летчик и приборы управления пилотируемого им самолета управляют группой БВС в воздухе, а не через операторов на земле. Это позволяет сэкономить время, а также оперативно реагировать на боевую ситуацию непосредственно в полете, а также направлять БВС на выполнение боевых задач, не подвергая риску жизнь летчиков.

В марте 2017 г. компания «Боинг» получила контракт от ВВС на поставку до 2027 г. 18-ти истребителей F-16 с новым ПО, позволяющим применять их в качестве БВС в реальном бою.

В апреле 2017 г. фирмами «Локхид Мартин» и «Кэлспэн», а также Школой летчиков-испытателей ВВС США и Исследовательской лабораторией ВВС США (AFRL) выполнен показательный

полет экспериментального беспилотного самолета F-16. Машина при автономном управлении пролетела в строю в качестве ведомого вместе с пилотируемым самолетом и нанесла удар АСП «воздух–поверхность». В основном тестировались летные способности и система связи.

Во время второго показательного полета на авиабазе Эдвардз (шт. Калифорния) F-16 уже самостоятельно принимал решения по атаке целей на земле с учетом имеющегося вооружения на борту и меняющихся условий полета. При этом истребитель самостоятельно реагировал на внешние угрозы и делал расчеты по маневрированию в режиме реального времени. Цель второго полета – продемонстрировать способность беспилотного самолета динамично реагировать на изменяющиеся условия в воздухе. Специалисты ВВС оценили, насколько хорошо работают интегрированные в единое целое компьютерные программы от разных разработчиков. Работы над автономным истребителем F-16 ведут к использованию в будущем ударного истребителя F-35 в качестве командного центра для ряда беспилотных машин [28].

Адмирал США Р. Мабус в 2015 г. объявил, что самолет F-35 должен и почти наверняка станет последним пилотируемым ударным истребителем, который закупит или будет использовать военно-морское ведомство. Поставки F-35 в ВВС запланированы вплоть до 2037 г., а выйти из строя они должны к 2070 г.

Над этим сегодня работают специалисты DARPA. Одну машину F-35 будут сопровождать в воздухе группы БЛА – разведчиков и боевые беспилотные истребители F-16. Испытания таких составных комплексов были проведены в 2019 г.

Предполагается, что установка в будущем оборудования со специализированным ПО на обычный самолет позволит превратить его в БЛА в военных целях. Похожие программы существуют и для армейских вертолетов.

Первый опытный образец реактивного БЛА «Лойал Уингман» с элементами ИИ представлен на рис. 4.

Программа «Скайборг». В США наблюдается тенденция к сокращению закупки ВВС боевых самолетов из-за их всевозрастающей стоимости. В последние годы развитие ИИ и расширение возможностей его использования для военных

нужд на официальном уровне провозглашается одним из наиболее приоритетных направлений модернизации американских вооруженных сил [29]. Программа «Скайборг» ставит своей целью разработку относительно дешевого беспилотного «лояльного ведомого» аппарата и системы управления им. По своему замыслу программа «Скайборг» призвана стереть грань между многоразовым БЛА и одноразовой ракетой. Поэтому концепция БЛА «Скайборг» может вызвать революцию в области авиации и изменить военную стратегию США. Разработкой систем с элементами ИИ для управления боевыми БЛА занимается Исследовательская лаборатория ВВС США (AFRL) [19, 30].

В настоящее время программа «Скайборг» выполняется в нескольких направлениях, включая как создание БЛА, так и разработку ПО для управления БЛА (подобным XQ-58 «Валькирия») в процессе выполнения полетного задания. Особенностью СУ является то, что она с помощью систем с элементами ИИ изучает поведение пилота, стиль действий, став его «цифровым двойником» [19]. Причем ожидается, что еще до того, как пилот обнаружит противника, ИИ даст соответствующую команду на применение оружия.

Система «Скайборг» призвана самостоятельно управлять решением ряда задач, начиная от взлета и посадки БЛА и заканчивая принятием решений в реальной боевой обстановке на основе анализа ситуационных факторов. Помимо функции ведомого в паре с пилотируемым истребителем БЛА, оснащенный системой с элементами ИИ, по замыслу американских военных, должен быть подготовлен к полностью автономному использованию.

Командование ВВС рассчитывает, что БЛА в роли ведомого будет действовать в паре с истребителями F-35 и F-15EX. Задачей БЛА станет обнаружение РЛС противника. При этом машинное зрение, которое позволяет не только распознавать, но и интерпретировать полученную информацию с видео- и инфракрасных камер, а также с помощью бортовых компьютеров с элементами ИИ определять тип цели и ее принадлежность (что видит один – видят все. В войнах будущего исход боя будет решать ИИ) [17]. Что же касается истребителей, то в полете их радары



Рис. 5. Беспилотный летательный аппарат «Скайборг»

обнаружения наземных целей будут выключены, а всю необходимую информацию они получают от БЛА в режиме реального времени.

Впервые программа «Скайборг» официально была представлена в марте 2019 г. Она задумывалась как система с элементами ИИ, размещенными на пилотируемом истребителе, и как создание автономного БЛА, который самостоятельно управляется системой с элементами ИИ [31]. Одновременно разрабатывается несколько проектов как по созданию относительно дешевых маневренных боевых БЛА, так и по разработке алгоритмов управления ими. Предполагается, что пилоты смогут управлять подобными БЛА в режиме стандартного полетного задания. Командование ВВС США утверждает, что первая версия БЛА по программе «Скайборг» уже готова в 2021 г., а к 2023 г. в США предполагается создать ведомый БЛА (рис. 5), оснащенный системой с элементами ИИ. Он способен летать в паре с истребителями, выполняя боевые задачи. Так как ведомые БЛА будут намного дешевле пилотируемых самолетов, то это позволит ВВС наращивать парк авиации при меньших финансовых затратах.

БЛА «Скайборг» можно рассматривать в роли своеобразного оруженосца (арсенала), который может скрытно нести ракеты класса «воздух–воздух» для самолетов-невидимок F-22 «Рэптор» или F-35 (Joint Strike Fighter) при выполнении ими боевого задания, которые ограничены в количестве ракет при скрытом режиме их транспортирования.

Кроме этого, открываются новые возможности использования БЛА, включая дозаправку





Рис. 6. Беспилотный летательный аппарат «Эвэнджер»



Рис. 7. Концепция БЛА «Гамбит» компании GA-ASI

других самолетов, выполнение функций летающего узла связи, сбор разведанных о силах противника, поиск и спасение потерпевших крушение или аварии. В будущем, как считают американские военные, БЛА могут быть оснащены усовершенствованной сетевой СУ боем, системами обмена данными и их совместного использования. По данным газеты «Defense News», МО США выделит в общей сложности 400 млн долларов нескольким компаниям для разработки различных типов БЛА «Скайборг».

В мае 2020 г. командованием ВВС США был объявлен тендер «Скайборг», по результатам которого в июле 2020 г. из 18 заявленных для участия в конкурсе претендентов на разработку и создание опытного образца, проведение испытаний «лояльного ведомого» и СУ им были отобраны фирмы «Боинг», «Дженерал Атомикс Аэронотикл Системс», «Кратос Анманд Эриал Системс» и «Нортроп Грумман» [32]. ВВС США

намерены принять на вооружение ведомые БЛА на вооружение в 2023 г.

Управление группой БЛА также предполагает обмен информацией между аппаратами этой группы для обеспечения принятия решений в трудных ситуациях. В декабре 2020 г. БЛА «Эвэнджер» (рис. 6) совершил автономный полет под управлением системы CODE (Collaborative Operations in Denied Environment), которая является частью программы «Скайборг» по созданию автономных и полуавтономных разведывательных и боевых ЛА.

Программа DARPA называется CODE. Ее суть состоит в том, чтобы наделить БЛА способностями к коллективной и полностью автономной работе. Предполагается, что аппаратами смогут обмениваться информацией от бортовых сенсоров в реальном времени и оказывать друг другу поддержку в воздухе.

В рамках автономного полета ПО CODE контролировало маневрирование БЛА «Эвэнджер» более двух часов без участия пилота.

В полете также участвовало пять виртуальных ЛА, которые позволили в полной мере отработать передачу данных между БЛА. БЛА «Эвэнджер» создан фирмой «Дженерал Атомикс Аэронотикл Системс», это модификация одного из самых используемых БЛА в американской армии «Предейтор», который стал частью нового поколения БЛА, оснащенных турбореактивным двигателем Pratt & Whitney Canada PW54B.

Компания GA-ASI продемонстрировала в марте 2022 г. концепцию своего нового разведывательного БЛА «Гамбит» (Gambit), который позиционируется как «передовой концептуальный ЛА» (рис. 7). «Гамбит» называют автономной платформой для совместной работы (Autonomous Collaborative Platform – ACP), разработанной с помощью цифровой инженерии для ускорения выхода на рынок и снижения затрат на ее приобретение, которая обеспечивает расширенные и улучшенные возможности по сбору информации. Взаимодействуя с пилотируемыми ЛА 4-го и 5-го поколений, «Гамбит» позволит летчикам глубже заглянуть во вражеское воздушное пространство, он первым обнаружит угрозы и предоставит пилотам время и пространство для важных решений и действий, для обнаружения, идентификации и наведения ору-

жия на противника на дальностях и в масштабе всего боевого пространства.

БЛА XQ-58 «Валькирия» (XQ-222) и UTAR-22 MAKO фирмы «Kratos Defense & Security Solutions». Значительных успехов достигла фирма «Кратос» («Kratos Defense & Security Solutions»), предложив новую разновидность БЛА UTAR-22 MAKO и XQ-58 «Валькирия» (XQ-222). Концепция применения предусматривает поддержку с их помощью пилотируемых многофункциональных истребителей F-22 и F-35 во время выполнения боевых заданий, имея на борту БЛА как системы наблюдения, так и вооружение [33]. БЛА UTAR-22 MAKO и XQ-58 «Валькирия» выполнены в рамках программы ВВС США по созданию недорогих и/или одноразовых БЛА (Low Cost Attritable Aircraft Technology – LCAAT), способных сопровождать пилотируемые истребители, обеспечивая тем самым их прикрытие в воздухе, увеличивая радиус действия и повышая их эффективность в работе как против воздушных, так и против наземных целей. В разработку этих БЛА фирма «Кратос» вложила более 100 млн долларов [34]. Стоимость каждого такого БЛА в серийном исполнении не превышает 2–3 млн долларов.

Данные БЛА могут нести вооружение и выполнены по технологии «стелс». Они могут летать быстрее, выше и дальше, чем большинство современных аппаратов подобного класса. По ТТХ БЛА XQ-58 «Валькирия» и UTAR-22 «Мако» приближаются к истребителям. При выполнении оперативно-тактических задач им отводится роль ведомых по отношению к пилотируемым самолетам.

СУ указанных БЛА практически идентичны и обладают одинаковым набором функций. БЛА могут действовать полностью самостоятельно, в составе многочисленной группы таких же аппаратов или использоваться в качестве ведомых самолетов, управляемых пилотом самолета-лидера. Относительно низкая стоимость каждого аппарата позволяет объединять их в многочисленные группы, которые смогут внести значительные коррективы в тактику ведения войны в воздухе. Впервые данные БЛА были представлены на парижском авиасалоне «Ле-Бурже-2017».

БЛА XQ-58 «Валькирия» (XQ-222). Разработка БЛА XQ-58 «Валькирия» (прежнее обозначение



Рис. 8. Беспилотный летательный аппарат XQ-58 «Валькирия»



Рис. 9. Беспилотный летательный аппарат ALTIUS-600

XQ-222) началась в июле 2016 г. (рис. 8). Поскольку проект XQ-58А осуществлялся в рамках программы LCAAT, от его создателей требовалось определенное упрощение конструкции, производства и эксплуатации БЛА.

За счет широкого применения существующих технологий и проверенных технических решений удалось уменьшить стоимость изготовления аппарата. Первый полет перспективного БЛА был совершен 5 марта 2019 г. [35]. Во время нового испытания в 2020 г. БЛА поднялся на большую высоту, ранее им не достигавшуюся. Во время полета были собраны сведения о вибрации аппарата и температуре бортовых систем. БЛА совершил успешную посадку на полигоне в Юме (штат Аризона).

Основные геометрические размеры [19, 34]: длина – 9,14 м, размах крыла – 8,2 м, максимальная полетная масса – 2722 кг, масса пустого БЛА – 1133 кг, максимальная скорость – 1050 км/ч, максимальная высота полета –



Рис. 10. Беспилотный летательный аппарат  
УТАР-22 МАКО

13700 м, дальность полета – 5500 км (по другим данным 3940 км). Для размещения вооружения имеются два отсека с 4 точками подвески в каждом, общей массой АСП 250 кг. Предполагается, что БЛА «Валькирия» будут вооружать управляемыми авиационными бомбами (УАБ) и УР «воздух–поверхность» разных типов с допустимыми габаритами и массой [35].

В ходе шестых летных испытаний БЛА ХQ-58А «Валькирия» в марте 2021 г. был открыт оружейный отсек ПН и из трубчатой направляющей успешно осуществлен запуск автономного мини-БЛА ALTIUS-600 (Air-Launched, Tube-Integrated, Unmanned System фирмы «Area-I») [36].

После пуска мини-БЛА аппарат ХQ-58А выполнил дополнительные тесты, направленные на расширение области полетных режимов.

Мини-БЛА ALTIUS-600 (рис. 9) может применяться для РЭБ, радиоразведки, противодействия БЛА, задач сбора информации, наблюдения и разведки (ISR), а также как средство поражения. По данным компании «Area-I» его масса составляет 12 кг, включая ПН массой 2,7 кг в носовой части, продолжительность полета – до 4 ч.

Для запуска мини-БЛА ALTIUS-600 фирмы «Кратос» и «Area-I» совместно с Исследовательской лабораторией ВВС США (AFRL) разработали ПО и изготовили пусковую направляющую. В 2020 г. демонстрационный пуск этого мини-БЛА был произведен с беспилотника MQ-1C «Грей Игл» [36].

БЛА УТАР-22 МАКО – имеет высокие летно-технические характеристики и предназначен специально для разведки и нанесения ударов в условиях противодействия противника. Он разработан в 2015 г. на основе ложной мишени ВМQ-167А (рис. 10) [37].

Взлет БЛА осуществляется с рельсовой направляющей, посадка производится на землю или на водную поверхность с использованием парашюта. Основные геометрические размеры: длина – 6,7 м, размах крыла – 3,2 м. Аппарат может достигать скорости 0,91М на высоте 15200 м, имеет максимальную дальность 2590 км и продолжительность полета 3 ч. На каждом крыле БЛА установлены узлы подвески для груза массой 45 кг. Возможно размещение ПН массой 159 кг во внутреннем отсеке.

В будущем БЛА этого типа начнут действовать как автономно, так и во взаимодействии с пилотируемыми самолетами. В период 2015–2017 гг. в интересах проверки концепции проведены испытания по взаимодействию пилотируемого самолета и БЛА. В 2015 г. состоялись два полета с участием истребителя AV-8В «Харриер», где апробировалась тактическая система передачи данных и ряд других задач. В декабре 2015 г. два аппарата демонстрировали взаимодействие с лидером (с имитацией пилотируемого самолета) в полуавтономном и автономном режимах [38]. Летные испытания были завершены в 2017 г. Результаты испытаний подтвердили правильность концепции и техническую готовность изделия.

Джерри Биман, президент подразделения беспилотных систем «Kratos Defense & Security Solutions», присутствовавший на полигоне заявил: «Этот полет показал полезность объединения пилотируемых и беспилотных машин, предоставляя военным новые возможности, как дополнительная сила на линии фронта. Я твердо верю, что наш БЛА УТАР-22 совместно с пилотируемыми самолетами способен работать на высоких скоростях во враждебной среде и будет доступным и эффективным средством для военных».

Возвращаемый БЛА «Спэрроухок» воздушного пуска. Продолжая отслеживать перспективные направления развития беспилотной авиации компания «Дженерал Атомикс Аэронотикл Системс» разработала возвращаемый мини-

БЛА «Спэрроухок» (Sparrowhawk) для MQ-9A «Рипер» [39].

Взлетная масса аппарата составляет около 91 кг, ПН – 13,6 кг, дальность действия – 322 км. Он оснащен V-образным хвостовым оперением и воздухозаборником турбореактивного двигателя, расположенного в нижней правой части фюзеляжа. Особенностью конструкции мини-БЛА является основное крыло, которое располагается вдоль фюзеляжа снизу во время его транспортировки и разворачивается на 90° во время свободного полета (рис. 11).

Мини-БЛА «Спэрроухок» предполагается относительно недорогим, что допускает его одноразовое применение, хотя функция возвращения аппарата на основную платформу делает возможным его оснащение более крупными и дорогостоящими ПН, чем у одноразовых БЛА. Возврат мини-БЛА «Спэрроухок» происходит за счет выполненной определенным образом конструкции корпуса с помощью выпускаемого из MQ-9A «Рипер» троса.

По заявлению компании, «Спэрроухок» предназначен специально для БЛА семейства MQ-9 и может расширить возможности носителя по выполнению задач сбора информации, наблюдения и разведки (ISR) и ведению РЭБ без захода в зону действия средств ПВО противника, а также увеличить его зону действия.

В сентябре 2020 г. фирма провела летные испытания демонстрационного образца «Спэрроухок», размещенного на подкрыльевом пилоне БЛА MQ-9A «Рипер», без его отделения от носителя. Аппарат управлялся с помощью ПО «Метис» (Metis) фирмы GA-ASI, размещенного на портативном компьютере. Связь и совместные автономные действия этих двух ЛА обеспечивались линией передачи данных (ЛПД) meshONE на базе мобильной сети с адаптивной самоконфигурацией (Mobile Ad Hoc Network – MANET).

*Программа взаимодействия с вертолетами.* Успехи в области создания БЛА привели к разработке новой тактики взаимодействия ударных вертолетов армейской авиации США, которая заключается в использовании БЛА в качестве разведывательной платформы для снижения вероятности поражения вертолета в боевых условиях. Тактический прием предусматривает,



Рис. 11. Мини-БЛА «Спэрроухок» на внутреннем пилоне крыла БЛА MQ-9A «Рипер»



Рис. 12. Схема взаимодействия вертолета AH-64D Блок III с БЛА по тактическому каналу связи

что БЛА раньше вертолета вылетает в заданный район и проводит разведку местности, что уменьшает потери вертолетов по оценке зарубежных специалистов примерно в пять раз.

В связи с этим МО США на первый план после снятия с вооружения вертолета OH-58D «Кайова Уорриор» была поставлена задача обеспечения полного взаимодействия пилотируемой и беспилотной авиации [40] с помощью ЛПД. Действующая тактическая ЛПД TCDDT (TacticalCommonDataLink), работающая в диапазоне  $K_U$  (12...18 ГГц) и давно используемая на вертолетах AH-64D и AH-64E, позволяет летчикам управлять только БЛА «ШэдоуV2» и «Грей Игл» (рис. 12).

В сентябре 2015 г. компания «L-3 Комьюникейшнз» выиграла конкурс на создание новой ЛПД для вертолетов «Апач» в рамках программы взаимодействия пилотируемой и беспилотной

авиации MUM-T для сухопутных войск США. Разработанная ею линия связи MUM-T позволит управлять из кабины боевого вертолета AH-64E «Апач» БЛА, работающими в диапазонах L (1...2 ГГц), S (2...4 ГГц) и C (4...8 ГГц), дополняя тактическую ЛПД TCDT.

По словам руководителя программы вертолета AH-64 Д. Хейджера, конечной целью является полная совместимость с любым беспилотным транспортным средством военного назначения. Он утверждает, что потребуется всего несколько лет, чтобы сделать вертолет «Апач» первым ЛА, способным обмениваться данными с любыми военными средствами вооружения тактического звена, включая корабли, средства охраны, вооружение и военную технику морской пехоты и всю авиатехнику, которая находится в воздухе.

Протокол МО США TCS (Tactical Control System – тактическая система управления) регламентирует пять уровней управления БЛА, включая прием данных:

первый – не прямое получение и ретрансляция данных на борт БЛА;

второй – добавление канала прямого получения данных;

третий – не только прием данных, но и управление целевой нагрузкой БЛА;

четвертый – дистанционное пилотирование на всех этапах, кроме взлета и посадки;

пятый – дистанционное пилотирование в полном объеме.

На брифинге в июне 2016 г. представители сухопутных войск США и компании «Боинг» на заводе в г. Меса (штат Аризона) заявили, что все вертолеты «Апач» варианта E и некоторые машины версии D могут использовать второй уровень управления, а ЛПД MUM-T обеспечивает управление до четвертого уровня TCS включительно.

В США в рамках отработки новой тактики действия ударных вертолетов на полигоне (штат Вирджиния) в 2016 г. батальон ударных вертолетов AH-64B «Апач» провел отработку взаимодействия с разведывательными БЛА «RQ-7BV2 «Шэдоу» (масса – 204 кг, продолжительность полета – 9 ч на высоте 5400 м) [41]. Использование БЛА существенно повышает ситуационную осведомленность экипажа «Апач» и экономит топливо, расходуемое вертолетом при самостоятельном

поиске и идентификации целей. В последние 15 лет летчики американских ударных вертолетов предпочитают летать на большой высоте, чтобы избежать поражения от огня крупнокалиберных пулеметов боевиков. По отработываемому способу применения ударный вертолет должен подлететь в район цели и быстро поразить выявленные БЛА цели ракетным и пушечным огнем.

**Западная Европа.** Совместная разработка Франции, Германии и Испании пилотируемого многоцелевого боевого истребителя 6-го поколения в рамках общеевропейской боевой авиационной программы FCAS (*The Future Combat Air Systems* – «Воздушная боевая система будущего»). Французское название этой программы *Systeme de Combat Aerien Futur* – SCAF). Концепция программы FCAS была разработана в рамках Европейской программы приобретения технологий ETAP (*European Technology Acquisition Programme*), которая была начата в 2001 г. как сотрудничество Германии, Франции, Великобритании, Италии, Швеции и Испании. Руководителем программы FCAS является генерал Ж.-П. Бретон.

Этап совместного концептуального исследования (*Joint Concept Study – JCS*) программы FCAS/SCAF был запущен в феврале 2019 г. Этап JCS совместно координируют германская компания «Эйрбас энд Спейс», французская «Дассо Авиасьон» и испанская Индра (*Indra Sistemas*) [42].

Основным стимулом к реализации европейской программы FCAS, в которой главенствующая роль принадлежит Франции, являются политические, промышленные и военные преимущества, получаемые Европой от создания собственного оружия. Программа FCAS предназначена для формирования перспективной системы оружия нового поколения NGWS (*Next-Generation Weapon System*) [42], состоящей из боевого самолета нового поколения, ударно-разведывательного БЛА «Евродрон» класса MALE, также называемый дистанционно-пилотируемой авиационной системой RPAS, сверхмалозаметного «ведомого» боевого БЛА, сопровождающих самолет, а также новых образцов малозаметных крылатых ракет и УАБ. Система FCAS будет объединена в единую информационно-боевую сеть и должна обладать оперативной совместимостью и обеспечением сетевых возможностей с боевыми ЛА, спутника-

ми, наземными и морскими боевыми системами НАТО [43].

Основным элементом сетецентрической боевой системы, в состав которой войдут также ударные БЛА и «умные» боеприпасы нового поколения, станет пилотируемый вариант многофункционального истребителя с возможностью создания в будущем его беспилотной версии. По мнению руководителя программы FCAS генерала Ж.-П. Бретона, в основе «системы систем» FCAS должен быть пилотируемый истребитель типа обычного современного боевого самолета, а основными боевыми средствами останутся пилотируемые истребители – живучие, сверхзвуковые и маневренные, – которые и будут составлять ядро «системы систем» [44].

В настоящее время в Европе реализуются два проекта создания истребителя 6-го поколения: франко-германский NGF (Neu Generation Fighter) и британский «Темпест».

*Перспективный самолет «Нью Файтер».* В разработке проекта европейского многофункционального истребителя принимают участие Франция (компания «Дассо Авиасьон»), Германия (фирма «Эйрбас Дифенс энд Спейс») и Испания, присоединившаяся к проекту в декабре 2018 г. «Испания присоединилась к франко-германской программе по созданию нового истребителя. Учитывая современную тенденцию приобретать американскую военную технику, это очень важный проект. Мы намерены создать европейский самолет для европейских государств и быть независимыми от американских технологий», – сообщил Э. Трампье, глава компании «Дассо Авиасьон».

Запланированный срок ввода истребителя на вооружение – 2040–2045 гг. Чтобы уложиться в сжатые сроки было решено применять в работе над истребителем методы автоматизированного прототипирования (макетирования) и сокращенные циклы проектирования, а также использовать готовые комплектующие изделия, включая двигатели и бортовое радиоэлектронное оборудование. Совместный план двух компаний включает предложения по разработке демонстрационных образцов по программе FCAS к 2025 г.

Фирма впервые раскрыла детали своей работы над истребителем по программе FCAS для гер-



Рис. 13. Внешний вид истребителя нового поколения «Нью Файтер»

манского Бундесвера в середине 2016 г., выдвигая его в качестве потенциальной замены парка истребителей «Торнадо» ВВС Германии и дополнения к фронтовым истребителям «Тайфун». Изучив вопрос, какому варианту конструкции отдать предпочтение – пилотируемому, беспилотному или пилотируемому с возможностью перехода на беспилотный режим управления, специалисты фирмы «Эйрбас энд Спейс» выбрали пилотируемый вариант, так как остальные два сопряжены со слишком высокой степенью технического риска. Концепция по созданию пилотируемого истребителя «Нью Файтер» была изложена фирмой «Эйрбас энд Спейс» (генеральный директор Гийом Фори) на конференции международного центра качества и производительности (IQPC) «Интернэшнл Файтер» (International Fighter) в ноябре 2017 г. в Берлине [45].

Ключевыми элементами нового истребителя «Нью Файтер» (рис. 13) должны стать технологии малозаметности, быстрая передача данных управления и контроля, лазерное оружие, ИИ и обновляемое ПО.

Анализ внешнего вида истребителя показывает, что его конструкция ориентирована на малую радиолокационную заметность (специальная форма фюзеляжа, форма кромок у створок, панелей и сопел двигателей), сохранив при этом двухкилевое оперение, обеспечивающее достаточную маневренность ЛА.

Видеопрезентация компании «Эйрбас энд Спейс» на конференции IQPC продемонстрировала, что на перспективном самолете устанавливаются усовершенствованный набор датчиков, который позволит истребителю действовать в качестве «передового датчика»



Рис. 14. Концепция пилотируемого истребителя следующего поколения NGF

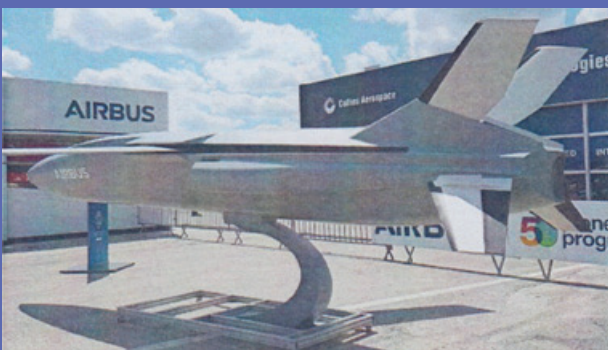


Рис. 15. Внешний вид ведомого беспилотного летательного аппарата RC

(forward sensor) в распределенной сети ISR (сбор информации, наблюдение и разведка), и система автоматического распознавания целей, помимо расширения других функций. Предполагается, что самолет потенциально к 2040-м гг. должен прийти на замену истребителям «Торнадо» фирмы «Мессершмитт-Бельков-Блом» и др., «Тайфун» фирмы «Еврофайтер» и «Рафаль» компании «Дассо Авиасьон», прежде всего в ВВС Германии и Франции.

NGF задуман как пилотируемый истребитель, предназначен для выполнения задач во взаимодействии с «роем» БЛА, которые станут платформами как для вооружения, так и средств обнаружения [46] (рис. 14). В свою очередь NGF будет интегрирован с рядом систем, включая разведывательно-ударный БЛА класса MALE. В проекте по созданию европейского истребителя NGF участвуют компания «Дассо Авиасьон» в качестве ведущего разработчика и фирма «Эйрбас энд Спейс» как основной партнер, Испания с

долей участия 23%, а также ряд фирм по разработке двигателей и основных систем самолета.

Полноразмерный макет самолета NGF был представлен на авиасалоне «Ле-Бурже-2019» [47]. В презентации принимали участие министры обороны Франции, Германии и Испании, которые подписали соглашение о работах по проекту NGF.

Этап на разработку летающего демонстратора истребителя NGF, являющегося компонентом системы вооружения NGWS, стартовал в начале 2020 г. Демонстратор концепции истребителя нового поколения планируется создать к 2025 г. ко времени его первого полета в 2027 г., а опытный образец – к 2030 г.

Утверждение предложенной конструкции перспективного истребителя должно состояться в 2030 г., а ввод в эксплуатацию предполагается в 2040–2045 гг.

Силовая установка истребителя NGF, известная как NEFE (Next European Fighter Engine) и NEE (New European Engine), разрабатывается фирмой «Сафран» в качестве ведущего исполнителя совместно с фирмами MTU и «ИТР Аэро». Главным разработчиком датчиков определена фирма «Индра», а «Талес» и германский консорциум FCMS (Future Combat Mission System) выступают партнерами. Обеспечение малозаметности самолета возложено на компанию «Эйрбас энд Спейс» в качестве ведущего исполнителя и «Дассо Авиасьон» как партнера.

Часть состоящих на вооружении французской армии истребителей «Рафаль» и «Мираж» оснастят радиоэлектронной аппаратурой, которая позволит им успешно взаимодействовать с новой системой.

Разработка ударных БЛА началась в 2019 г. Концерн MBDA определяет требования к новому вооружению [47]. Предполагается, что оно будет одноразовым и способным как собирать информацию, так и поражать цели. Создаются два аппарата массой 120 и 240 кг.

Компания «Эйрбас энд Спейс» совместно с фирмами MBDA, GMV, «Текнобит» и «Сенсер» в рамках программы боевой авиационной системы FCAS разработала БЛА RC (Remote Carrier) (рис. 15), который в виде макета был представлен на авиасалоне в «Ле-Бурже-2019».

Во время учений германских ВВС «Тимбер Икспресс» (Timber Express) в июле 2020 г. над

северной частью Германии и Северным морем продемонстрирована технология взаимодействия «лояльного ведомого» БЛА RC с реальными боевыми самолетами «Тайфун» и «Торнадо», которые установили связь с БЛА RC, используя ЛПД «Линк-16» [48]. Также была продемонстрирована совместимость БЛА RC с концепцией НАТО по организации совместных действий в области мер радиоэлектронной поддержки CESCO (Cooperative Electronic Support Measure Operations), представляющей собой создание разведывательной сети, охватывающей несколько родов войск и направленной на определение в реальном времени местоположения боевых средств противника.

Особую важность приобретает задача защиты истребителя NGF от зенитных управляемых ракет (ЗУР). С этой целью предполагается разработка миниатюрной ракеты-перехватчика, способной поражать ЗУР в воздухе. Длина такой ракеты не превысит 1 м, а масса – 10 кг. Боеприпас будет отстреливаться из кассет по аналогии с тепловыми ловушками и ложными целями.

Для оснащения NGF создаются новые малозаметные ракеты. В рамках франко-британской программы по созданию крылатых и противокорабельных ракет нового поколения ведется разработка двух новых образцов ракетного вооружения, которыми предполагается оснастить истребитель NGF. По данным представителя фирмы MBDA, истребитель NGF получит малозаметную ракету для уничтожения замаскированных и защищенных целей особой важности и обычную крылатую ракету для поражения всех типов наземных и надводных морских целей. Предполагается, что оба образца поступят на вооружение в 2030-х гг. Кроме того, NGF получит 100-кг высокоточную бомбу ограниченного радиуса поражения «Спиар-3» (Spear 3), которая разрабатывается британским подразделением MBDA для боевых самолетов F-35 «Лайтнинг-2» и «Тайфун», а также УАБ «Смарт глайдер» (Smart Glider) и «Смарткрузер» (Smart Cruiser).

Схема концепции боевой авиационной системы будущего FCAS. Функции FCAS предполагается возложить на БЛА, как средства менее дорогостоящие, менее сложные по сравнению с пилотируемыми ЛА [49] (рис. 16).



Рис. 16. Концепция FCAS – ударный вариант, взаимодействующий с боевыми БЛА большой дальности, «роем» автоматических БЛА огневого или разведывательно-наблюдательного назначения, а также внешними участниками сети

В систему войдут высокотехнологичные образцы ударных автономных БЛА большой дальности, семейство разведывательно-наблюдательных БЛА и «рой» легких, дешевых БЛА с автоматическим управлением их коллективным поведением, оснащенных средствами высокоуровневого ИИ. Эти автоматические БЛА составят первый эшелон системы. Из них одна часть будет снабжена наступательным вооружением, а другая – средствами разведки целей, что позволяет расширить практические возможности основного истребителя. Следует отметить, что пилотируемый истребитель в системе FCAS проектируется с двухместной кабиной, позволяя второму пилоту-оператору управлять ведомыми БЛА при выполнении боевого задания.

Несмотря на то что система FCAS создается из разнотипных пилотируемых и беспилотных ЛА, все они будут образовывать единое целое. При этом в систему закладывается возможность замены составных элементов на другие ЛА. Таким образом, авиационная боевая система FCAS станет первым европейским проектом, выполненным после создания истребителей «Тайфун» и «Рафаль». Вместе с тем следует заметить, что узким местом системы вооружения NGWS в соответствии с концепцией FCAS является собственно истребитель, так как в случае его поражения нарушается координирование, а следовательно функционирование всех осталь-





Рис. 17. Общий вид истребителя 6-го поколения «Темпест»

ных элементов системы. Поэтому при построении системы, очевидно, в этом случае будет предусмотрен переход управления к ведущему истребителю другой группы вооружения NGWS.

Совместная разработка Великобритании, Италии и Швеции истребителя 6-го поколения «Темпест». Наряду с программой FCAS по разработке самолета NGF, осуществляемой Францией, Германией и Испанией, в рамках технологической инициативы создания перспективной авиационной боевой системы FCAS TI (Future Combat Air System Technology Initiative) Великобританией, Италией и Швецией разрабатывается проект по созданию к 2035 г. истребителя 6-го поколения по программе «Темпест» [50, 51]. Соглашение между странами было подписано в декабре 2020 г. и получило название Меморандума о взаимопонимании по программе Future Combat Air System Cooperation (FCASC), оно регулирует основные принципы равноправного сотрудничества между странами-участниками программы и затрагивает различные сферы деятельности, включая научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

В реализации проекта участвует консорциум «Тим Темпест» (Team Tempest), куда вошли компании «BAE Системз», «Леонардо-UK», MBDA и «Роллс-Ройс» [52]. Координировать работу будет МО Великобритании и Управление развития критически важных программ RCO (Rapid Capabilities Office) BBC. В BBC Великобритании, Италии и Швеции истребитель должен заменить самолеты «Грипен» компании SAAB и

EF-2000 «Тайфун» фирмы «Еврофайтер», начиная с 2040 г.

Ожидается, что цена истребителя «Темпест» составит не менее 60 млн долларов. Правительство инвестировало в проект FCAS TI около 2,5 млрд долларов, при этом промышленные компании, включая BAE Системз, Леонардо, MBDA и Роллс-Ройс, также сделали ассигнования через консорциум «Тим Темпест» поровну с государственными вложениями.

Впервые концепция перспективного истребителя 6-го поколения «Темпест» была представлена на авиасалоне «Фарнборо» [52] в 2018 г. (рис. 17).

Самолет имеет аэродинамическую схему «бесхвостка», наклоненные наружу разнесенные поверхности V-образного хвостового оперения при отсутствии горизонтальных стабилизаторов, носовую часть, аналогичную многофункциональному истребителю F-22, беспереплетный фонарь (прозрачная часть пилотской кабины, защищающая экипаж и пассажиров от воздействия встречного потока воздуха, погодных условий и шума) и два двигателя с воздухозаборниками, расположенными под крылом по обе стороны фюзеляжа.

В конструкции нового истребителя планируется достаточно широко использовать технологии малозаметности. Для него будет создан специальный многорежимный авиационный двигатель. Предполагается, что истребитель будет иметь пилотируемую и беспилотную версии.

Истребитель сможет управлять различными БЛА, а также получит «оружие направленной энергии». Истребитель оснастят бортовой СУ, работающей в связке с самообучающимся ИИ, и виртуальной кабиной пилота.

Программа FCAS TI включает три основных требования:

- обязательность открытой архитектуры систем выполнения боевых задач;

- выполнение 50–60 демонстраций перспективных технологий в ближайшие несколько лет;

- сотрудничество с международными партнерами в работе по программе [52].

Э. Кеннеди, директор стратегических работ по истребителю «Темпест» от фирмы «BAE Системз», отмечает, что ввод истребителя представляет собой сложную задачу, поскольку



Рис. 18. Характерные особенности функционального облика евроистребителя 6-го поколения «Темпест»: 1 – масштабируемая автономность; 2 – встроенный датчик системы противодействия следующего поколения; 3 – функционирование в сети (реконфигурируемые средства связи); 4 – функциональная гибкость (виртуальная кабина экипажа); 5 – перспективные активные и пассивные оптико-электронные датчики; 6 – система управления ЛА следующего поколения; 7 – перспективная силовая установка; 8 – реконфигурируемая полезная нагрузка; 9 – перспективные радиочастотные датчики; 10 – доступный по средствам (автоматизированные варианты средств поддержки (по выбору заказчика)); 11 – применение цифровых технологических процессов производства; 12 – модернизируемый (открытый для дальнейшей модернизации архитектурный облик ЛА); 13 – баланс живучести и конструктивного облика ЛА

необходима разработка перспективного боевого самолета следующего поколения, легко модифицируемого, с программно-управляемыми функциями, который может прибыть в район боевых действий вдвое быстрее истребителя EF-2000 «Тайфун» консорциума «Еврофайтер» [50].

Принятие на вооружение истребителя «Темпест» в 2035 г. зависит от результативности международного партнерства в рамках проекта. Великобритания в июле 2019 г. подписала десятилетний меморандум о договоренности со Швецией и в сентябре 2019 г. – протокол о намерениях с Италией. Оба соглашения включают рассмотрение оптимальных механизмов сотрудничества стран, в том числе в вопросах обмена информацией, полученной в ходе исследований, цель которых заключается в согласовании не только военных требований, но и ожидаемых промышленностью результатов, сроков и стоимости.

Страны обсуждают также облик промышленного образца самолета «Темпест». Управление

государственных закупок Великобритании рассматривает несколько вариантов работы над проектом «Темпест». С одной стороны, существует опыт организации разработки истребителя F-35 при доминировании в программе ведущей страны – США, а с другой – каждая из стран-участниц предлагает для проекта собственные инновационные решения, например, механизм ускоренного проектирования, разработанный в Швеции, или накопленный опыт в области РЭБ – у Италии.

Согласно достигнутому соглашению о сотрудничестве участие компаний в разработке истребителя «Темпест» распределено следующим образом [52]:

«BAE Системз» – перспективные боевые авиационные системы и их интеграция;

«Роллс-Ройс» – источники энергии и силовые установки;

«Леонардо-УК» – датчики, электроника и авионика;

MBDA – разработка систем вооружений.



Рис. 19. Китайский истребитель J-20

В рамках программы фирма «BAE Системз» активно разрабатывает концепцию, ориентированную на ПО кабины экипажа, смысл которой состоит в том, чтобы не заполнять кабину оборудованием, неизбежно устаревающим с течением времени, а вместо этого обновлять ПО.

Также известно, что британская компания Aeralis Ltd подписала меморандум о взаимопонимании с французской компанией Thales для разработки концепции наземной системы обучения и симуляции, призванной дополнить британскую программу «Темпест». Сотрудничество должно включать совместную работу над созданием архитектуры для будущей информационной системы, которая объединит данные о подготовке летчиков, использовании воздушных судов и применении ПО. Это подтверждает подход к разработке самолета «изнутри», когда сначала будет создано электронное оборудование и лишь потом сам самолет.

К характерным особенностям функционального облика евроистребителя 6-го поколения можно отнести следующие признаки [51, 53, 54] (рис. 18).

**Китай.** Рассматривая основные факторы, определяющие технический облик перспективного истребителя, заместитель директора по науке и технологиям корпорации AVIC, генеральный конструктор истребителя J-20 (рис. 19) Ян Вэй в публикации журнала «Acta Aeronautica et Astronautica Sinica» отмечает, что концепция сверхманевренности, выступающая на первый план для самолетов 4-го поколения, неактуальна для истребителей 5-го поколения [55]. Причина – в появлении современных ракет средней даль-

ности класса «воздух–воздух», поражающих противника вне пределов прямой видимости.

Истребителю 5-го поколения требуется увеличенная дальность, малозаметность, акцент на вооружение ракетами классов «воздух–воздух» и «воздух–поверхность» и обеспечение пилота средствами наблюдения за текущей ситуацией с возможностью прогнозирования ее будущих сценариев. При этом ключевым условием успешной обработки получаемой с разнообразных устройств информации является использование ИИ. Летчики должны обладать обширными знаниями и хорошими аналитическими способностями для работы с такими устройствами.

По данным китайского издания Sina, в ближайших перспективах китайский многоцелевой истребитель 5-го поколения получит систему ИИ, которая позволит летчику не только вести эффективный огонь по выбранным целям, но и управлять самолетом в процессе воздушного боя [56]. По неофициальным данным, система ИИ для новейшего китайского истребителя уже успешно протестирована и в 2020 г. будет интегрирована в бортовой компьютер самолета. При положительном итоге испытаний в дальнейшем истребители КНР начнут оснащаться системами ИИ.

Система ИИ, внедренная в бортовые компьютеры истребителей J-20 китайской компании «Chengdu Aircraft Industry Corporation», сможет управлять самолетом в воздушном бою, позволяя пилоту максимально сконцентрироваться на атаке противника. В интегрированной системе самолет должен иметь возможность формировать сеть, показывать интегрированные ситуационные изображения в режиме реального времени, создавать множество маршрутов атаки и в реальном времени передавать целевую информацию из района боевых действий. Эта уникальная возможность сделает истребитель J-20, принятый на вооружение в начале 2017 г., мощным и эффективным средством ВС КНР. Система ИИ сможет также управлять и системами вооружения новейшего китайского истребителя. Подобные решения будут применяться и в самолетах 6-го поколения. Первый образец с двигателем с адаптивным циклом и управлением ведомыми БЛА может появиться в Китае уже в 2035 г. [55].

**Индия (боевая система CATS с беспилотными «надежными ведомыми»).** На открыв-

шейся 3 февраля 2021 г. в Индии в Бангалоре международной авиационно-космической выставке «Аэро Индия 2021» (Aero India 2021) государственное авиапромышленное объединение Hindustan Aeronautics Limited (HAL) впервые представило полноразмерный макет разрабатываемого им БЛА «Уорриор», создаваемого в рамках пятилетней перспективной программы Combat Air Teaming System (CATS) и предназначенного для взаимодействия с пилотируемыми боевыми самолетами в соответствии с концепцией «верного ведомого» («Loyal Wingman») [57]. Первоначально концепция БЛА «Уорриор» была представлена в феврале 2019 г. на выставке «Аэро Индия-2019», которая прошла в г. Бангалор [58].

Система CATS включает пилотируемую платформу – легкий боевой самолет (ЛБС) «Теджас» Mk1 и семейство БЛА: «CATS Уорриор» («CATS Warrior»), «CATS Хантер» (CATS Hunter) и «CATS «ALTA» (Air Launched Flexible Asses). Прототипы БЛА, разработка которых ведется с середины 2018 г., и их функциональные возможности демонстрировались интегрированными в систему CATS.

«CATS Уорриор» – это автономный БЛА, предназначенный для работы рядом/впереди ЛБС с целью повышения его ситуационной осведомленности и живучести в боевых условиях (рис. 20). БЛА может автономно взлетать и садиться с взлетно-посадочной полосы или с палубы корабля. «CATS Уорриор» в первую очередь создается для применения индийскими ВВС, его уменьшенная в размерах версия будет разработана для ВМС Индии.

Внешне БЛА «Уорриор» имеет сходство с американским БЛА XQ-58 «Валькирия» компании «Кратос», разрабатываемым в качестве ведомого самолетов F-22 и F-35.

БЛА «Уорриор» выполнен с широким применением технологии малозаметности по нормальной аэродинамической схеме. Планер сконструирован из композитных материалов, имеет фюзеляж большого удлинения с миндалевидной носовой частью, среднерасположенное стреловидное крыло малого удлинения, V-образное хвостовое оперение и убирающееся трехопорное шасси с носовым колесом. Воздухозаборник двигателя аппарата расположен в



Рис. 20. Перспективный беспилотный летательный аппарат «Уорриор»

верхней центральной части фюзеляжа. Однокамерный турбореактивный двигатель РТАЕ-7400 мощностью 72,5 кН, разработанный компанией HAL, имеет два выходных сопла.

Максимальная взлетная масса составляет 1300 кг, длина – 6,4 м, ширина – 4,4 м, максимальная скорость  $M = 0,7$ , дальность полета до 800 км и продолжительность полета до 80 мин [58].

БЛА «Уорриор» оснащен оптико-электронной/инфракрасной (ОЭ/ИК) камерой, РЛС с активной фазированной решеткой, инерциальным навигационным блоком и устройством радиоэлектронного подавления для выполнения задач сбора информации, наблюдения и разведки (ISR) и боевых операций.

БЛА может нести вооружение общей массой до 250 кг в двух внутренних отсеках и под крыльями, включая две УР нового поколения малой дальности класса «воздух–воздух» или средней дальности на внешних подвесках и интеллектуальное противоаэродромное оружие (Smart Anti-Airfield Weapon – SAAW) во внутренних отсеках фюзеляжа.

Аппарат управляется с помощью многочастотной системы связи с частотой до 1 ГГц и встроенного канала передачи данных на дальность до 200 км. Оператор самолета может управлять тремя и более БЛА в каждой операции, в то время как сами БЛА будут обеспечены индивидуальной связью с ним и друг с другом. В то же время БЛА сможет работать в полностью автономном режиме при удалении от зоны управления. Взлет и посадка выполняются в автоматическом режиме, а функция «возвращение на базу» позволит аппарату вернуться к месту базирования в слу-

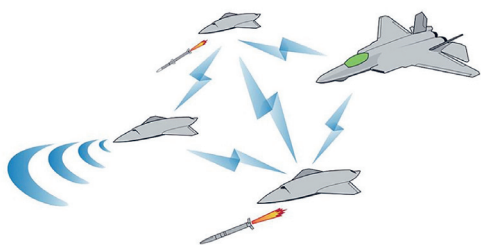


Рис. 21. Схема боевого применения ведомых беспилотных летательных аппаратов в воздушном бою (по взглядам МО Японии)

чае потери контроля над ним. БЛА «Уорриор» станет носителем дополнительных датчиков для ЛБС «Теджас». Находясь впереди пилотируемого самолета, он использует свои датчики для передачи информации ведущей платформе. Низкая радиолокационная заметность, возможность внутрifuзеляжного размещения ПН и конструкция из композитных материалов позволяют БЛА работать в скрытном режиме.

Готовый к серийному производству БЛА «Уорриор» предполагается разработать в течение 5–10 лет. Начало летных испытаний полномасштабного опытного образца намечено на 2025–2026 гг.

Ракета «CATS Хантер», запускаемая в воздухе с ЛБС, предназначена для выполнения функций датчика переднего обзора в ходе осуществления задач наблюдения и разведки, а также для РЭБ. Ракета «Хантер» оснащена системами наблюдения и разведки, бортовой системой планирования боевой задачи и компьютером. Она может эксплуатироваться в двух конфигурациях: с ОЭ/ИК-датчиком, 250 кг фугасной БЧ и топливными баками, размещенными в хвостовой части, или с ОЭ/ИК-датчиком и дополнительными топливными баками для более продолжительных операций.

Ракета «CATS ALFA» является кассетным боеприпасом из шести барражирующих боеприпасов, разработанных HAL совместно с компанией из Бангалора Newspace Research and Technologies. На борту истребителя может быть размещено четыре ракеты.

Барражирующий боеприпас оснащен складным крылом, поршневым двигателем с толкаю-

щим винтом и имеет дальность действия после отделения от ракеты-носителя более 100 км. Заявлена возможность «роевого» применения данных боеприпасов. После пуска роя барражирующих боеприпасов они смогут производить поиск целей, основываясь на технологии машинного обучения [59].

Система CATS создается компанией HAL с целью повышения способности индийских ВС противостоять угрозам со стороны соседних стран. Предполагается, что БЛА «CATS Уорриор» расширит роль ЛБС «Теджас» Mk1 и обеспечит наблюдение на малой высоте для передовых баз.

**Япония.** МО Японии планирует создать перспективный малозаметный истребитель 5-го поколения F-3 для оснащения ВВС к 2030 г. Новейшая версия истребителя F-3, разработанная в 2014 г., предполагает увеличение продолжительности полета, массы боекомплекта и расширение возможностей маневрирования.

Он будет предназначен для взаимодействия с ведомыми БЛА двух типов – выполняющими задачи противоракетной обороны путем оснащения средствами обнаружения старта баллистических ракет (в частности приемником ИК-излучения) и ведения воздушного боя [10, 60].

Существует два варианта концептуального решения по использованию беспилотного «ведомого» БЛА. В первом проекте он выполнен с широким фюзеляжем, плавно сопрягающимся с крылом малого удлинения прямой стреловидности (порядка 45...50°) по передней кромке и обратной стреловидностью задней кромки (рис. 21). Во втором – это БЛА с удлиненным тонким фюзеляжем (рис. 22).

На рис. 21 показаны три БЛА перед истребителем, связанные с ним ЛПД. Беспилотный ведомый аппарат управляется летчиком истребителя F-3, но аппарат самостоятельно «принимает решение» о выборе тактического маневра и «сообщает» пилоту о планируемых действиях. Это означает, что летчик будет выдавать общие координаты предполагаемых целей и очередность их атаки, а БЛА – выбирает оптимальный способ выполнения команд пилота. При этом БЛА рассчитан на выполнение маневров с большими запредельными для человека перегрузками, обеспечивающими его живучесть.

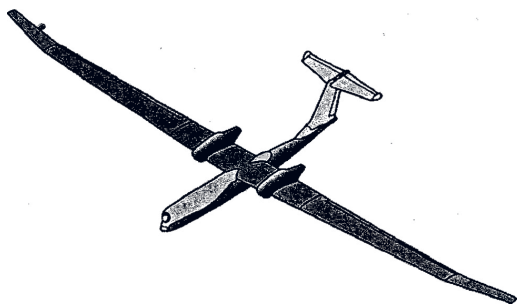


Рис. 22. Японский беспилотный летательный аппарат, предназначенный для обнаружения старта баллистических ракет



Рис. 23. Ведомый беспилотный летательный аппарат программы ATS

Следует подчеркнуть, что планы МО Японии по созданию в перспективе конфигурации ведомого высокоманевренного БЛА, способного не только осуществлять поиск целей, но и поражать их, в целом соответствуют прогнозам развития технологии ИИ в рамках, реализуемых в ряде стран программ по беспилотной авиации.

В Техническом проектно-конструкторском институте (Technical Research and Development Institute (TRDI)) концепция «ведомых» БЛА обсуждается с 2010 г. Согласно оценкам специалистов TRDI, они должны быть поставлены на боевое дежурство в составе японских ВС в 2040-х гг. как дополнение к модернизированному варианту национального истребителя 6-го поколения F-3 (поступление первых образцов F-3 в ВВС запланировано на 2030 г.). Япония закупит технологию БЛА с высокой степенью автономности для реализации данной концепции не ранее чем через 15–20 лет. При соблюдении запланированных сроков demonstra-

цию новой машины следует ожидать только в 2029–2033 гг. [60].

**Австралия.** Корпорация «Боинг» представила на австралийском Международном авиасалоне в 2019 г. в Авалоне макет БЛА для сопровождения пилотируемых ЛА, создаваемый в рамках программы разработки системы взаимодействия воздушных сил Австралии ATS (Airpower Teaming System) [61]. Программа ATS была инициирована австралийским отделением компании «Боинг» в партнерстве с ВВС Австралии и предназначена для создания БЛА, выполняющего роль «лояльного ведомого» для пилотируемых платформ (рис. 23).

Проект представляет собой крупнейшее финансовое вложение в развитие беспилотных программ за пределами США. БЛА предназначен для использования ВВС Австралии и ее партнерами – Канадой, Новой Зеландией, Великобританией и США. Правительство Австралии выделяет на разработку аппарата 28,67 млн долларов. Эти средства совместно с инвестициями фирмы «Боинг» будут использованы для создания трех прототипов ЛА, необходимых для тестирования концепции «лояльного ведомого», которая отражает взаимодействие пилотируемой платформы с четырьмя-шестью БЛА в процессе оперативного использования.

Высокотехнологичный и доступный по цене БЛА программы ATS представляет собой полуавтономную многоцелевую систему, способную нести оружие и управляемую либо с наземной системой управления, либо с пилотируемой платформой, которую она сопровождает. Для управления группой ведомых БЛА никаких модификаций пилотируемой платформы не потребуется. БЛА оснащаются элементами системы ИИ для выполнения автономных задач и обеспечения безопасности совместных полетов. Аппарат предназначен для взаимодействия с современными пилотируемыми и беспилотными платформами при выполнении боевых задач и способен выполнять функции истребителя, а также осуществлять сбор информации, наблюдение, разведку и РЭБ при оснащении его бортовыми датчиками. Предусматривается, что БЛА будут иметь возможность взаимодействия с истребителями F-35, F/A-18F, самолетами РЭБ EA-18G, базовыми патрульными самолетами

Р8А и самолетами дальнего радиолокационного обнаружения E-7А.

Дозвуковой малозаметный цельнокомпозитный БЛА имеет длину 11 м, размах крыла – 11,7 м, оснащен одним двигателем. Дальность полета составляет 3700 км. ПН в виде оружия, различных датчиков и средств РЭБ размещается в сменных носовых отсеках длиной 2,6 м.

Первый прототип БЛА по программе АТS в 2019 г. находился в стадии изготовления на заводе австралийского филиала «Боинг» в Брисбене (штат Квинсленд). В мае 2020 г. австралийское подразделение компании «Боинг» сумело провести выкатку первого летного образца перспективного ведомого БЛА [11].

Выкатка БЛА фиксирует завершение сборки изделия в целом, оснащение его всем необходимым бортовым оборудованием в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ЛА, и переход к комплексным наземным отработкам и подготовке к первому вылету.

Корпорация «Боинг» 2 декабря 2020 г. провела серию испытаний группы экспериментальных БЛА с установленными на борту системами с элементами ИИ. Специалисты корпорации исследовали, как будут взаимодействовать БЛА между собой при совместном решении определенных задач. Разработчики рассматривают использование систем с элементами ИИ в военной технике в качестве инструмента, который позволит снизить нагрузку на операторов и значительно уменьшить боевые потери пилотируемых ЛА. В частности, предполагается, что, например, группы «умных» БЛА смогут вести разведку или наносить удары по позициям противника в закрытом воздушном пространстве, охраняемом системами ПВО.

Летные испытания этих БЛА проходили поэтапно на протяжении десяти дней на полигоне в Квинсленде в Австралии. После каждого полета разработчики включали в действующую группу по одному аппарату. В общей сложности туда вошли 5 аппаратов длиной 3,4 м, которые летели со скоростью 270 км/ч. В воздухе БЛА обменивались информацией, распределяли роли в группе благодаря наличию элементов ИИ. Аппараты самостоятельно проводили разведку местности, обнаруживали цели и классифицировали их. Разработчики отметили, что БЛА, получившие

«боевой» опыт, «проводили обучение» аппаратов, только что присоединившихся к группе. Технологии и возможности планируется использовать для БЛА по проекту АТS.

Первый полет ведомого БЛА компания «Боинг» (подразделение в Австралии) успешно провела в феврале 2021 г. под наблюдением летчика-испытателя фирмы «Боинг» с НСУ на полигоне Вумера в Южной Австралии [62].

На финансирование разработки трех дополнительных БЛА в рамках данной программы МО Австралии выделено 89,6 млн долларов, что будет способствовать совершенствованию конструкции аппарата, имеющейся и перспективной ПН, а также созданию системы поддержки в эксплуатации.

## ВЫВОДЫ

1. В обозримом будущем не предвидится полного отказа от пилотируемой авиации при проведении воздушных боевых операций.

2. Достижения в освоении новых технологий создания беспилотных авиационных систем и ИИ привели к формированию концепции построения опционально пилотируемых многофункциональных истребителей и бомбардировщиков 5-го и 6-го поколений, которые поступят на вооружение к 2035–2040 гг.

3. Накопленный опыт разработки и боевого применения разведывательно-ударных и ударных БЛА привел к необходимости уточнить роль данного класса БЛА в структуре ВС ведущих стран мира – США, Великобритании, Франции, Германии, Китае, Японии.

4. Перспективным направлением развития БАС стало создание комбинированных авиационных систем на основе пилотируемого самолета-лидера и группы относительно недорогих ударных «ведомых» БЛА с ИИ. К числу программ, осуществляющих данное направление работ, следует отнести программу «Скайборг» (США) с БЛА ХQ-58 «Валькирия» и UТAR-22 МАКО фирмы «Кратос», европейскую программу FCAS, работы по созданию перспективного истребителя J-20 в Китае, истребителя F-3 в Японии, БЛА АТS в Австралии.

Основные сведения о «лояльных» БЛА представлены в таблице.

Таблица. Основные сведения о «лояльных ведомых»

Обозначение БЛА (страна, фирма-разработчик)	Программа	Основные тактико-технические				
		Взлетная масса $M_{\text{взл}}$ , кг	Масса пустого $M_{\text{пуст}}$ , кг	Масса полезной боевой нагрузки $M_{\text{пн}}$ , кг	Длина, м	Размах крыла, м
1. XQ-58 «Валькирия» (XQ-222) (США, «Кратос»)	«Скайборг» LCAAT	2722	1133	250	9,14	8,2
2. УТАР-22 «МАКО» (США, «Кратос»)		–	–	250 (2×45 кг под крылом, 160 кг – в отсеке)	6,7	3,2
3. ALTIUS-600 (США, «Кратос» + «Ареа-1»)		9...12,25	–	2,7...3,17	1,0	2,54
4. «Спэрроухок» (США, «Дженерал Атомикс»)	–	91	–	13,6	–	–
5. «Гамбит» (США, «Дженерал Атомикс»)	–	–	–	–	–	–
6. БЛА (Австралия, отделение компании «Боинг»)	ATS	–	–	–	11	11,7
7. «CATS Уорриор» (Индия, HAL)	OBSS (Off-Board Sensing System)	1300	–	250 (2 УР на внешней подвеске и оружие SAAW во внутренних отсеках)	6,4	4,4
8. RC (Германия, «Эйрбас энд Спейс»)	FCAS	–	–	–	–	–



**беспилотных летательных аппаратов**

характеристики				Стоимость, млн долл.	Совместное применение с пилотируемыми самолетами и БЛА	Примечание
Дальность полета $D_{п}$ , км	Продолжительность полета $T_{п}$ , ч	Высота полета (потолок) $H_{п}$ , м	Максимальная скорость полета $V_{МАКС}$ , км/ч			
5500 (3940)	–	13700	1050	2...3	F-22 и F-35	–
2590	3	15200	1120	–	F-22 и F-35 AV-8B «Харриер»	Старт с рельсовой направляющей
440	4	–	90	–	C-130A, A3 Orion, AC-130J MQ-1C (12-14 мини-БЛА)	Радиоразведка, сбор информации, наблюдение, РЭБ
322	–	–	–	–	Семейство БЛА MQ-9A «Рипер»	Радиоразведка, сбор информации, наблюдение, РЭБ
–	–	–	–	–	Взаимодействует с пилотируемыми ЛА 4-го и 5-го поколения	Разведывательный БЛА с использованием ИИ и без участия оператора
3700	–	–	–	–	F-35, F/A-18F, самолеты РЭБ EA-18G, базовыми патрульными самолетами P8A и самолетами дальнего радиолокационного обнаружения E-7A	Выполняет функции истребителя и осуществляет сбор информации, наблюдение, разведку и РЭБ. Имеет элементы ИИ
800	1,33	–	857	–	ЛБС «Теджас» Mk1	Период разработки 2019–2026 гг. Оператор управляет тремя и более БЛА. БЛА обеспечены взаимной связью
–	–	–	–	–	«Тайфун» и «Торнадо»	Определение в реальном времени местоположения боевых средств противника

По оценке экспертов, развитие современных авиационных комплексов в дальнейшем обеспечит постепенный переход в разной степени автономности БВС к полностью беспилотной авиационной системе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Увеличение количества ударов в Афганистане с применением БЛА. Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2016. № 40. С. 6.
2. Семенов С.С. Управляемые авиабомбы зарубежных ВВС. Современные УАБ как прообраз «интеллектуальных боеприпасов» // Аэрокосмическое обозрение. 2008. № 3. С. 48–51.
3. Титков О.С. Будущее беспилотных летательных аппаратов. Научно-техническая информация // ГосНИИАС. 2016. № 1. С. 48–55.
4. Смирнова И.Р., Титков О.С., Чабанов В.А. Концептуальные взгляды на развитие беспилотной авиации // ГосНИИАС. 2018. № 1. С. 9–23.
5. Беспилотное будущее: состояние и перспективы боевых БЛА. URL: <https://uacrussia.livejournal.com/62759.html>.
6. Литвиненко В.И., Ногинов Ю.В. Борьба с беспилотными летательными аппаратами / под ред. А.П. Макарова. М.: КНОРУС, 2021. 148 с.
7. Макаренко С.И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. СПб.: Научное издание, 2020. 204 с.
8. Мовсисян С. Противодействие системам высокоточного оружия в современных войнах. Екатеринбург: Издательские решения, 2021. 190 с.
9. Кутахов В.П. Развитие информационных технологий и их влияние на облик боевых действий XXI века // Известия РАН. 2020. № 4 (112). С. 11–16.
10. Смирнова И.Р., Титков О.С., Чабанов В.А. Концептуальные взгляды на развитие беспилотной авиации США. Научно-техническая информация // ГосНИИАС. 2017. № 12. С. 42–54.
11. Лебедев С.В. Вызов «Скайборга». Персонажи «звездных войн» обретают крылья // Военно-промышленный курьер. 2020. № 28 (841). С. 5–6.
12. Планы по отдельной разработке NCAD для ВМС и ВВС // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2020. № 23. С. 1.
13. Чабанов В.А., Яковлева Н.К. Влияние технологии «стелс» на облик боевой авиации будущего. Научно-техническая информация // ГосНИИАС. 2020. № 1. С. 2–36.
14. Чабанов В.А. Программы истребителей следующего поколения США и Европы как ответ на будущие угрозы // ГосНИИАС. 2020. № 5. С. 9–21.
15. ВВС США рассказали о проекте нового истребителя для середины XXI века. URL: <https://lenta.ru/news/2016/08/30/ngad/>.
16. Концепция истребителя следующего поколения фирмы «Боинг» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2017. № 14. С. 1–2.
17. Boeing рассказал об истребителе шестого поколения. URL: <https://lenta.ru/news/2013/04/08/faxx/>.
18. Разработка программ искусственного интеллекта для ведения воздушного боя // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2020. № 3. С. 1–2.
19. Титков О.С., Чабанов В.А. Беспилотные ведомые в составе боевых авиагрупп // Авиационные системы. 2021. № 7. С. 45–50.
20. Искусственный интеллект победил пилота ВВС США в воздушном бою. URL: <https://www.yandex.ru/search/?text=Искусственный+интеллект+победил+пилота+ВВС+США+в+воздушном+бою.+trends.rbc%2Cru.&lr=213>.
21. Расширение применения цифрового моделирования и имитации в программе NGAD // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2020. № 4. С. 3.
22. Бомбовая расконсервация. США возобновят работы над новым дальним бомбардировщиком. URL: <https://lenta.ru/articles/2011/02/15/ngb/>.
23. Проведение работ по программе бомбардировщика B-21 // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2020. № 21. С. 1–2.
24. ВВС США сэкономят на статусе бомбардировщика NGB. URL: <https://www.aex.ru/news/2011/11/3/89903/>.
25. NGB (Next-generation bomber). URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1440458>.
26. Перенос первого полета бомбардировщика B-21 «Рейдер» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2021. С. 1.
27. О возможности полностью беспилотных ВВС // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2017. № 36. С. 5–6.
28. Беспилотные боевые самолеты будущего // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2016. № 44. С. 1–3.
29. Чабанов В.А. Программа эволюции воздушного боя (ACE) как элемента концепции «мозаичной войны». Авиационные системы // ГосНИИАС. 2020. № 3. С. 2–6.
30. Представлено видео ВВС США о программе Skyborg для беспилотников. URL: [https://vpk.name/news/414230\\_predstavleno\\_video\\_vvs\\_ssha\\_o\\_programme\\_skyborg\\_dlya\\_bespilotnikov.html](https://vpk.name/news/414230_predstavleno_video_vvs_ssha_o_programme_skyborg_dlya_bespilotnikov.html).
31. ВВС США планируют к 2023 году получить боевой беспилотник с искусственным интеллектом. URL: [https://densegodnya.ru/armia/article\\_post/vvs-ssha-plani-ruyut-k-2023-godu-poluchit-boevoy-bespilotnik-s-iskusstvennym-intellektom](https://densegodnya.ru/armia/article_post/vvs-ssha-plani-ruyut-k-2023-godu-poluchit-boevoy-bespilotnik-s-iskusstvennym-intellektom).

32. Выбор участников конкурса по программе «Скай-борг» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2020. № 40. С. 5.
33. Ударные БЛА «Валькирия» и «Мако» фирмы Кратос // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2017. № 29. С. 5–6.
34. БЛА ХQ-58А «Валькирия» фирмы Кратос для ВВС // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2019. № 28. С. 5–6.
35. ВВС США показали первый полет «Валькирии». URL: <https://news.rambler.ru/weapon/41856813-vvs-ssha-rokazali-pervyyu-polet-valkirii/>.
36. Запуск мини-БЛА ALTIUS с беспилотника ХС-58А «Валькирия» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2021. № 17. С. 6.
37. Разработка тактического БЛА УТАР-22 // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2016. № 49. С. 6.
38. Беспилотная авиационная система УТАР-22 МАКО. URL: <http://nevskii-bastion.ru/utap-22-mako-usa/vts«НЕВСКИЙ БАСТИОН»>.
39. Возвращаемый БЛА «Спэрроухок» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2021. № 46. С. 4–5.
40. Взаимодействие пилотируемой и беспилотной авиации // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2016. № 46. С. 2.
41. Взаимодействие вертолетов «Апач» и БЛА «Шэдоу» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2017. № 11. С. 3.
42. Переход к этапу создания летающего демонстратора перспективного NGF // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2021. № 31. С. 1–2.
43. Совместная разработка истребителя следующего поколения по программе FCAS // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2018. № 27. С. 1.
44. Задачи будущего евроистребителя NGF // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2019. № 43. С. 1–2.
45. Концепция перспективного истребителя «Нью Файтер» фирмы Эрбас // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2018. № 2. С. 1–2.
46. Присоединение к европейскому проекту истребителя NGF // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2019. № 6. С. 2–3.
47. Презентация европейского истребителя 5-го поколения NGF // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2019. № 32. С. 1–2.
48. Испытания ведомых беспилотников, разрабатываемых для программы FCAS // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2020. № 42. С. 6.
49. Чабанов В.А. Европроект перспективного боевого авиакомплекса FCAS. Научно-техническая информация // ГосНИИАС. 2016. № 12. С. 2–4.
50. О ходе разработки истребителя следующего поколения «Темпест» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2020. № 40. С. 1–2.
51. Разработка истребителя 6-го поколения // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2021. № 23. С. 1–2.
52. Презентация концептуальной модели истребителя «Темпест» следующего поколения // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2018. № 44. С. 1–2.
53. Британский истребитель пятого поколения Tempest все ближе к первому полету. URL: <http://alternathistory.com/britanskij-istrebitel-pyatogo-pokoleniya-tempest-vsyo-blizhe-k-pervomu-polyotu/>.
54. Британский истребитель Tempest: все не так плохо, как могло быть. URL: <https://topwar.ru/162700-britanskij-istrebitel-tempest-vse-ne-tak-ploho-kak-moglo-byt.html>.
55. Лебедев С.В. В воздушных боях победят «мозги». В грядущих войнах поражать противника будут вне пределов прямой видимости // Военно-промышленный курьер. 2020. № 29 (842). С. 2.
56. Внедрение искусственного интеллекта в истребители 5-го поколения // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2018. № 38. С. 2.
57. Разработка боевой системы CATS с беспилотными «надежными ведомыми» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2021. № 19. С. 5–6.
58. Концепция «Беспилотного ведущего» фирмы HAL // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2019. № 40. С. 5–6.
59. Ильин Д.В. Индии представили макет беспилотного ведомого CATS Warrior. URL: <https://naukatehnika.com/v-indii-predstavili-maket-bespilotnogo-vedo-mogocats-warrior.html>.
60. Чабанов В.А. Беспилотные летательные аппараты как средства боевой поддержки истребителей. Научно-техническая информация // ГосНИИАС. 2017. № 4. С. 2–4.
61. Разработка «лояльного ведомого» по программе ATS // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2019. № 47. С. 5–6.
62. Первый полет БЛА «Лоял Вингмэн» // Экспресс-информация // ГосНИИАС. 2021. № 30. С. 5–6.



---

---

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

---

---

УДК 623.4.01

### ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДЫ SCILAB ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОЕПРИПАСОВ

Канд. воен. наук *И.В. СПИРИН, М.Г. САУТИНА, В.К. НЕРЕТИН* (АО «НИИИ»)

*Представлены интерфейс, состав и особенности первоначального освоения математической среды SciLab. На основании личного опыта эксплуатации программного пакета SciLab предлагаются варианты использования имеющихся моделирующих и расчетно-аналитических возможностей в процессе проектирования инженерных боеприпасов различного назначения. Описывается пример автоматизации постобработки результатов серийных вычислительных экспериментов с численными моделями различных вариантов конструкций удлиненных зарядов взрывного разминирования и пошаговым раскрытием алгоритма.*

**Ключевые слова:** КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; ПРОЕКТИРОВАНИЕ БОЕПРИПАСОВ; ИНЖЕНЕРНЫЙ БОЕПРИПАС.

Разработка образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) с характеристиками на уровне лучших мировых аналогов невозможна без математического и компьютерного моделирования, которое стало обязательным этапом проектирования. Одной из сред, обеспечивающих возможности их проведения, является бесплатная программа SciLab (СайЛаб) с открытым исходным кодом.

С 1994 г. программа совершенствовалась добровольным научным сообществом разработчиков на базе французского исследовательского института INRIA [1].

С середины 2022 г. команда разработчиков SciLab стала структурным подразделением компании Dassault Systemes [2], однако код продукта пока сохраняется открытым, а его распространение – бесплатным.

В настоящее время для загрузки доступны релизы SciLab 2023.1.0, SciLab 6.1.1, SciLab 5.5.2 (рис. 1) и еще более 10 устаревших для операционных систем Windows, Linux и MacOS [3]. Все релизы распространяются с лицензией GPL v2.0.

Структурно среда состоит из трех элементов:  
SciLab – программно-математический редактор;

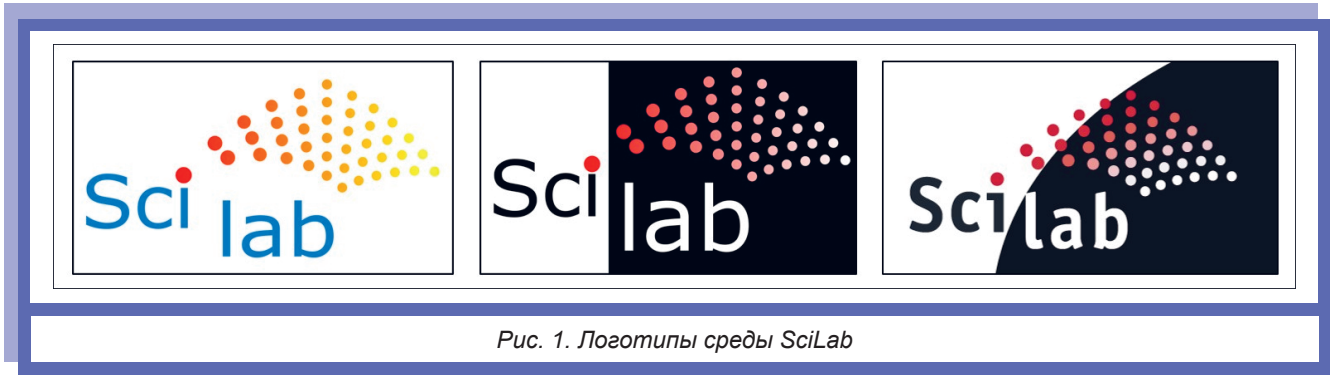


Рис. 1. Логотипы среды SciLab

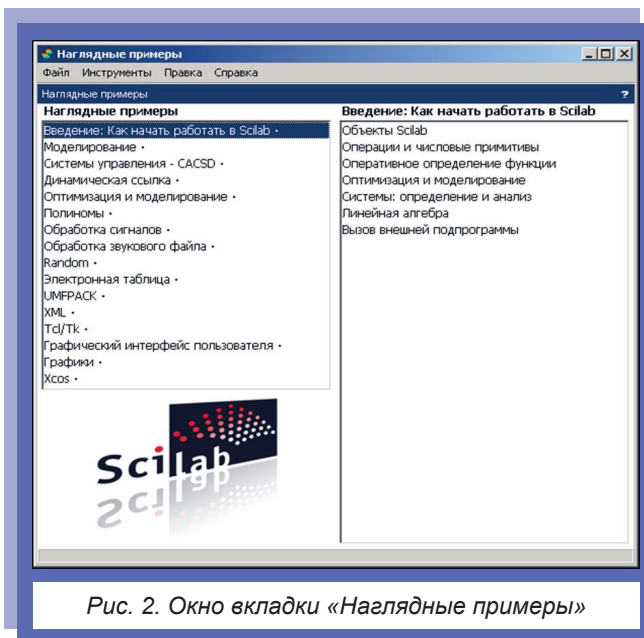


Рис. 2. Окно вкладки «Наглядные примеры»

Xcos – графический редактор моделей гибридных динамических схем;

Atoms – хранилище и надстройка для управления упакованными модулями расширения (toolboxes).

SciLab поддерживает большое количество математических функций, позволяющих решать разносторонние задачи математики и моделирования, 2D и 3D визуализации, статистические задачи, описывать алгоритмы оптимизации, обрабатывать сигналы, разрабатывать приложения, системы управления и моделировать динамически изменяемые системы (XCos) [4].

В установочный пакет интегрирована интерактивная документация (рис. 2), представляющая полный спектр вычислительного функционала и возможности визуализации результатов (рис. 3).

SciLab позволяет работать как с элементарными, так и со многими другими специальными

функциями (например, Бесселя – `besselh`, Доусона – `dawson`, Ядро Дирихле – `sincd` и др.). Все функции подробно описаны в справочной системе на английском языке (с частичным переводом при выборе русского языка, а также возможностью перевести на французский и португальский языки). Справочная информация для каждой функции структурно состоит из описания, синтаксиса, аргументов, примеров, ссылок на другие функции и историю.

При запуске программы открывается командное окно, предназначенное для проведения небольших расчетов и построений и представляющее собой встроенный терминальный интерфейс (рис. 4).

Все команды, введенные в окне, выполняются сразу после окончания ввода. Если попытка выполнения команды оказалась неудачной, то автоматически выводится сообщение о причине сбоя. Опыт эксплуатации SciLab показывает, что синтаксические, логические, размерные и структурные ошибки полностью охвачены подробными комментариями.

Более сложные программы удобнее набирать, редактировать и сохранять отдельными файлами с расширением «\*.sce» во встроенном модуле SciNotes (текстовый редактор с подсветкой синтаксиса и интерактивной автоподстановкой возможных вариантов продолжения кода).

В этом случае в командное окно загружается, интерпретируется и построчно выполняется вся программа, записанная в выбранном файле.

Инструменты SciLab обеспечивают возможность корректно и не трудоемко решить множество типовых задач, автоматизировать получение необходимых результатов и их визуализацию.

Обработка сторонних данных представляется возможной благодаря наличию специальных

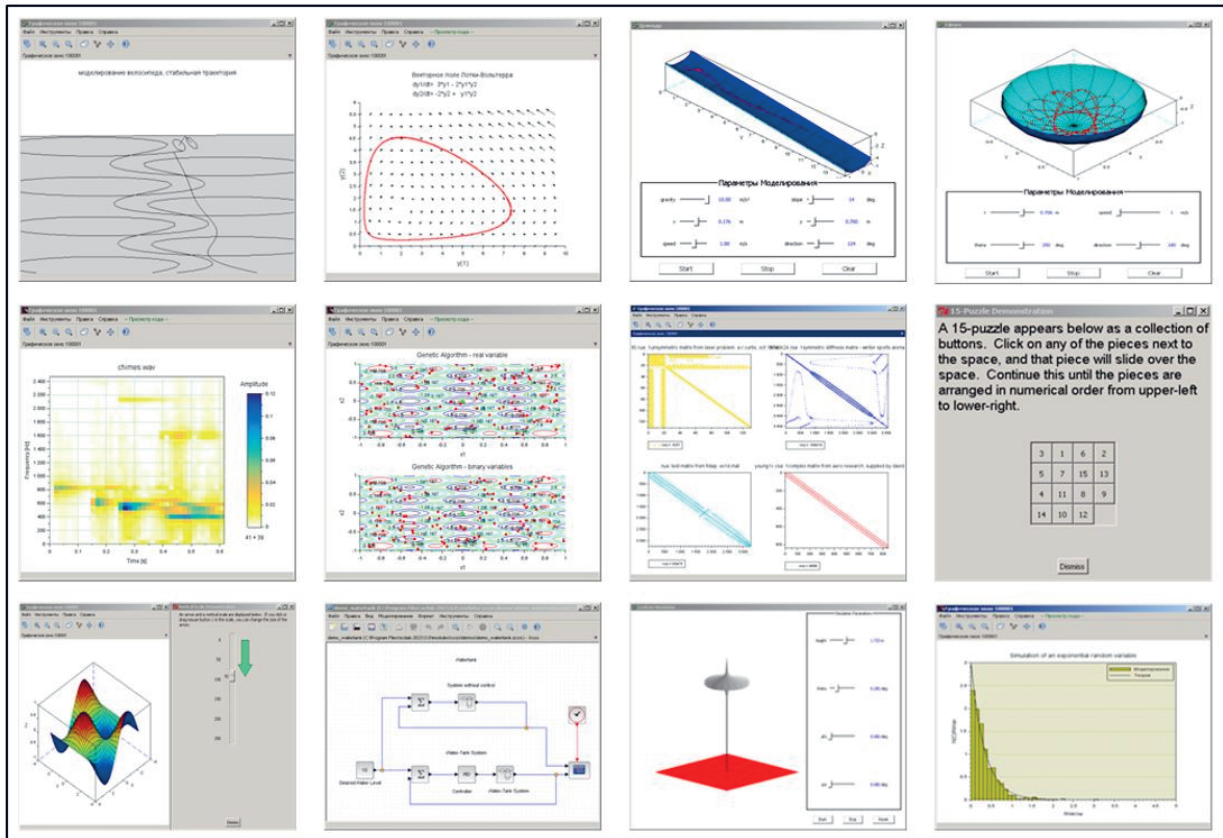


Рис. 3. Примеры задач, решаемых в SciLab

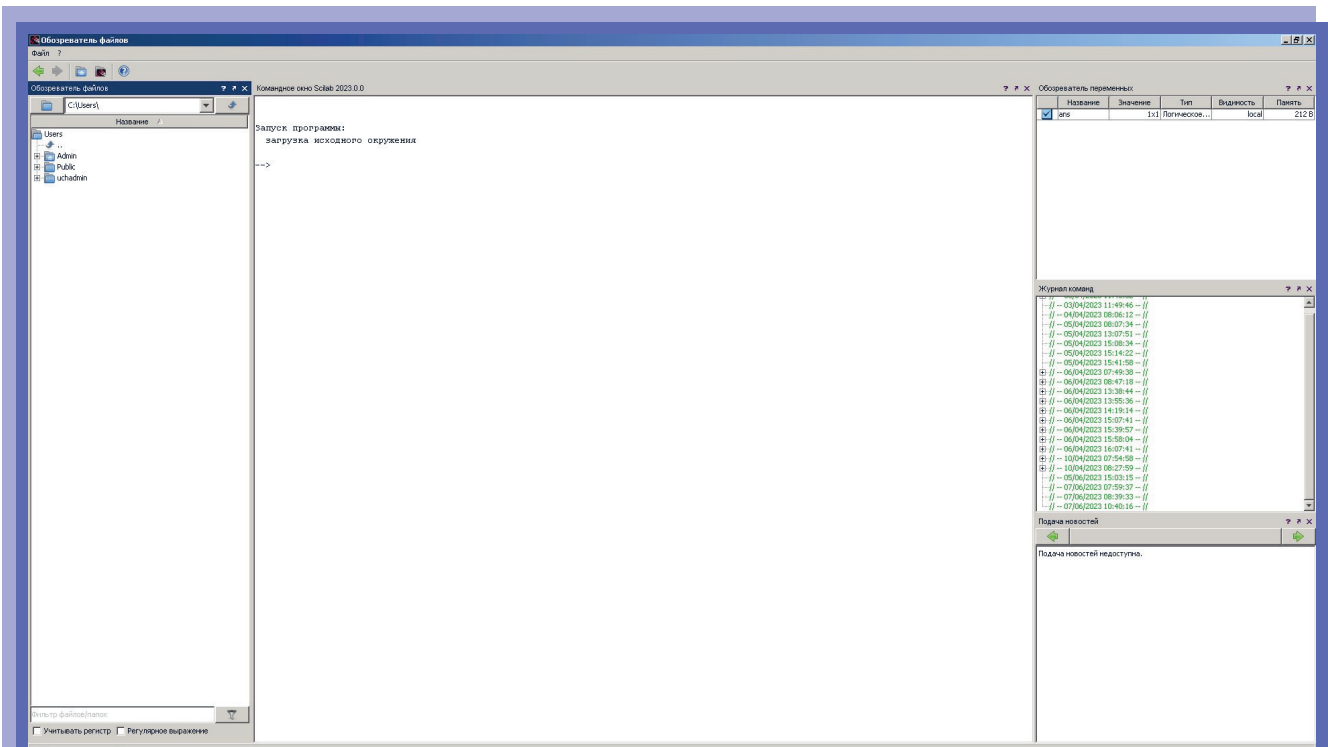


Рис. 4. Интерфейс окна SciLab

функций (на примере табличных данных: считывание xls-файла/csv-файла – readxls/csvRead, чтение листов файла – xls\_read, открытие файла для чтения – xls\_open, запись в табличный файл – write\_csv и т.д.).

Для подтверждения применимости возможностей SciLab при разработке боеприпасов описаны различные вычисления.

В ходе численного моделирования взрыва удлиненного заряда разминирования на поверхности грунта были получены зависимости давления от времени для каждого из 77 датчиков (рис. 5).

Вычислительные эксперименты проводились с варьированием взрывчатых веществ, конструкции и расположения удлиненного заряда разминирования (несколько десятков вариантов расчетов). Данные по давлению на каждом датчике для всех вариантов расчетов экспортировались в файл табличного формата, поддерживаемого SciLab.

Обработка (сортировка, выборка, преобразование, вычисление по формулам и пр.) экспортированных данных средствами любого из табличных процессоров является монотонной трудоемкой работой, слабо поддающейся фор-

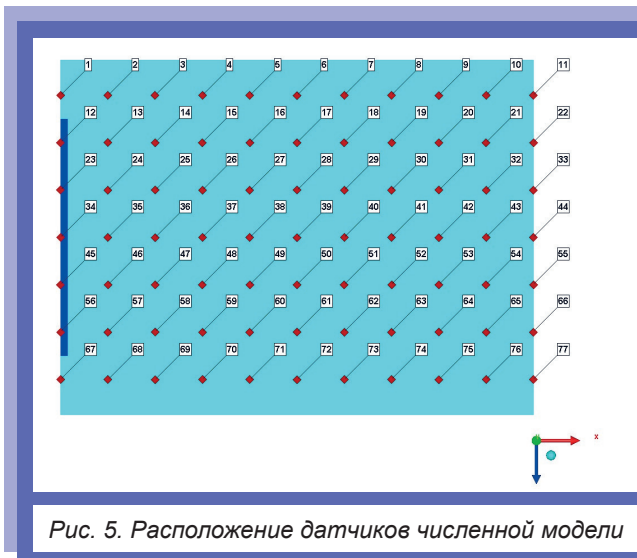


Рис. 5. Расположение датчиков численной модели

мализации и автоматизации. Средства SciLab обеспечивают возможность значительно упростить, ускорить и исключить ошибки такой обработки путем написания программы на внутреннем скриптовом языке.

Запуск модуля SciNotes, изначально ориентированного на разработку таких программ, осуществляется через вкладки «Инструменты» → «Текстовый редактор SciNotes» (рис. 6).

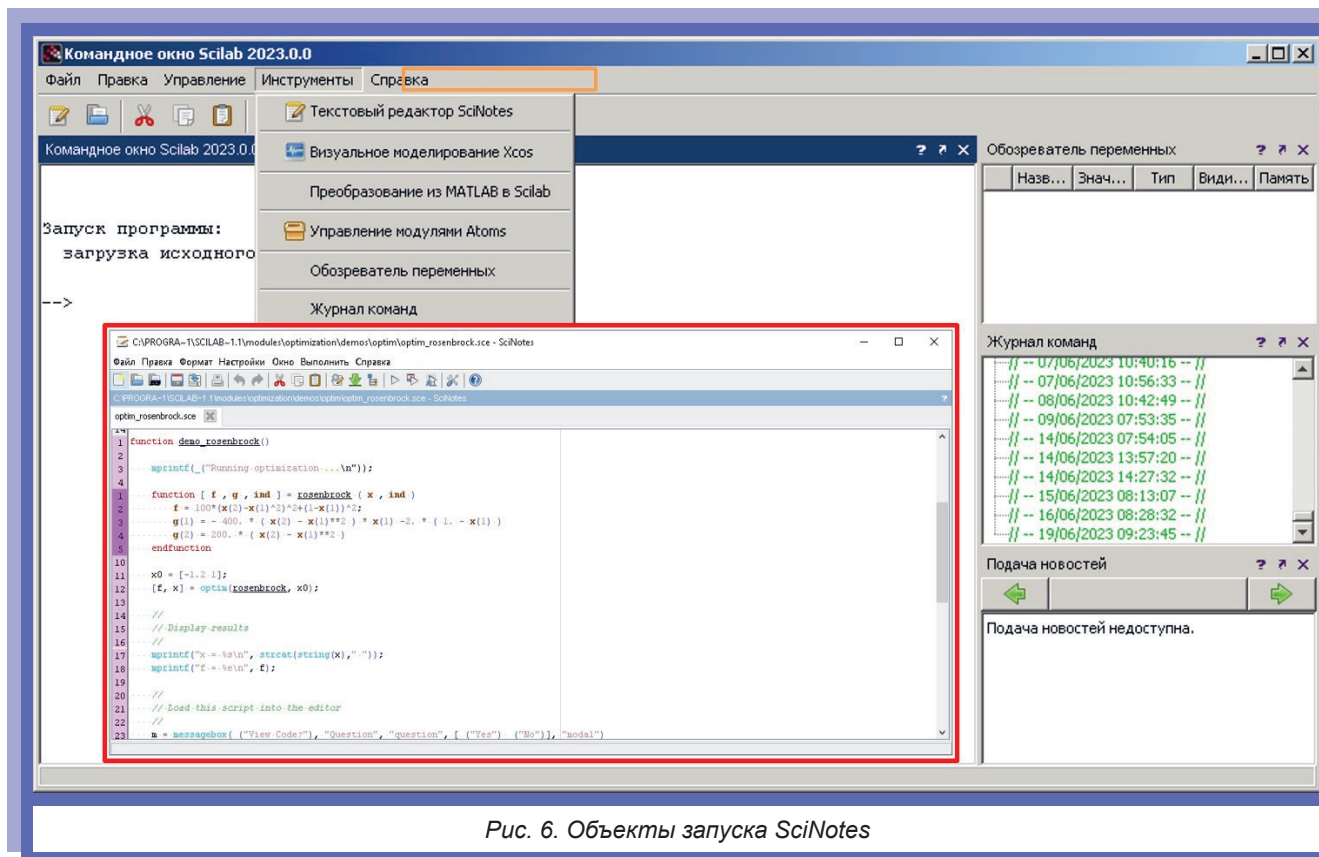


Рис. 6. Объекты запуска SciNotes

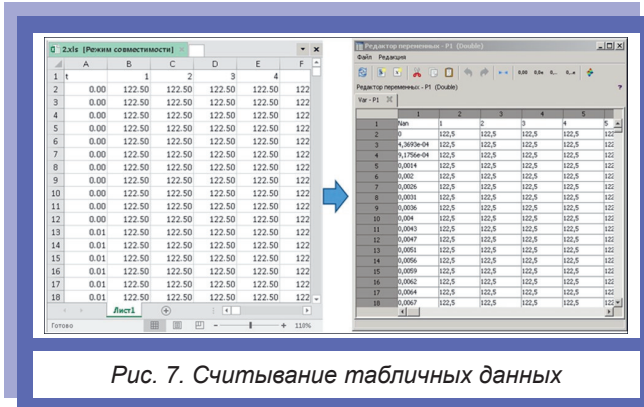


Рис. 7. Считывание табличных данных

В редакторе SciNotes поддерживается импорт файлов из достаточно широкого перечня специализированных форматов (\*.sci, \*.sce, \*.tst, \*.start, \*.quit, \*.dem) или в любом другом текстовом формате с поддерживаемой кодировкой (например, \*.m, \*.txt).

Алгоритмом программы обработки значений давления во времени с массива датчиков предполагается их выборка по диапазону значений, интегрирование, вычисление импульсов и визуализация полученных результатов на графике.

Более подробное содержание шагов алгоритма программы заключается в следующем:

1. Экспортированные табличные данные, полученные с помощью численного расчета, считываются в формате \*.xls и загружаются в матрицу с помощью функции readxls (рис. 7).

2. Считанные данные обрабатываются с помощью матричных функций (например, nnz), а также циклов типа «for», целью которых является сравнительный отбор между начальным модельным значением и соответствующими положительной фазе сжатия ударной волны давлениями [5]. На выходе шага формируется сокращенная матрица, полученная в результате отбора.

3. Сокращенная матрица построчно интерполируется с помощью функций interp1 и linspace, а полученные результаты визуализируются двумерными графиками давления с использованием команды plot (рис. 8), выводящимися в автономном графическом окне (красные сплошные линии, в которых максимальные давления выше критического, и синие пунктирные, в которых они ниже).

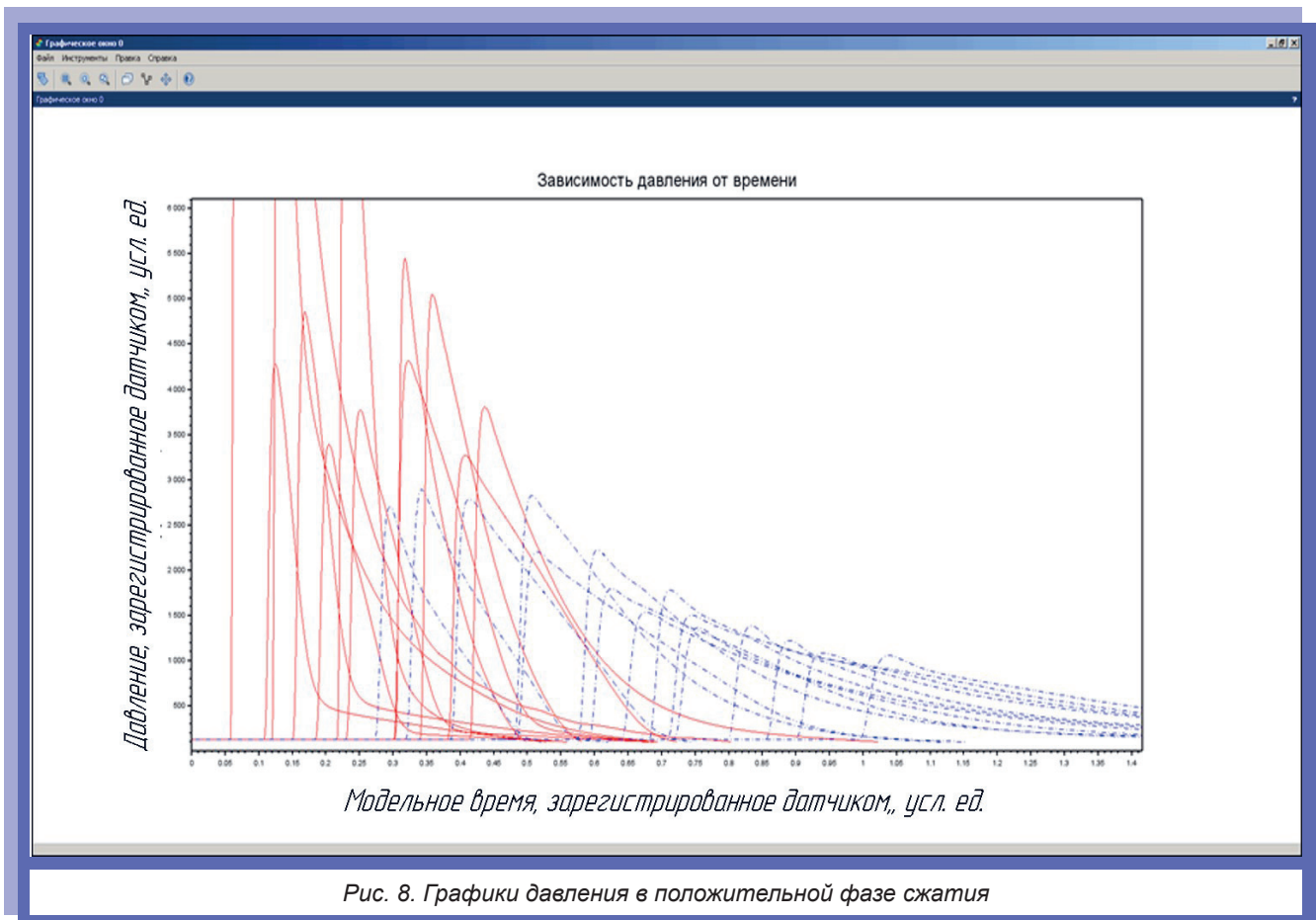


Рис. 8. Графики давления в положительной фазе сжатия



4. Рассчитываются удельные импульсы на каждом датчике путем сложения (интегрирования) матричных данных, находящихся под кривыми давлений (применяется цикл с предусловием «while» и поэтапное суммирование). Результатом шага стала матрица импульсов, которые распределены по мере удаления от оси заряда для каждой линии датчиков.

5. Сравняются критический удельный импульс для конкретного взрывательного устройства [6] и полученная матрица импульсов на датчиках. Далее формируется матрица поля или области разминирования. При необходимости проводятся дополнительные вычисления.

Один из возможных вариантов визуализации поля (области) разминирования представлен на рис. 9.

Обработка результатов других вариантов численного моделирования в среде SciLab потребует лишь изменения имени файла экспортированных данных по давлению при перечислении параметров функции «readxls», а все остальные операции (шаги алгоритма) будут выполнены автоматически в соответствии с уже имеющимся листингом программы.

По сравнению с SciLab продолжительность выполнения аналогичных шагов в табличном процессоре займет в половину больше времени.

Для формирования поля (области) разминирования за счет срабатывания взрывательного устройства по величине давления и превышению минимального времени его воздействия на чувствительный элемент в программу необходимо внести небольшие изменения.

Среда SciLab, будучи бесплатным аналогом, обеспечивает приемлемые возможности использования функционала m-файлов, являющихся стандартным форматом в программе Matlab. Интерфейс конвертора «\*.m ® \*.sce» с доступными настройками преобразования (рис. 10).

При вызове функции «mfile2sci» с указанием ссылки на файл с расширением «\*.m» производится замена используемых функций Matlab эквивалентными примитивами и функциями SciLab. Опыт эксплуатации демонстрирует 95% успешности таких преобразований в автоматическом режиме. Оставшиеся несовместимыми 5% команд достаточно быстро корректируются вручную.

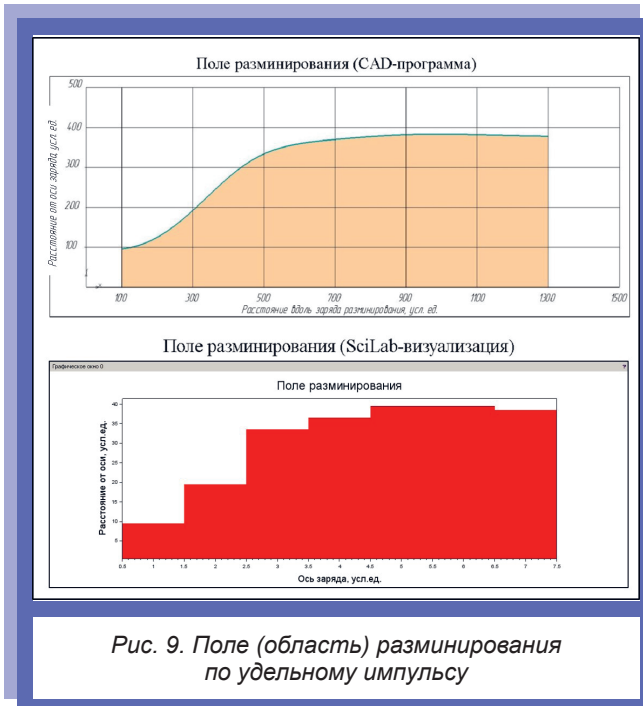


Рис. 9. Поле (область) разминирования по удельному импульсу

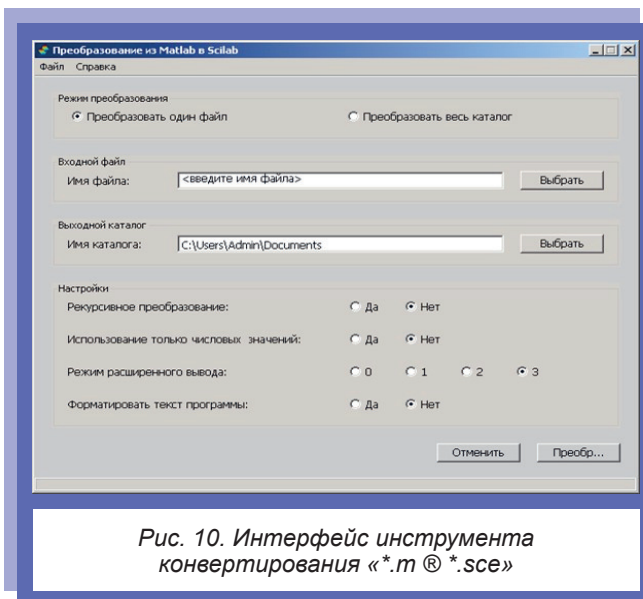


Рис. 10. Интерфейс инструмента конвертирования «\*.m ® \*.sce»

Принципиальных отличий и существенных ограничений при использовании в процессе разработки инженерных боеприпасов среды SciLab, по сравнению с проприетарными аналогами, не выявлено. Специалистам с опытом работы в среде Matlab для уверенной эксплуатации программы SciLab требуется время только на ознакомление с особенностями интерфейса и синтаксисом используемого функционала.

Приведенный пример унифицированного программного блока автоматизированной обработки результатов численного моделиро-

вания доказывает практическую значимость материалов статьи и возможность применения программы SciLab в ходе проектирования перспективных инженерных боеприпасов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт INRIA [Электронный ресурс]. URL: <https://www.inria.fr/> (дата обращения 22.06.2023).
2. Официальный сайт Dassault [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dassault-aviation.com/> (дата обращения 22.06.2023).
3. Официальный сайт SciLab [Электронный ресурс]. URL: <https://www.scilab.org/> (дата обращения 22.06.2023).
4. Фомин Д.М. Моделирование в MATLAB/Simulink и SCILAB/Scicos: уч. пособие / под ред. П.В. Пакшина. Н. Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2011. 289 с.
5. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара: уч. пособие. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 304 с.
6. Заграждения, их устройство и преодоление в бою и операции: учебник / Т.М. Саламахин [и др.]. М.: Изд-во «Общевойсковая Академия ВС РФ», 2008. Ч. I. 464 с.



УДК 623.454.25

## АЛГОРИТМ ЗАЩИТЫ ВИДЕО СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНОГО РАДАРА-ВЫСОТОМЕРА ОТ АКТИВНОЙ МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ПОМЕХИ

Д-р техн. наук, проф. О.Ф. АНДРЮШИН, А.А. ИВАНЦОВ, Ф.Ф. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ,  
канд. техн. наук М.Г. ФАБРИЧНЫЙ, канд. техн. наук А.В. ФЕДОРОВ  
(Московский филиал АО «НПО «Поиск»)

*Рассмотрены результаты воздействия активной узкополосной монохроматической помехи на видео сверхкороткоимпульсного радара-высотомера. Проведено полунатурное моделирование ее влияния на незащищенный радар. Математически рассчитан алгоритм защиты. Показано, что предложенный вариант обработки сигнала обеспечивает приемлемую помехозащищенность.*

**Ключевые слова:** СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНЫЙ РАДАР; АКТИВНЫЕ ПОМЕХИ; ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ; ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; ОБРАБОТКА СИГНАЛА; СИСТЕМА БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ.

Известно, что сверхширокополосная или сверхкороткоимпульсная (СКИ) локация с длительностью зондирующего импульса 1 нс и менее по сравнению с традиционной узкополосной характеризуется многократно расширенными информационными возможностями, позволяющими кардинальным образом повысить точность, разрешающую способность, скрытность применения сверхширокополосных радаров,

относящихся к классу систем ближней радиолокации [1, 2].

Однако наряду с перечисленными преимуществами необходимо отметить один существенный недостаток сверхширокой полосы пропускания приемного канала СКИ-радаров, связанный с незащищенностью от активной монохроматической помехи, формируемой станцией помех не в результате перехвата зондирующего импульса

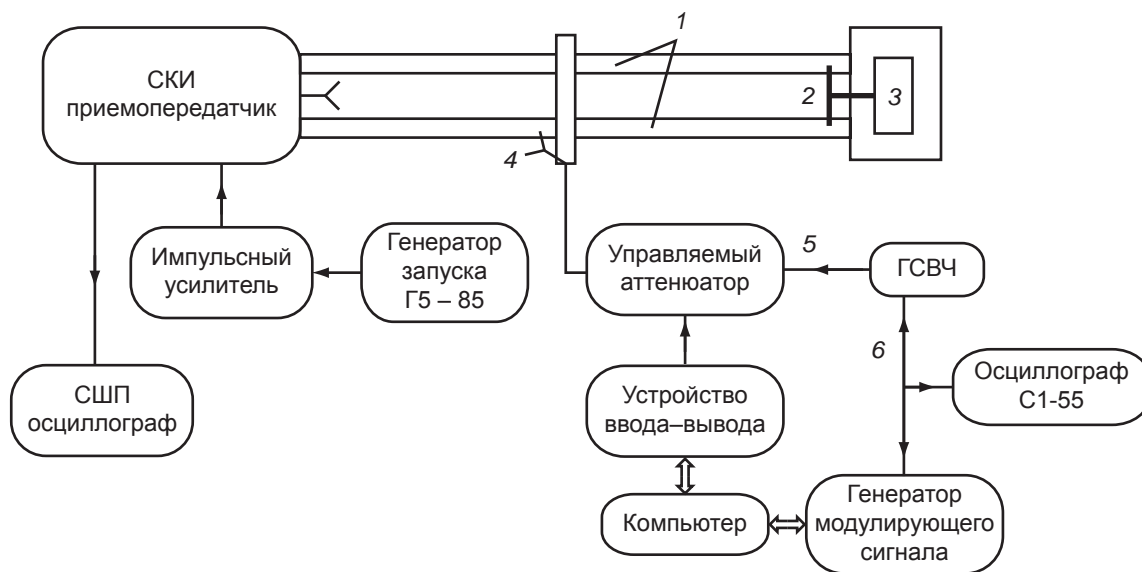


Рис. 1. Структурная схема измерительной установки для проведения полунатурных испытаний на защищенность макета SKI-радаров от воздействия активной монохроматической помехи: 1 – направляющие; 2 – отражающий экран; 3 – угловой позиционер; 4 – антенна помех; 5 – СВЧ-выход; 6 – вход для модуляции

SKI-радаров, что практически невозможно из-за низкой вероятности обнаружения излучения локатора, а путем последовательного сканирования частотного гигагерцового диапазона, в котором функционирует сверхкороткоимпульсный радар-высотомер. Наибольшую опасность для приемного канала SKI-радаров в этом диапазоне представляет квазимонохроматическая помеха с полупериодом, равным длительности SKI-импульса. Помеха подобного типа вполне может быть сформирована такими источниками помех, как:

станция помех индивидуальной защиты АН/АLQ-161R, работающая в частотных диапазонах для генерации помех 0,5...1 ГГц, 2,6...5,2 ГГц, 5,2...10,4 ГГц, 10,4...40 ГГц [3];

передатчики одноразового действия (ПОД) групповой защиты: GLT-3 (диапазоны: 2...4 ГГц, 20 Вт), «Фри-Мос» (1,5...5 ГГц до 100 Вт) и другие (НИР «Грифон7-Дельта», 2012 г.).

С целью оценки степени защищенности SKI-радаров была разработана измерительная установка для проведения полунатурных испытаний на защищенность его макета от воздействия активной монохроматической помехи.

Уровень сигнала помехи на выходе приемной антенны макета SKI-радаров, создаваемой моде-

лируемой станцией помех (СП), рассчитывался по формуле [4]:

$$P_n = \frac{P_{СП} \cdot G_{СП}}{4\pi \cdot R_{обн}^2} \cdot \frac{G_L \cdot \lambda^2}{4\pi},$$

где  $P_{СП}$  – мощность излучения станции помех;  $G_{СП}$ ,  $G_L$  – коэффициенты усиления антенн СП и локатора;  $\lambda$  – длина волны;  $R$  – расстояние между локатором и СП.

Расчеты по приведенной формуле выполнялись для станции помех с мощностью излучения 300 Вт на частоте 3 ГГц, находящейся на дальностях 300...500 м [3]. При этих условиях на выходе антенны SKI-радаров при нагрузке 50 Ом создается сигнал напряжением 16...9,5 мВ.

При расчетах полагалось, что антенны станции помех и SKI-радаров с коэффициентами усиления  $G_{СП} = 10$  и  $G_L = 8$  соответственно были направлены друг на друга.

Моделирование отраженного сигнала SKI-радаров производилось по методике, изложенной в статье [5], с помощью металлической пластины с ЭПР, равной ЭПР поверхности земли на расстоянии 3...4 м [5, 6].

На рис. 1 и 2 представлены структурная схема и внешний вид измерительной установки для проведения полунатурных испытаний на защищенность макета СКИ-радаров от воздействия активной монохроматической помехи.

Макет СКИ-радаров реализован на основе сверхкороткоимпульсного приемопередатчика «Одноцветник-43» и плоской модифицированной антенны «Бабочка» [2]. Запуск приемопередатчика инициируется генератором импульсов Г5-85 через усилитель. Обработка отраженного сигнала производится сверхширокополосным осциллографом MSO71254C.

На антенну макета подается помеховый сигнал, имитируемый с помощью сверхкороткочастотного (СВЧ) генератора N5381A, модулируемого от Pattern – генератора модулирующих функций NI-5412. Контроль сигнала, подаваемого на модулирующий вход СВЧ-генератора, производится осциллографом С1-55. Мощность имитируемой помехи регулируется



*Рис. 2. Общий вид приборов и устройств установки для полунатурных испытаний на защищенность макета СКИ-радаров от воздействия активной узкополосной монохроматической помехи*

управляемым от компьютера через устройство ввода–вывода аттенуатором (последовательно соединенные электромеханические аттенуаторы СВЧ 150Т-110 и 150Т-10).

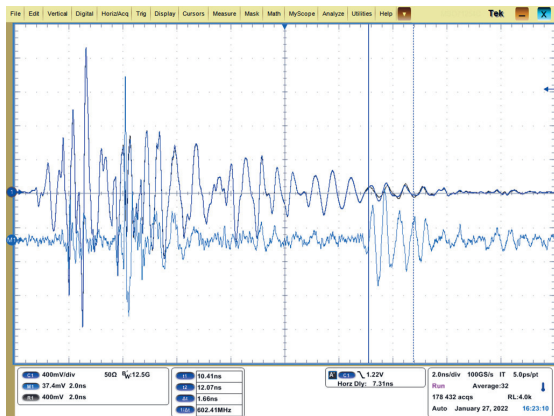
Экран, моделирующий отраженный от поверхности сигнал, устанавливается на двухкоординатном угловом позиционере (рейтер с поворотным оптическим столиком), имеющий возможность перемещения на направляющих относительно антенны макета СКИ-радаров. Мощность сигнала помехи, подаваемая на макет радаров с помощью антенны помех, контролируется анализатором спектра 8596E «Agilent» и замеряется измерителем мощности NRP-2 R&S.

Целью проведения полунатурных испытаний СКИ-радаров была оценка защищенности последнего от воздействия активной монохроматической помехи.

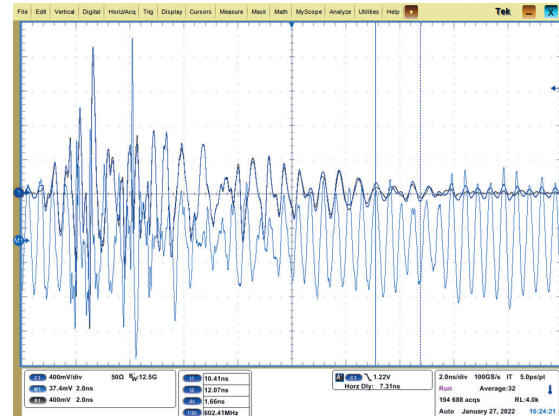
На разработанной установке были проведены полунатурные испытания. На осциллограммах (рис. 3) отраженного сигнала на выходе приемного канала макета СКИ-радаров (левая осциллограмма – отраженный от зондируемой поверхности сигнал при отсутствии монохроматической помехи, правая – отраженный сигнал на фоне воздействующей на макет видео СКИ-радаров помехи) видно, что отраженный сигнал на правой осциллограмме полностью маскируется квазимонохроматической помехой, попадающей в полосу пропускания приемника СКИ-радаров.

Получив ожидаемый результат при полунатурных испытаниях макета СКИ-радаров на защищенность от активной монохроматической помехи, с помощью математического моделирования была проведена оценка возможности использования алгоритма борьбы со случайными внутренними шумовыми помехами, описанного в статье [2], для подавления внешних – монохроматических.

Математическое моделирование обработки зондирующего и отраженного (смешанного с импульсом помехи) сигналов заключалось в возбуждении периода повторения зондирующего сигнала (максимальный размах изменения периода составлял 10% от среднего значения) и когерентном накоплении принимаемого сигнала в стробе дальности (рандомизации сигнала помехи).



а



б

Рис. 3. Осциллограммы сигналов: а – отраженный сигнал (в области, ограниченной метками) без помехи; б – отраженный сигнал при воздействии помехи. Вычитающий алгоритм обработки сигнала реализован с помощью программного обеспечения осциллографа MSO 71254С)

Таблица 1. Величины накопления отраженных импульсов при нормальном распределении отклонений от среднего периода при возбуждении

Номер эксперимента	Число накопления		
	10	100	1000
1	-0,015	-0,087	-0,023
2	-0,51	0,128	0,01
3	0,265	0,103	-0,048
4	0,121	0,028	0,018
5	-0,178	0,074	-0,001
Разброс	-0,51...0,265	-0,087...0,128	-0,001...0,048

Таблица 2. Величины накопления отраженных импульсов при равномерном распределении отклонений от среднего периода при возбуждении

Номер эксперимента	Число накопления		
	10	100	1000
1	-0,337	0,035	-0,023
2	0,579	0,024	0,01
3	0,128	0,101	-0,048
4	-0,117	-0,025	0,018
5	0,093	0,021	-0,001
Разброс	-0,337...0,579	-0,025...0,101	-0,044...0,018

Ниже приведены таблицы оценки среднего значения монохроматической активной помехи при разных величинах накопления отраженных импульсов:

при нормальном распределении отклонений от среднего периода при возбуждении (табл. 1);

при равномерном распределении (табл. 2).

Алгоритм расчета отличался только выбором функции генерации случайных чисел. Исходный уровень сигнала принят за единицу.

Из приведенных таблиц следует, что рандомизация монохроматической помехи путем

вобуляции периода повторения и вычисления оценки среднего значения при нормальном датчике случайных чисел позволяет ослабить ее амплитуду, соответственно, как минимум в 4, 8, 20 раз при накоплении 10, 100 и 1000 импульсов. При равномерном датчике случайных чисел, соответственно, как минимум в 1,7, 9,9 и 23 раза.

Таким образом, в результате проведенных полунатурных испытаний СКИ-радаров на помехозащищенность от воздействия активной монохроматической помехи, а также математического моделирования процессов вобуляции периода повторения зондирующих импульсов с помощью программы генерации случайной последовательности чисел и рандомизации монохроматической активной помехи можно сделать вывод о том, что алгоритм борьбы со случайными внутренними шумовыми помехами эффективен и для защиты видео сверхкороткоимпульсного радара-высотомера от активной монохроматической помехи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иммореев И.Я., Синявин А.Н. Излучение сверхширокополосных сигналов // Антенны. 2001. Вып. 1(47).
2. Андрияшин О.Ф., Иванцов А.А., Фабричный М.Г. Отличительные особенности создания СШП видеоимпульсных радаров для НВУ боеприпасов различных типов // Боеприпасы. 2018. № 3. С. 67–76.
3. Андрияшин О.Ф., Иванцов А.А., Фабричный М.Г. // Боеприпасы XXI век. 2020. № 2. С. 82–83.
4. Андрияшин О.Ф., Иванцов А.А., Фабричный М.Г. Имитация отраженного СКИ-сигнала при полунатурном моделировании процесса ближней локации в сверхширокополосном диапазоне // Боеприпасы. 2018. № 1.
5. Перунов Ю.М., Мацукевич В.В., Васильев А.А. Зарубежные радиоэлектронные средства. М.: «Радиотехника», 2010. Кн. 1–4.
6. Дулевич В.Е. Теоретические основы радиолокации. М.: Советское радио, 1964.



---

---

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

---

---

УДК 623.488

**БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ  
БОЕПРИПАСОВ НА ПРОСТРЕЛ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ  
ОСКОЛКОМ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ И МАССЫ**

Канд. техн. наук *Н.М. ВАГУТИН*, канд. техн. наук *В.С. ЗАВЬЯЛОВ*, канд. техн. наук *В.В. КОЛТУНОВ*,  
д-р техн. наук *Н.С. СОНИН*, д-р техн. наук *А.Б. ТЕРЕНТЬЕВ*  
(ФКП «Национальное испытательное объединение  
«Государственные боеприпасные испытательные полигоны России»)

*Поднимается тема разработки боеприпасов повышенной стойкости к опасным внешним воздействиям. Описываются различные методы их испытаний в России и за рубежом. Предложена конструкция баллистической установки для тестирования боеприпасов повышенной стойкости на прострел высокоскоростным осколком заданной формы и массы в соответствии с международными нормами и правилами. Она обеспечивает испытание действия осколков, движущихся со скоростью до  $2530 \pm 90$  м/с.*

**Ключевые слова:** ИСПЫТАНИЕ; ПРОСТРЕЛ; БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА; ОСКОЛОК; СКОРОСТЬ; БОЕПРИПАС ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ; ОПАСНОЕ ВНЕШНЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.

Опыт последних лет показал актуальность вопроса повышения живучести военной техники в боевых условиях. Обеспечение безопасной эксплуатации боеприпасов (БП), их транспортировки и хранения требует разработки нового типа БП, обладающих повышенной стойкостью к опасным внешним воздействиям, к числу которых относятся падение, пожар и прострел. Военно-промышленными комплексами (ВПК) зарубежных стран данному вопросу уделяется большое внимание, разработаны соответствующие нормы и правила [1, 2]. На вооружении

уже находятся боеприпасы, называемые малоуязвимыми.

Проведенные зарубежными специалистами исследования по всем возможным опасным внешним воздействиям на БП, их математическому и натурному моделированию позволили определить перечень как особых характеристик, которым должна отвечать конструкция БП с повышенной стойкостью к опасным внешним воздействиям, так и методы и последовательность их испытаний. Это привело к разработке требований и норм, предъявляемых

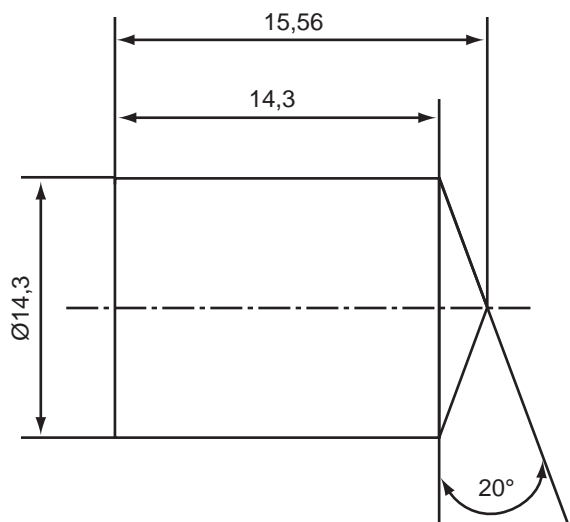


Рис. 1. Легкий осколок, имеющий допуски по линейным размерам  $\pm 0,05$  мм и угловым  $\pm 0^\circ 30'$

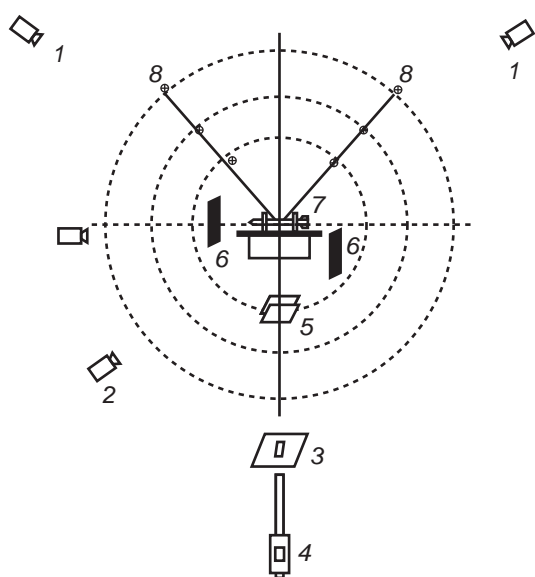


Рис. 2. Схема испытания БП на воздействие осколком: 1 – камеры наблюдения в режиме реального времени, реагирование изделия, последствия взрыва; 2 – высокоскоростная камера, точка удара, реагирования изделия; 3 – защитные экраны; 4 – огневое средство для выстрела осколком; 5 – приборы измерения скорости осколком; 6 – контрольные пластины; 7 – испытуемый объект (при необходимости фиксируется); 8 – датчики параметров взрывной волны

к использованию и испытаниям БП, взрывчатых веществ (ВВ) и взрывчатых составов (ВС). Разработанные иностранные методы испытаний нашли свое отражение в международных нормах и правилах, одобренных Организацией Объединенных Наций [1–3]. Это сказалось на увеличении температуры и времени воздействия на БП с 6 мин при  $600 \pm 100$  °С до 15 мин при  $800 \pm 50$  °С при проведении испытания нагревом; увеличении скорости и массы осколком при испытании на прострел с 8,13 г при  $1250 \pm 50$  м/с до 16 г при  $2530 \pm 90$  м/с в момент соударения. Кроме того, появились и такие методы испытаний, как медленный нагрев со скоростью  $3,3$  °С/ч; симпатическая реакция; на прострел тяжелым осколком массой  $252 \pm 1$  г со скоростью  $2500 \pm 90$  м/с; воздействие кумулятивной струи и веера осколков.

Отсутствие комплекса аналогичных отечественных унифицированных стандартов стойкости боеприпасов к опасным внешним воздействиям и их эксплуатационной безопасности не позволяет сконцентрировать усилия на разработке и создании ВС и БП, отвечающих современным требованиям. Этот вопрос уже неоднократно обсуждался на совещаниях Совета по технической химии и новым материалам коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации по решению проблемных вопросов разработки и производства перспективных ВС и их компонентов для БП.

Для решения проблемы в 2015 г. была создана межведомственная рабочая группа по вопросам разработки БП с повышенной стойкостью к опасным внешним воздействиям. В нее вошли ведущие организации и предприятия ОПК по разработке боеприпасов, ВВ и ВС, а также профильные организации Минобороны России. В настоящее время группа готовит сравнительные испытания отечественных БП, снаряженных штатными ВС и перспективными малочувствительными ВС (МЧВС). При их проведении будет оцениваться стойкость БП по действующим методикам: к прострелу пулей БЗТ-44 калибра 12,7 мм; воздействию осколком; быстрому и медленному нагреву; при сбросе в штатной упаковке и без нее; влагостойкости.

Отечественные методики испытаний, разработанные более 30 лет назад, не учитывают





Рис. 3. Внешний вид экспериментальных установок для высокоскоростного метания осколков на полигонах в Англии (а) и Франции (б)

специфику воздействия на перспективные БП внешних условий. За рубежом такие разработки уже имеются [1–3].

Одним из основных видов испытаний является тестирование боеприпасов на стойкость к прострелу легким осколком  $\varnothing 14,3 \pm 0,05$  мм и массой 18,6 г со скоростью в момент удара  $2530 \pm 90$  м/с, а также тяжелым осколком  $\varnothing 39,5$  мм и массой  $252 \pm 1$  г со скоростью  $2500 \pm 90$  м/с [1–4]. Форма легкого осколка производится по STANAG 4496 из низкоуглеродистой стали с твердостью по Бринеллю не менее 270 (рис. 1).

Схема проведения испытаний БП с повышенной стойкостью на воздействие осколком по STANAG 4496 показана на рис. 2.

Имеющиеся на вооружении серийные артиллерийские системы обеспечивают получение начальной скорости снаряда не более 1800 м/с. Поэтому для метания осколка указанной выше формы и массы со скоростью в момент удара до 2530 м/с за рубежом используются специальные баллистические установки (БУ) с удлиненными стволами для увеличения скорости. Такое оборудование есть практически у всех промышленно развитых стран – США, Франции, Англии, Нидерландов [1–5].

БУ, разработанные в Англии и Франции, представлены на рис. 3. Английская установка обеспечивает метание осколка массой 18,6 г по АОР(STANAG)-4496. Для метания со скоростью до 1830 м/с и 2530 м/с используются БУ калибрами 30 и 40 мм. Осколок диаметром 20 мм помещается в разрезной пластиковый поддон, который в полете отделяется от осколка и тормозится защитным экраном. Для достижения скорости соударения 2530 м/с с БП,



Рис. 4. Вид экспериментальных установок в Нидерландах (а) и США (б)

расположенным на расстоянии 10 м от среза ствола, дульная скорость установки должна быть около 2750 м/с.

Места испытаний боеприпасов с повышенной стойкостью на поражение осколком в соответствии с требованиями АОР(STANAG)-4496 за рубежом показаны на рис. 4.

Отсутствие в России подобных баллистических стволов осложняет вопрос разработки и проведения испытаний перспективных БП. В связи с этим необходимо разработать отечественное устройство для прострела осколком с большой скоростью.

Рассмотрены различные известные способы высокоскоростного метания тел. Проведенный анализ показал, что газокумулятивные заряды, жидководородные, электротермические, электроплазменные, электростатические ускорители хотя и обеспечивают получение скоростей до

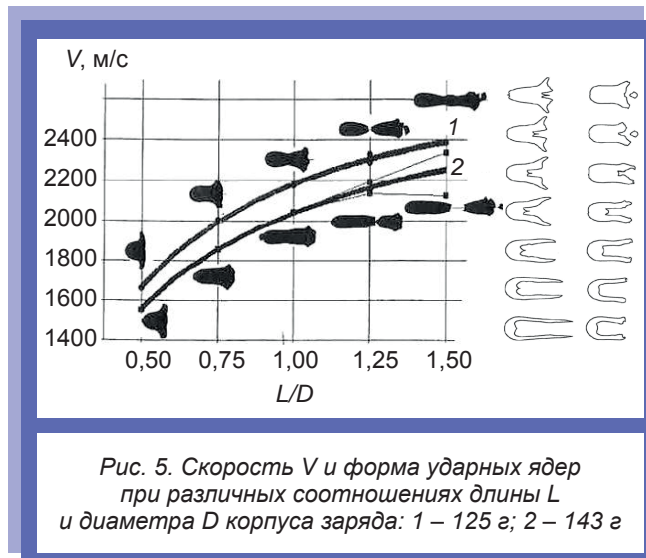


Рис. 5. Скорость  $V$  и форма ударных ядер при различных соотношениях длины  $L$  и диаметра  $D$  корпуса заряда: 1 – 125 г; 2 – 143 г

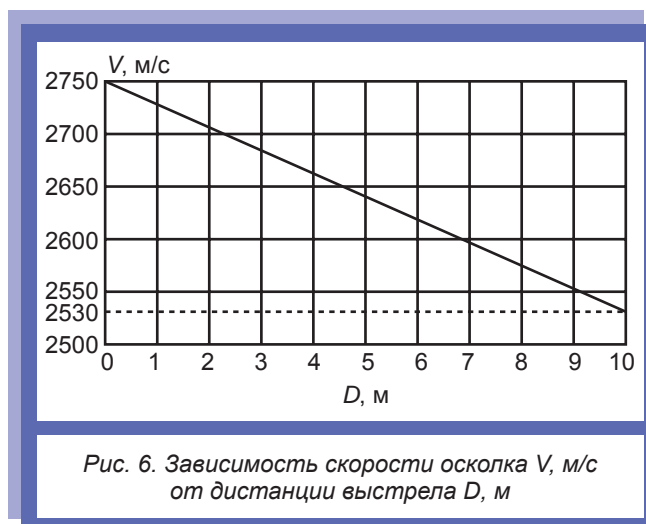


Рис. 6. Зависимость скорости осколка  $V$ , м/с от дистанции выстрела  $D$ , м

160000 м/с, но только для элементов с размером, не превышающим нескольких микронов, а массой – лишь несколько миллиграмм [6].

Использование для высокоскоростного метания легкогазовых (гелий, водород) баллистических установок [6] применительно к испытаниям БП на воздействие осколком ограничено их массогабаритными характеристиками, сложностью конструкции, большими трудозатратами на приведение в готовность и т.д. Так, например, крупнокалиберная легкогазовая пушка МТ-18М (разработка НПО «Алтай») позволяет разгонять тела массой до 2000 г до скорости 4000 м/с, однако длина ствола – 58 м и калибр 100 мм не допускают ее применение при проведении массовых испытаний в полигонных условиях.

Способны разогнать до нужных скоростей элементы требуемой формы и массы рельсотро-

ны. Но, как и легкогазовые пушки, они отличаются высокой сложностью конструкции, большой энергоемкостью и низкой надежностью, что делает невозможным их практическое применение для проведения промышленных полигонных испытаний.

Одним из подходящих способов моделирования высокоскоростного воздействия на испытуемый объект мог бы стать метод, основанный на использовании ударного ядра, которое представляет собой компактную металлическую форму в виде песта, образующегося в результате обжатия металлической облицовки заряда продуктами детонации взрывчатого состава (рис. 5). Масса ударного ядра может достигать 95% от облицовки. После ее обжатия сформировавшееся ядро получает удлиненную форму размером в четверть диаметра первоначального заряда и длиной около одного диаметра и движется со скоростью до 2500 м/с.

Ударное ядро не отвечает требованиям, установленным STANAG 4496, по геометрическим характеристикам. Оно имеет неправильную геометрическую форму, склонно к разделению на несколько частей и не имеет возможности достичь стабильных параметров формы и их воспроизводимости. Сложно обеспечить попадание ударного ядра в заданную точку испытуемого объекта, имеющего незначительные геометрические размеры. И если перечисленные недостатки являются несущественными для поражения бронированной техники, то для проведения испытаний БП с повышенной стойкостью к опасным внешним воздействиям они становятся непреодолимым препятствием.

На основании анализа способов и устройств для высокоскоростного метания установлено, что испытания технически и экономически целесообразнее проводить с использованием пороховых газов с применением ствольной баллистической установки.

Из иностранных источников [5] известно, при обеспечении заданной скорости осколка  $2530 \pm 90$  м/с в момент соударения с объектом, учитывая ее падение на дистанции порядка 10...15 м, дульная скорость осколка должна быть не менее 2750 м/с (рис. 6). Поэтому была предложена концепция создания отечественной баллистической установки, обеспечивающей ме-

тание осколков массой 18,6 г и 252 г с начальной скоростью до 2750 м/с.

Расчетным путем установлено, что для обеспечения требуемой дульной скорости в камере ствола необходимо создать давление порядка 480 МПа при длине канала не менее 9000 мм [5–7]. Характер изменения давления в канале ствола показан на рис. 7.

В качестве основы разрабатываемой отечественной баллистической установки предложено использовать штатные стволы от зенитно-артиллерийского комплекса С-60, подлежащие списанию по причине износа канала ствола. В комплексе используются 57-мм зенитные пушки АЗП-57, разработанные в середине 1940-х гг. и широко распространенные в мире. Это орудие при длине ствола 4480 мм имеет дульную энергию 1400 кДж и начальную скорость штатного снаряда 1000 м/с. После последующей расточки внутренней поверхности канала до диаметра 60 мм будут удалены существующие нарезы с целью придания каналу ствола гладкой поверхности, что необходимо для достижения максимально возможной скорости движущемуся по нему поддону с осколком [7–9]. Для повышения износостойкости поверхность канала подвергается химико-термической обработке, а для увеличения срока службы – наносится хромовое покрытие толщиной не менее 80 мкм. Снижает износ применение трибологических технологий за счет формирования на поверхности канала ствола защитного барьера [10]. Применение этих мер повышает живучесть ствола более чем в 2 раза.

Схема эскизной проработки проекта БУ для прострела высокоскоростным осколком показана на рис. 8. Ствольная часть установки представляет собой сборную конструкцию, состоящую из ствола с зарядной камерой 1, промежуточного ствола 2, оконечной части ствола 3, соединенных специальными разъемными муфтами 4. Опора казенной части ствола 5, промежуточные опоры 6, опора оконечной части ствола 7 и затвор с системой предохранения 9, которые установлены на общем основании 8.

Три штатных ствола зенитной пушки предварительно обрабатываются и соединяются между собой. Ствол с зарядной камерой укорачивается со стороны дульного среза на 900 мм – это удаля-

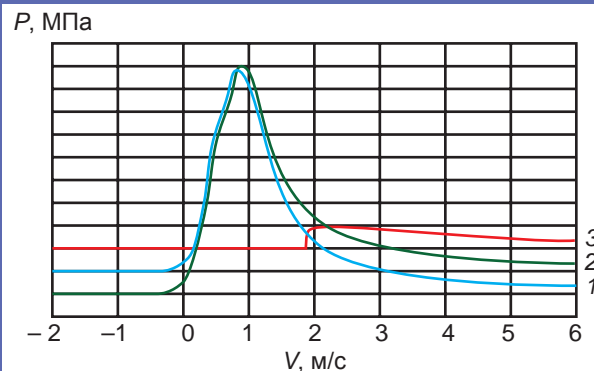


Рис. 7. Давление в зарядной камере  $P_1$  (488 МПа) (1),  $P_2$  (452 МПа) (2) и на дульном срезе ствола  $P_3$  (52,3 МПа) (3) баллистической установки при начальной скорости метания осколка  $V_0 = 2750$  м/с

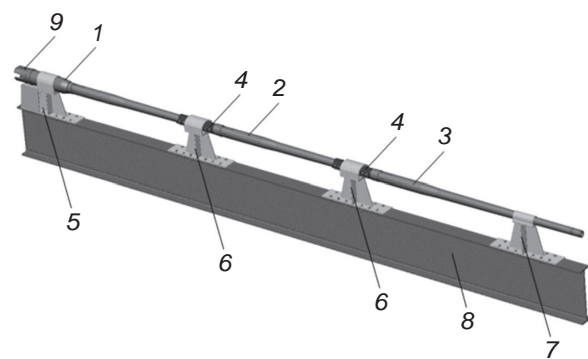


Рис. 8. Схема баллистической установки: 1 – зарядная камера; 2 – промежуточный ствол; 3 – оконечная часть ствола; 4 – разъемная муфта; 5 – казенная часть ствола; 6 – промежуточная опора; 7 – опора оконечной части ствола; 8 – общее основание; 9 – затвор с системой предохранения

ется наиболее тонкостенная часть ствола, которая является менее устойчивой при воздействии пороховых газов давлением более 480 МПа.

У промежуточного ствола удаляется зарядная камера и также наиболее тонкостенная дульная часть ствола. В связи с уменьшением в момент выстрела давления пороховых газов у дульной части БУ ее оконечная часть изготавливается по аналогии с промежуточной, но с сохранением тонкостенной, оконечной части ствола.

Для более плотного и надежного соединения торцовые части стволов обрабатываются на конус. При их соединении с использованием

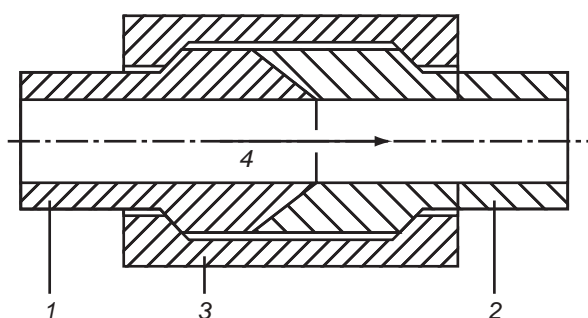


Рис. 9. Схема соединения стволов установки:  
1 – ствол с зарядной камерой;  
2 – промежуточный ствол; 3 – соединительная муфта; 4 – направление движения осколка

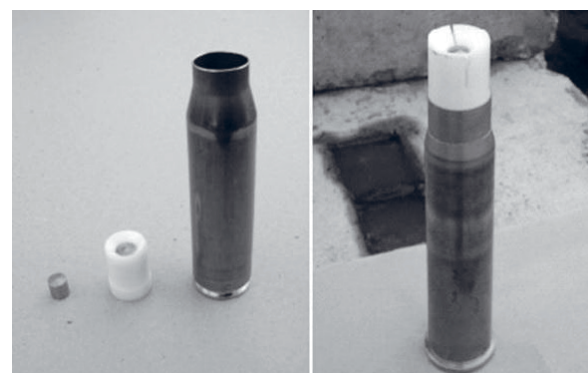


Рис. 11. Устройство и внешний вид собранного выстрела для баллистической установки

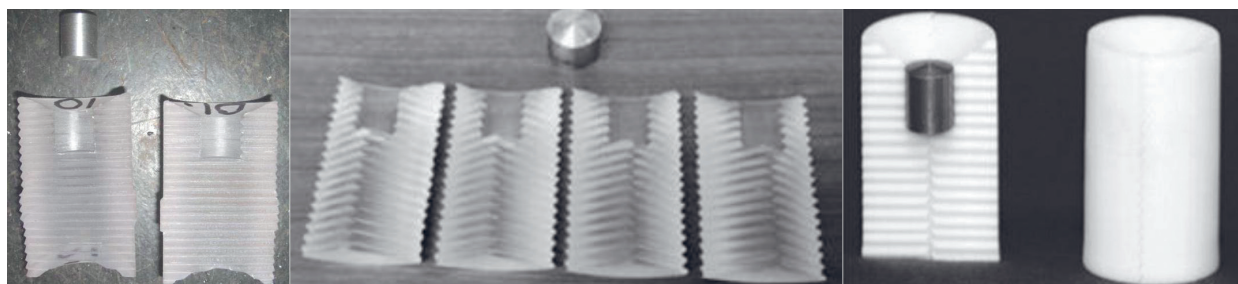


Рис. 10. Различные конструкции поддонов для прострела легким и тяжелым осколками

специальной разъемной муфты в месте стыка обеспечивается конусная посадка с натягом. Муфта устроена так, что соединяемые ею части ствола стягиваются как в поперечном, так и в продольном направлениях за счет взаимодействия конических поверхностей (рис. 9).

Учитывая большую длину ствола БУ, для исключения его колебаний в местах соединений спроектированы специальные опоры. К их верхним поверхностям жестко крепятся элементы казенной части и фрагменты соединительных муфт. Нижние поверхности опор монтируются с помощью болтового соединения к массивному основанию, которое представляет собой цельнометаллическую конструкцию из двутавровой балки. Для обеспечения достаточной жесткости и устойчивости всей конструкции баллистической установки в момент выстрела при ее транспортировке в качестве основания предлагается использовать массивную двутавровую балку не менее № 60.

Затвор баллистической установки выполняется путем глубокой модернизации штатного поршневого (винтового) затвора,двигающегося вдоль оси ствола и обеспечивающего высокую обтюрацию.

Общая длина ствола проектируемой БУ – 9300 мм, что обеспечивает метание осколков с начальной скоростью не менее 2750 м/с. Значительный объем гильзы штатного 57-мм выстрела и применение в метательном заряде перспективных высокоэнергетических пироксилиновых порохов, содержащих в качестве энергетического наполнителя мощные взрывчатые вещества (октоген или гексоген), существенно облегчает достижение требуемого давления и начальной скорости [11]. Так, высокоэнергетический пироксилиновый порох для метательных зарядов танковой артиллерии содержит до 61% нитроцеллюлозы в качестве горючего связующего и до 29% гексогена – как кристаллического энер-

гетического наполнителя [12]. При использовании таких порохов существенно увеличивается нагрузка на сам ствол и снижается его ресурс. Однако, учитывая опытный характер эксплуатации баллистической установки, некоторое снижение его ресурса не имеет принципиального значения.

Выстрел из установки производится унитарным патроном, состоящим из штатной гильзы, капсюльной втулки, усиленного порохового заряда и снаряда, который представляет собой осколок заданной формы и размера, находящийся в пластиковом секторном поддоне. Материалом для изготовления поддона могут служить фторсодержащие полимерные композиции типа АФГМ или полиамид типа ПА-6, обладающие достаточной прочностью и высокими антифрикционными свойствами. Причем плотность полиамида почти в 2 раза меньше, чем у фторсодержащих композиций. В центре поддона, состоящего из нескольких составных частей, имеется гнездо для установки осколка. Составные части поддонов имеют специальную форму, обеспечивающую их плотное смыкание, исключая прорыв пороховых газов в процессе его движения по каналу ствола баллистической установки. Конструкции полимерных поддонов представлены на рис. 10.

Составные элементы выстрела и внешний вид собранного унитарного патрона (выстрела) для БУ изображены на рис. 11.

Установка собранного унитарного выстрела в зарядную камеру, его досылание, запираание затвора и взведение ударника производятся вручную, а выстрел – дистанционно с тросовым механизмом снятия блокировки и спуска ударного механизма.

Аналитические исследования и конструкторская проработка ключевых элементов показывают возможность создания на базе списанных стволов зенитной пушки АЗП-57 отечественной БУ для метания осколков. Ее назначение – испытание БП с повышенной стойкостью к опасным внешним воздействиям в соответствии с международными нормами и правилами (обеспечения в момент удара по испытываемому боеприпасу осколком массой 18,6 г со скоростью  $2530 \pm 90$  м/с и массой 252 г со скоростью  $2500 \pm 90$  м/с).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. AOP-39. Guidance on the assessment and development of insensitive munitions. Ed. 3. 2010.
2. STANAG 4439. Policy for introduction and assessment of insensitive munitions (IM). Ed. 10. 2010.
3. Рекомендации по перевозке опасных грузов. Руководство по испытаниям и критериям. 5-е изд., перераб. Женева: ООН, 2011. 66 с.
4. Мацеевич Б.В. Боеприпасы повышенной стойкости к опасным внешним воздействиям: особенности конструирования, испытаний и эксплуатации. Красноармейск: ОАО «КНИИМ», 2014. 168 с.
5. Lindström R., Sånabo K. Cost efficient test methods in the insensitive munitions (IM) program // The 2009 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium. Tucson, USA. P. 1–15.
6. Высокоскоростное метание твердых тел / Л.А. Мержневский [и др.] // Физика горения и взрыва. 1987. № 5. С. 77–91.
7. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях / Н.А. Златин [и др.]. М.: Наука, 1974.
8. К вопросу о разработке боеприпасов с повышенной стойкостью к опасным внешним воздействиям и методах их испытания: сб. тр. IX Всерос. конф. Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах» / А.Б. Терентьев [и др.]. / под ред. А.М. Липанова. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2017. С. 281–287.
9. Баллистическая установка для высокоскоростного метания осколков: пат. 2686376 Рос. Федерация № 2018108994 / А.Б. Терентьев [и др.]: ФГКВУВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева»; заявл. 13.03.2018; опубл. 25.04.2019.
10. Сидоров М.И. Повышение живучести артиллерийских систем на основе моделирования и управления трибохимическими процессами изнашивания: дис. докт. техн. наук. М.: ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН», 2018. 321 с.
11. Расчет пороховой пушки для метания тяжелых осколков: сб. тр. IX Всерос. конф. «Внутрикамерные процессы и горение в установках на твердом топливе и ствольных системах / В.Я. Базотов [и др.]. Ижевск: УдмФИЦ УрО РАН, 2020. С. 32–35.
12. Высокоэнергетический пироксилиновый порох для метательных зарядов танковой артиллерии: пат. 2711143 Рос. Федерация № 2018141924 / Ю.М. Михайлов [и др.] // ФКП «ГосНИИХП»; заявл. 27.11.2018; опубл. 01.15.2020.

УДК 620.9.(678.5+541.11)

## СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФАЗОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ ПОЛИЭФИРУРЕТАНА

Д-р техн. наук, проф. Ю.М. ЛОТМЕНЦЕВ, Н.Н. ИЛЬИЧЕВА, Н.Н. КОНДАКОВА  
(Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева)

*Изучены структурно-механические свойства, термодинамическая устойчивость и условия кристаллизации каучука в составах связующих на основе кристаллического полиэфируретана ПУ-ПБА и нитроэфирных пластификаторов. Показано, что вулканизаты этих связующих характеризуются более высокими величинами прочности и модуля упругости, чем вулканизаты на основе некристаллизующегося каучука СУРЭЛ-9М. Исследована термодинамическая совместимость ПУ-ПБА с нитроэфирными пластификаторами. Показано, что энергетически активные связующие термодинамически устойчивы при положительных температурах эксплуатации. Проведено моделирование условий кристаллизации составов, содержащих каучук ПУ-ПБА, при низких температурах. Рассчитаны зависимости температуры плавления полимера от степени пластификации связующего и термодинамического сродства его компонентов. Показано, что фазовая устойчивость составов, характеризуемая условием отсутствия кристаллизации, обеспечивается при температурах до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .*

**Ключевые слова:** КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ; КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ПОЛИЭФИРУРЕТАН; ПЛАСТИФИКАЦИЯ; ВУЛКАНИЗАТЫ; МОДУЛЬ УПРУГОСТИ; ПОЛИМЕРЫ.

### ВВЕДЕНИЕ

Активные горючие связующие (АГСВ) для энергетических конденсированных систем (ЭКС) содержат в своем составе большое количество энергетически активных пластификаторов. В качестве полимерной основы АГСВ часто используют полиэфируретан СУРЭЛ. Особенностью этого каучука является его нерегулярное строение, предотвращающее кристаллизацию полимера. Высокая степень пластификации связующего, необходимая для обеспечения требуемых технологических, деформационных и энергетических свойств ЭКС, может привести к таким нежелательным последствиям, как снижение прочностных характеристик и нестабильность фазового состава. Известно, что механические свойства полиэфируретанов зависят от их молекулярного строения, например, увеличение концентрации сложноэфирных групп приводит к снижению эластичности при низких температурах эксплуатации и увеличению прочности при повышенных [1]. В работе [2]

с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии было изучено влияние химического строения полиэфируретановых эластомеров на температуру стеклования  $T_c$ . Так, использование линейного диизоцианата при синтезе каучука на основе полиэтиленбутиленгликольадипината позволяет снизить  $T_c$  каучука на  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Аналогичный эффект влияния строения диизоцианата на гибкость полиэфируретановой цепи описан в работе [3]:  $T_c$  полиуретана на основе гексаметилендиизоцианата на  $65$  и  $47\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже, чем  $T_c$  полиуретанов на основе толуилен- и изофорондиизоцианатов. При высоких степенях пластификации полимера, характерных для высокоэнергетических составов АГСВ,  $T_c$  связующего мало зависит от строения и  $T_c$  полимерного компонента и, в первую очередь, определяется величиной  $T_c$  пластификатора. В то же время химическое строение каучука может оказывать влияние на формирование пространственной сетки вулканизатов связующего. Например, при практически одинаковом содержании уретановых групп эффективная

плотность пространственной сетки вулканизатов связующих на основе полиэфируретана и различных диизоцианатов различается в 1,3 раза [4]. Влияние строения диизоцианатов на механические свойства вулканизатов, содержащих нитроэфирные пластификаторы, изучено в работе [5].

Целью работы является исследование структурно-механических свойств и фазовой устойчивости АГСВ на основе регулярного кристаллизующегося полиэфируретана и нитроэфирных пластификаторов. Кристаллизующиеся полимеры, как правило, не применяются в составах ЭКС в связи с опасением потери эксплуатационных свойств при пониженных температурах. Исходя из закономерностей влияния пластификатора на температуру плавления  $T_{пл}$  полимера, можно ожидать, что при большой степени пластификации связующего и высоком средстве его компонентов кристаллизация полимера может стать невозможной в результате депрессии температуры плавления [6, 7]. При этом можно также предполагать, что регулярное строение полиэфируретана окажет положительное влияние и на механические характеристики энергетического материала.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования использовали стереорегулярный полиэфируретановый полимер ПУ-ПБА, синтезированный в ООО «СУРЭЛ» из полибутиленгликольадипината (ПБА) с молекулярной массой 2000, толуилдендиизоцианата ТДИ-80 и бутен-2-диол-1,4. В качестве пластификаторов применяли нитроэфирные ЛД-30, ЛД-70 (смеси динитратов ди- и триэтиленгликоля), ТЭС (эвтектическая трехкомпонентная смесь динитратов ди- и триэтиденгликоля и нитроглицерина), а также некристаллизующийся пластификатор ДНСД (эквимольная смесь 1-метил-2-[2-(нитроксид)этокси]этилнитрата и 2-[1-метил-2-(нитроксид)этокси]этилнитрата) [6]. Характеристики пластификаторов приведены в табл. 1.

Образцы АГСВ на основе полиэфируретана готовили методом прямого растворения полимера в пластификаторе при комнатной температуре и периодическом перемешивании в течение 2–3 суток до полного взаимного растворения компонентов. Концентрация пластификатора в связующих составляла 83% масс. Вулканизаты АГСВ, содержащие 50% масс. алюминия АСД-6, получали путем отверждения связующего оксинитрилом «Мезон» при 50 °С в течение 150 ч при дозировке отвердителя 2,24% от массы полимера.

Измерение физико-механических характеристик вулканизатов проводили методом одноосного растяжения при постоянной скорости 0,3 с<sup>-1</sup> на разрывной машине Р-5. Термодинамическую совместимость нитроэфирных пластификаторов с ПУ-ПБА изучали с помощью интерференционного диффузионного микрометода [8, 9]. Для исследования релаксационных и фазовых переходов использовали дифференциальный сканирующий калориметр DSC-822<sup>e</sup> Mettler-Toledo. Измерения проводили при скорости нагревания 10 град·мин<sup>-1</sup> и скорости продувки печи калориметра азотом 50 см<sup>3</sup>/мин<sup>-1</sup>. Калибровку калориметра выполняли по стандартным образцам индия и цинка.

Измерение физико-механических характеристик вулканизатов проводили методом одноосного растяжения при постоянной скорости 0,3 с<sup>-1</sup> на разрывной машине Р-5. Термодинамическую совместимость нитроэфирных пластификаторов с ПУ-ПБА изучали с помощью интерференционного диффузионного микрометода [8, 9]. Для исследования релаксационных и фазовых переходов использовали дифференциальный сканирующий калориметр DSC-822<sup>e</sup> Mettler-Toledo. Измерения проводили при скорости нагревания 10 град·мин<sup>-1</sup> и скорости продувки печи калориметра азотом 50 см<sup>3</sup>/мин<sup>-1</sup>. Калибровку калориметра выполняли по стандартным образцам индия и цинка.

Таблица 1. Характеристики нитроэфирных пластификаторов

Пластификатор	Молекулярная масса	Плотность, г/см <sup>3</sup>	$T_c$ , °С	Изменение теплоемкости при стекловании, $\Delta C_p$ , Дж/г·К	$T_{пл}$ , °С
ЛД-70	210	1,370	-82	1,05	-36*, -17**
ЛД-30	227	1,347	-80	1,07	-36*, -27**
ТЭС	226	1,443	-77	1,05	-42
ДНСД	210	1,300	-87	0,93	нет

\*  $T_{пл}$  эвтектического состава композиции ДНДЭГ-ДНТЭГ.

\*\*  $T_{пл}$  ЛД-70 и ЛД-30 [7].

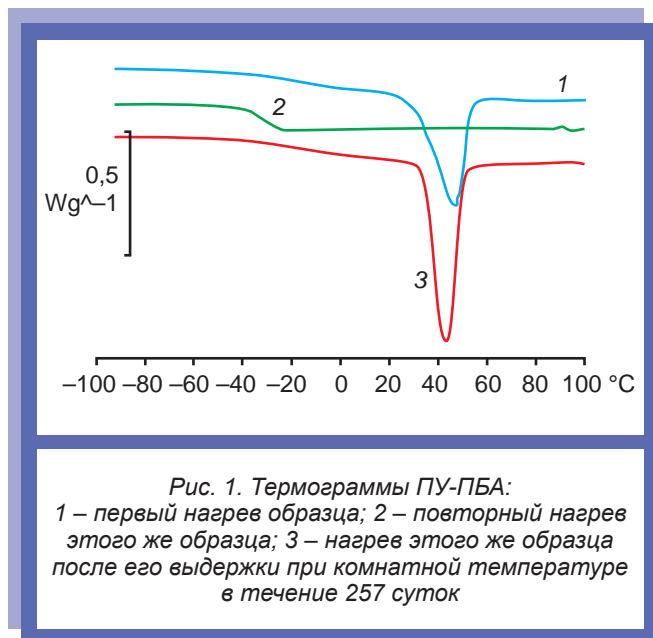


Рис. 1. Термограммы ПУ-ПБА:  
1 – первый нагрев образца; 2 – повторный нагрев этого же образца; 3 – нагрев этого же образца после его выдержки при комнатной температуре в течение 257 суток

В качестве характеристик релаксационных переходов использовали данные о  $T_c$  и изменении теплоемкости при стекловании  $\Delta C_p$ . При изучении фазовых переходов определяли энтальпию плавления  $\Delta H_{пл}$ , температуры начала  $T_n$ , пика  $T_p$  и конца плавления  $T_k$ .

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии определяли степень кристалличности полимера ПУ-ПБА (рис. 1). На термограмме исходного образца (кривая 1) регистрируется слабо выраженный релаксационный переход стеклования аморфной фазы каучука в области температур от  $-30$  до  $10$  °C и эндотермический пик в области температур от  $31$  до  $53$  °C, связанный с плавлением кристаллической фазы полимера. Температура этого перехода близка к температуре плавления полибутиленгликольадипината [10]. На термограмме нагретого до  $100$  °C и быстро охлажденного образца (кривая 2) регистрируется только релаксационный переход стеклования в области температур от  $-40$  до  $-25$  °C.

По изменению величины  $\Delta C_p$  при стекловании аморфного и кристаллического ПУ-ПБА была рассчитана степень кристалличности, которая равна 70%. После выдержки прогретого образца в течение 8 месяцев (кривая 3) наблюдается рост энтальпии и сужение температурного интервала плавления ПУ-ПБА (табл. 2). Сопоставление характеристик стеклования и плавления показывает, что длительный отдых расплавленного полимера приводит к совершенствованию его кристаллической структуры. Кристаллизация, вызывающая ограничение молекулярной подвижности проходных цепей в аморфной части полимера, приводит к повышению температуры и расширению области стеклования.

На рис. 2 приведены кривые растяжения наполненных вулканизатов на основе ПУ-ПБА и для сравнения аналогичных по составу композитов на основе каучука СУРЭЛ-9М, при синтезе которого в качестве полиэфира использовали полиэтиленбутиленгликольадипинат, в результате этого СУРЭЛ-9М имеет нерегулярное строение и в отличие от ПУ-ПБА не кристаллизуется. Исследование механических свойств наполненных алюминием вулканизатов АГСВ показало, что прочность композитов на основе ПУ-ПБА независимо от вида пластификатора выше прочности вулканизатов на основе нерегулярного СУРЭЛ-9М во всем исследованном диапазоне деформаций. Разрывная прочность вулканизатов АГСВ на основе ПУ-ПБА, содержащих ЛД-30 и ЛД-70, выше в 2,6 и 2 раза соответственно прочности аналогичных по составу композитов на основе СУРЭЛ-9М (табл. 3). Все вулканизаты характеризуются высоким уровнем разрывной деформации (не менее 600%). Модуль упругости вулканизатов на основе полиэфируретана ПУ-ПБА и пластификаторов ЛД-30, ЛД-70 и ДНСД больше модуля упругости вулканизатов

Таблица 2. Характеристики стеклования и плавления ПУ-ПБА

Образец	Стеклование		Плавление			
	$T_c$ , °C	$\Delta C_p$ , Дж/г·К	$T_n$ , °C	$T_p$ , °C	$T_k$ , °C	$\Delta H_{пл}$ , Дж/г
Исходный образец	-19	0,19	31	46	53	38,6
Аморфизированный образец	-32	0,62	Кристаллическая фаза отсутствует			
Образец после длительного отжига	-15	0,25	34	42	50	46,2



аналогичного состава, изготовленных на основе СУРЭЛ-9М. Модуль упругости композита ПУ-ПБА, содержащего ТЭС, равен модулю упругости состава на основе СУРЭЛ-9М. Повышенный уровень механических характеристик композитов на основе ПУ-ПБА возможно обусловлен регулярностью строения этого полимера, приводящей к увеличению энергии взаимодействия между его молекулами.

Повышенная степень пластификации связующих, содержащих кристаллизующийся полимер, увеличивает вероятность потери термодинамической устойчивости материала в результате экссудации пластификатора и кристаллизации полимера. При изучении термодинамической устойчивости связующих была использована модифицированная методика интерференционного микрометода, особенность которой заключается в том, что пленку кристаллического полимера толщиной около 80 мкм предварительно переводили в аморфное состояние путем нагревания при 80 °С и затем зажимали между оптическими стеклами интерферометра до образования оптического контакта. Дальнейшие измерения проводили при 20 °С: в зазор между стеклами, образующих оптический клин, вводили пластификатор и периодически измеряли профиль концентрации полимера в зоне его контакта с пластификатором.

На начальном этапе измерений пластификатор диффундирует в аморфизированный полимер с образованием непрерывной зоны

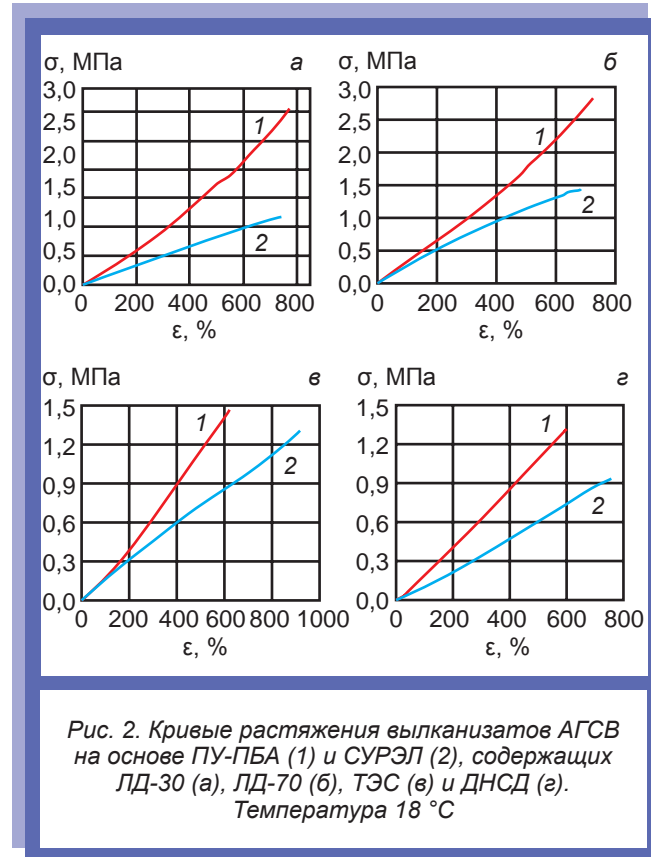


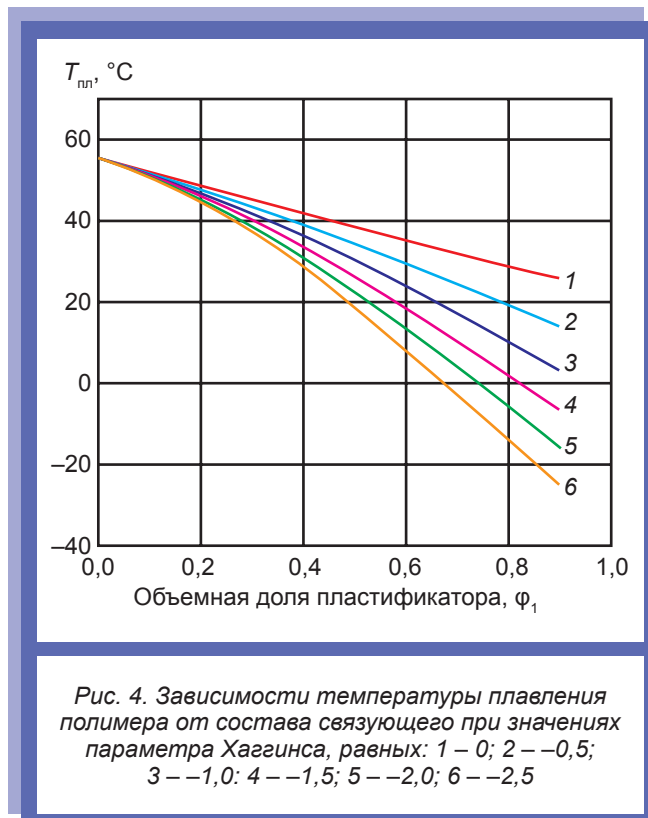
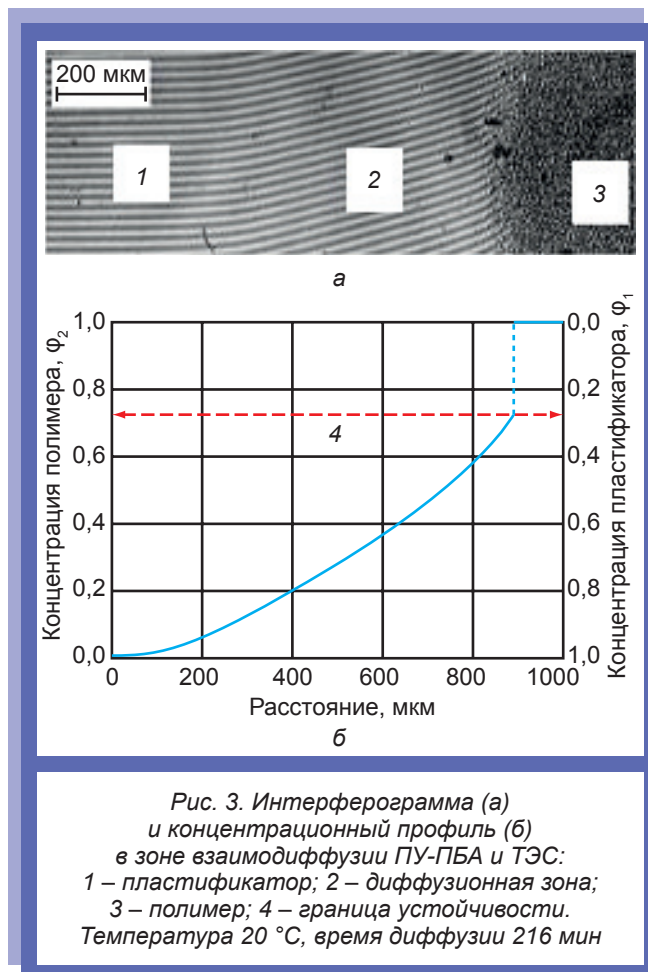
Рис. 2. Кривые растяжения вулканизатов АГСВ на основе ПУ-ПБА (1) и СУРЭЛ (2), содержащих ЛД-30 (а), ЛД-70 (б), ТЭС (в) и ДНСД (г). Температура 18 °С

растворов, содержание полимера в которой монотонно изменяется от 0 до 100%. Через 120...130 мин после начала диффузии в зоне растворов, обогащенной полимером, появляется потемнение, связанное с ростом оптической плотности образца в результате кристаллизации полимера. Кристаллизация, начавшаяся в зоне полимера, распространяется в область в плас-

Таблица 3. Физико-механические характеристики наполненных алюминием композитов

Пластификатор	Полимер	Физико-механические характеристики		
		$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %	$E_0$ , МПа
ЛД-30	ПУ-ПБА	3,1	780	0,21
	СУРЭЛ	1,2	750	0,07
ЛД-70	ПУ-ПБА	2,8	725	0,29
	СУРЭЛ	1,4	690	0,22
ДНСД	ПУ-ПБА	1,3	600	0,17
	СУРЭЛ	0,9	760	0,07
ТЭС	ПУ-ПБА	1,5	620	0,09
	СУРЭЛ	1,3	920	0,09

Примечание. Начальный модуль определяли по наклону касательной к начальному участку кривой растяжения.



тификатора. Стабилизация состава растворов на границе раздела с кристаллической фазой полимера происходит через 2,5...3 ч после начала взаимодиффузии. В качестве примера на рис. 3 приведена интерферограмма зоны взаимодиффузии ПУ-ПБА и пластификатора ТЭС, полученная после стабилизации состава на фазовой границе. На этом же рисунке приведен концентрационный профиль компонентов, имеющий разрыв при накоплении полимера в диффузионной зоне  $\phi_2 = 0,72$ . Кристаллизация ПУ-ПБА в составе связующего при 20 °С возможна при сравнительно небольших концентрациях ТЭС ( $\phi_1 < 0,28$ ). Исследование фазового равновесия в связующих, содержащих ЛД-70, ЛД-30 и ДНСД, показало, что кристаллизация полимера возможна при величинах объемных долей пластификатора не более 0,16; 0,16 и 0,19 соответственно. Таким образом, пластификация ПУ-ПБА нитроэфирными пластификаторами значительно снижает температуру его плавления и расширяет температурный диапазон фазовой устойчивости АГСВ.

Анализ условий фазового равновесия в составах связующих с кристаллизующимся компонентом показывает, что депрессия  $T_{пл}$  полимера зависит от величины энтальпии плавления, термодинамического сродства компонентов связующего и степени пластификации полимера [11]. Для оценки условий кристаллизации ПУ-ПБА в составах связующих были рассчитаны зависимости  $T_{пл}$  полимера от степени его пластификации и термодинамического сродства к пластификатору. Расчеты  $T_{пл}$  проводили с помощью уравнения:

$$\frac{1}{T_{пл}} - \frac{1}{T_{пл}^0} = \frac{RV_{2m}}{\Delta H_{пл} V_1} (\phi_1 - \chi \phi_1^2),$$

где  $T_{пл}$  и  $T_{пл}^0$  – температура плавления полимера в связующем и в свободном состоянии;  $\Delta H_{пл}$  – энтальпия плавления;  $R$  – газовая постоянная;  $V_1$  и  $V_2$  – молярные объемы пластификатора и полимера (на моль звена) соответственно;  $\phi_1$  – объемная доля пластификатора;  $\chi$  – параметр энергетического взаимодействия пластификатора с полимером (параметр Хаггинса) [11].

Расчеты температуры плавления проводили при следующих заданных условиях:

1. Кристаллическая фаза в полиэфируретане ПУ-ПБА образуется в результате кристаллизации бутиленгликольадипинатных блоков, входящих в состав макромолекул полиэфируретана. Это допущение согласуется с данными о близости  $T_{пл}$  ПУ-ПБА и полибутиленгликольадипината. Для расчета кривых ликвидуса в системах полимер-пластификатор были использованы следующие характеристики плавления ПБА:  $T_{пл}^0 = 328,8$  К,  $\Delta H_{пл} = 24,8$  кДж/моль [10].

2. Расчет температур плавления проводили при значениях параметра Хаггинса, изменяющегося в пределах от 0 до  $-2,5$ , что соответствует условию применения в качестве пластификатора «термодинамически хороших» растворителей полимера [12]. Термодинамическое сродство пластификатора к полимеру увеличивается при уменьшении параметра Хаггинса. Примером «хорошего» растворителя полиэфируретана СУРЭЛ-9М является нитроглицерин. По данным работы [13], параметр Хаггинса для этой пары компонентов связующего близок к значениям  $\chi = -2$ .

3. Величины молярных объемов пластификатора (растворителя)  $V_1$  и элементарного звена полимера  $V_2$  примерно соизмеримы:  $V_2 \sim V_1$ .

Результаты расчета кривых ликвидуса для пластификаторов с различным сродством к полимеру показаны на рис. 4. Из приведенных зависимостей видно, что температура плавления полимера в составе связующих, содержащих 80...85% масс. пластификатора с высоким сродством к полимеру, снижается на десятки градусов. Однако даже при высоком сродстве компонентов связующего ( $\chi = -2,5$ )  $T_{пл}$  полимера снижается только до  $-20$  °С. Для заключения о возможности применения каучука ПУ-ПБА в составах АГСВ с более широким температурным диапазоном эксплуатации необходимо провести прямые экспериментальные исследования.

## ВЫВОДЫ

1. Изучены структурно-механические свойства и термодинамические условия кристаллизации полимерного компонента в составах энергетически активных связующих на основе кристаллического полиэфируретана ПУ-ПБА и нитроэфирных пластификаторов.

2. Показано, что наполненные алюминием вулканизаты на основе кристаллического полиэфируретана ПУ-ПБА и нитроэфирных пластификаторов характеризуются более высокими величинами прочности и модуля упругости, чем аналогичные вулканизаты на основе каучука СУРЭЛ-9М.

3. Интерференционным диффузионным методом показана возможность кристаллизации при 20 °С ПУ-ПБА в составах активных связующих, содержащих нитроэфирные пластификаторы ЛД-30, ЛД-70, ТЭС и ДНСД, определены концентрационные пределы термодинамической устойчивости АГСВ на основе с ПУ-ПБА.

4. Проведено моделирование условий кристаллизации связующих, содержащих каучук ПУ-ПБА при низких температурах. Рассчитаны зависимости  $T_{пл}$  полимера от состава связующего и термодинамического сродства его компонентов. Показано, что при предельно возможных степенях пластификации полимера и высоком уровне термодинамического сродства компонентов фазовая устойчивость составов, характеризуемая отсутствием кристаллизации, обеспечивается при температурах выше  $-20$  °С. Для заключения о возможности применения каучука ПУ-ПБА в составах АГСВ с более широким температурным диапазоном эксплуатации, необходимо проведение прямых экспериментальных измерений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саундерс Дж. Х., Фриш К.К. Химия полимеров. М.: Химия, 1968. 470 с.
2. Бедоева А.М., Ильичева Н.Н., Пчелинцев К.А. Влияние химического строения полиэфируретановых каучуков на температуру стеклования // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31, №13. С. 63–64.
3. Yuping Wei. Thermal properties and micro morphology of polyurethane resins based on liquefied benzylated wood // Journal of Scientific and Industrial Research. 2005. Vol. 64. P. 435–439.
4. Новак А.М., Ильичева Н.Н., Пчелинцев К.А. Влияние химического строения полиэфируретановых каучуков на модуль упругости пластифицированных вулканизатов // Успехи в химии и химической технологии. 2018. Т. 32, №10. С. 106–108.
5. An Energetic Binder for the Formulation of Advanced Solid Rocket Propellants / D. Bhowmik [at al.] // Central European Journal of Energetic. 2015. Vol. 12, № 1. P. 145–158.

6. Лотменцев Ю.М., Кондакова Н.Н., Шишов Н.И. Эффективность действия пластификаторов и их кристаллизация в составах ТРТ при низких температурах // Боеприпасы XXI век. 2016. № 3. С. 41–53.
7. Использование эвтектических смесей нитроэфиров в качестве пластификаторов для связующих энергетических материалов с широким температурным диапазоном эксплуатации / Ю.М. Лотменцев [и др.] // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. 2009. № 2. С. 7–10.
8. Малкин А.Я., Чалых А.Е. Диффузия и вязкость полимеров. Методы измерения. М.: Химия, 1979. 304 с.
9. Чалых А.Е. Применение интерференционного микрометода для построения фазовых полей диаграмм состояния в системах полимер–растворитель // Высокомолекулярные соединения. 1975. Т. 17А, № 11. С. 2603–2605.
10. Термодинамические свойства полибутиленгликоль-адипината / И.Б. Рабинович [и др.] // Высокомолекулярные соединения. 1984. Т. XXVI (А), № 4. С. 743–747.
11. Манделькерн Л. Кристаллизация полимеров. М.-Л.: Химия, 1966. 336 с.
12. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. М.: Научный мир, 2007. 576 с.
13. Исследование термодинамической устойчивости связующих энергетических материалов на основе полиэфируретановых и дивинилнитрильных эластомеров / Ю.М. Лотменцев [и др.] // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. 2009. № 2. С. 32–37.



УДК 621.396.962

## ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ АВТОДИННЫХ (ДОПЛЕРОВСКИХ) НЕКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ ЦЕЛИ ОТ ОРГАНИЗОВАННЫХ ПОМЕХ МЕТОДОМ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ МАНИПУЛЯЦИИ ПАРАМЕТРАМИ ИЗЛУЧАЕМОГО СИГНАЛА

Д-р техн. наук, проф. *О.Ф. АНДРЮШИН*, А.А. *ИВАНЦОВ*, канд. техн. наук А.С. *МАЛЫШКИН*,  
Ф.Ф. *ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ*, канд. техн. наук А.В. *ФЕДОРОВ*  
(Московский филиал АО «НПО «Поиск»)

*Приведены результаты экспериментального лабораторного исследования помехозащищенности макета неконтактного датчика цели, использующего псевдослучайную манипуляцию параметрами излучаемого сигнала.*

**Ключевые слова:** ЛИНЕЙНАЯ ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ; СИСТЕМА БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ; ФАЗОВАЯ КОДОВАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ; ПСЕВДОСЛУЧАЙНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ.

Современные системы ближней радиолокации (СБРЛ), предназначенные для функционирования в сложной обстановке организованного радиопротиводействия, кроме рабочего приемного канала обнаружения сигнала, отраженного от цели, содержат еще один дополнительный – для выявления искусственно создаваемых помех. В основе его работы – анализ особенностей

энергетического спектра сигнала на выходе приемного канала приемопередающего модуля (ППМ) при действии станций помех. Выходное напряжение помехового канала при превышении порогового уровня мощности блокирует рабочий канал, тем самым предотвращая ложное (траекторное) срабатывание изделия. Такой способ обеспечивает эффективную защиту от

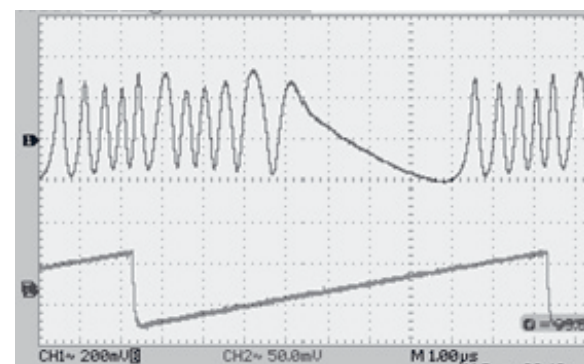
действия большинства организованных некогерентных помех. Исключение составляют ретрансляционные помехи.

Недостатком СБРЛ с регулярной линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) зондирующего сигнала является периодичность функции пространственной селекции, обусловленная цикличностью временной функции ЛЧМ [1, 2]. Это означает, что при задержке помехи на время, равное (или кратное) периоду модуляции, ретрансляционная помеха будет иметь все признаки зондирующего сигнала, отраженного от цели. Помеховый канал такой импульс не идентифицирует, что приведет к ложному срабатыванию изделия.

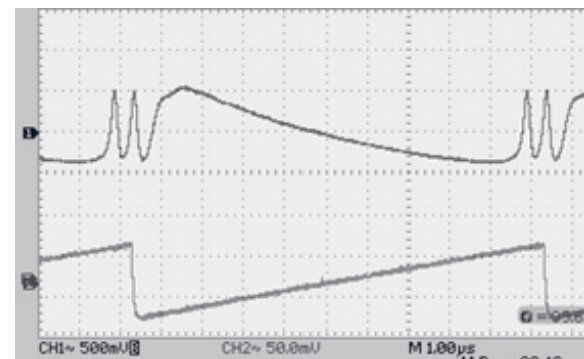
В качестве меры защиты от ретрансляционных помех рассматривается применение случайных (или псевдослучайных) функций [3] для нарушения периодичной повторяемости параметров зондирующего сигнала. Существуют многочисленные примеры удачного использования в дальней радиолокации (где излучение и прием разделены во времени) псевдослучайных последовательностей в виде фазовой кодовой манипуляции излучения [2]. В большинстве СБРЛ массового применения успешно используется ЛЧМ, поэтому в интересах преимущества разработки для решения поставленной задачи исследуется вариант использования бинарной псевдослучайной функции, при котором элементами кодовой последовательности являются два ЛЧМ-импульса, отличающиеся знаком скорости перестройки частоты внутри импульса (возрастающая или спадающая частота). В качестве псевдослучайной последовательности рассмотрим линейные рекуррентные последовательности максимальной длины (М-последовательности), свойства которых и особенности генерирования обстоятельно рассмотрены в работе [3]. Структурная схема макета исследуемого устройства и алгоритм его функционирования достаточно подробно представлены в работах [3, 4, 5]. На основе этих материалов разработан и изготовлен лабораторный действующий макет неконтактных датчиков цели (НДЦ) с псевдослучайной манипуляцией параметрами зондирующего излучения. В качестве ППМ был использован автодин. Перед проведением испытаний на автоматизированном комплексе полунатурного моделирования

Таблица 1. Захватывание частоты автодина (без ЧМ)

Уровень наведенной мощности, дБм	Полоса полного захватывания, МГц
-30	1,8
-40	0,9
-50	0,3
-60	0,1
-70	0



а



б

Выходное напряжение автодина (с ЛЧМ):  
а –  $P = -41$  дБ/мВт; б –  $P = -34$  дБ/мВт

(АКПНМ) были измерены следующие основные характеристики макета НДЦ:

- несущая частота;
- длительность импульса ЛЧМ, 10 мкс;
- девиация, 8,7 МГц;
- полоса пропускания выходной цепи ППМ (автодина), 0,55 МГц;
- радиолокационный энергетический потенциал, 55 дБ;

**Таблица 2. Результаты испытания макета НДЦ с автодинным приемопередающим модулем на установке полунатурного моделирования**

Вид помехи	$P_n$ , дБм	$P_p$ , дБм	$P_n/P_p$ , дБ
Ответная частота модуляции 300 Гц	-43	-28	-15
Немодулированные: настроенная на частоту изделия; скользящая, $\Delta F_{ск} = \pm 1\%$ , $V_{ск} = 100$ кГц/мкс	-42	-26	-16
	-43	-25	-18
Шумовые: прицельная $\Delta f = 0,2$ МГц; заградительная $\Delta f = 1\%$ от $f_{изд}$ ; скользящая $\Delta f = 0,2$ МГц, $\Delta F_{ск} = \pm 1\%$ , $V_{ск} = 100$ кГц/мкс; скользящая $\Delta f = 2,0$ МГц, $\Delta F_{ск} = \pm 1\%$ , $V_{ск} = 100$ кГц/мкс	-42	-30	-12
	-43	-27	-16
	-42	-23	-19
	-43	-26	-17
Ретрансляционная, $t_s = 10$ мкс	-51	-49	-2

параметры захватывания частоты автодина (без частотной модуляции) внешним немодулированным излучением приведены в табл. 1.

Исследование параметров захватывания частоты необходимо для выяснения степени его причастности к несанкционированному (ложному) срабатыванию НДЦ. На рисунке показаны примеры выходного напряжения автодина (с ЛЧМ) при действии немодулированной помехи с различным уровнем наведенной мощности.

При испытаниях макета НДЦ на установке АКПНМ измерялись:

пороговые значения наведенной мощности нормативных помех, вызывающих ложное срабатывание рабочего канала НДЦ ( $P_p$ );

пороговые значения наведенной мощности нормативных помех, вызывающих блокировку срабатывания НДЦ ( $P_n$ ).

Результаты приведены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, порог блокировки НДЦ ( $P_n$ ) для всех исследованных видов нормативных помех ниже порога срабатывания рабочего канала ( $P_p$ ) от той же помехи. А это означает, что блокировка ложных срабатываний НДЦ обеспечивается, но, к сожалению, не для всех помех одинаково надежно. Причина – недостаточная полоса пропускания выходной цепи автодина

0,55 МГц, а требуется – не менее значения девиации ЛЧМ (10...15 МГц).

## ВЫВОД

Выполненные исследования по разработке действующего макета НДЦ с использованием псевдослучайной манипуляции параметрами зондирующего сигнала и проведенные лабораторные испытания на установке полунатурного моделирования (АКПНМ-1) подтвердили правомерность предлагаемого технического решения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коган И.М. Ближняя радиолокация (теоретические основы). М.: Советское радио, 1973.
2. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. М.: Воениздат, 1989.
3. Современная радиолокация (анализ, расчет и проектирование систем) / под ред. Ю.Б. Кобзарева. М.: Советское радио, 1969.
4. НДЦ с ЛЧМ: пат. 2708765 Рос. Федерация.
5. Повышение защищенности систем ближней радиолокации от организованных помех / О.Ф. Андрушин [и др.] // Боеприпасы. 2022. № 2. С. 33–37.



---

---

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

---

---

УДК 347.771

### НОВЫЕ СПОСОБЫ ИСПЫТАНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ОСКОЛОЧНОГО БОЕПРИПАСА

Д-р техн. наук, проф. С.М. МУЖИЧЕК, канд. техн. наук М.А. КОРЗУН,  
Т.М. БОРИСОВА, канд. техн. наук А.М. ГУБКИН  
(ГНЦ РФ ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики»)

*Эффективность поражающего действия по типовым целям и определение безопасных условий применения осколочных боеприпасов зависит от действия образующихся осколочных полей. Наиболее близким к применению в боевых условиях способом определения параметров поражающих элементов боеприпаса является подрыв его в щитовой мишенной обстановке. В целях повышения информативности способа испытаний коллективом специалистов ФГУП «ЦНИИХМ» в составе: С.А. Бобкова, С.М. Мужичека, М.А. Корзуна, А.А. Скрынникова, Т.М. Борисовой, В.Н. Поминова, А.А. Иванова – в рамках проекта РНФ № 23-29-00/25370ЦБС были предложены технические решения, основанные на дополнительном определении частных характеристик зажигательного действия осколочного поля, а также явления аэроудара. Федеральной службой по интеллектуальной собственности они признаны объектами патентных прав, предприятию выданы патенты № 2801192 и 2801193.*

**Ключевые слова:** ПАТЕНТ; СПОСОБ ИСПЫТАНИЙ; ОСЕСИММЕТРИЧНЫЙ БОЕПРИПАС; ЗАЖИГАТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ; АЭРОУДАР; ПОЛЕ РАЗЛЕТА ОСКОЛКОВ.

#### СПОСОБ ИСПЫТАНИЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ОСКОЛОЧНОГО БОЕПРИПАСА С ОСЕСИММЕТРИЧНЫМ ПОЛЕМ РАЗЛЕТА ОСКОЛКОВ НА ЗАЖИГАТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ

Известно, что типовыми пожароопасными отсеками, при воздействии по которым осколочных полей возможно воспламенение и развитие пожара, приводящее к поражению цели, являются отсеки:

с топливными баками, топливные баки-отсеки и отсеки конструкции, примыкающие к топливным бакам-отсекам;  
двигателя;

с топливными, гидравлическими трубопроводами и агрегатами, силовыми электрическими проводами (жгутами).

Основной количественной характеристикой осколка, определяющей его зажигательное действие по топливным бакам, является удельный импульс, определяемый по формуле:

$$I = \frac{mV}{S_m},$$

где  $m$  – масса осколка;  $V$  – скорость осколка;  
 $S_m$  – площадь миделя осколка.



В качестве параметра уязвимости топливных баков также принимается экспериментально определяемый параметр  $\chi$ . Для различных фаз топлива и различных топливных баков задаются граничные значения  $\chi$  ( $\chi_{\min}$ ,  $\chi_{\max}$ ), характеризующие уязвимость топливных баков к зажигательному действию осколка.

Текущее значение параметра  $\chi$  определяется из соотношения:

$$\chi = S_m^{1/2} V,$$

где  $S_m$  – площадь мишени осколка;  $V$  – скорость осколка в момент его встречи с преградой.

Для реализации предлагаемого способа необходимо при проведении испытаний определять следующие параметры:

$N$  – общее число осколков, попавших в соответствующий имитатор;

величины удельного импульса и параметра  $\chi$  для каждого попавшего в имитатор осколка;

максимальное значение удельного импульса и параметра  $\chi$  попавшего в имитатор осколка;

минимальное значение удельного импульса и параметра  $\chi$  попавшего в имитатор осколка; среднее значение удельного импульса и параметра  $\chi$  для всех попавших в имитатор осколков.

Среднее значение удельного импульса  $I_{cp}$  всех попавших в имитатор осколков определяется по формуле:

$$I_{cp} = \sum_{i=1}^N I_i / N.$$

Среднее значение параметра  $\chi_{cp}$  для попавших в имитатор осколков определяется по формуле:

$$\chi_{cp} = \sum_{i=1}^N \chi_i / N.$$

Величины суммарных площадей пробойных входных стенок имитаторов  $S_{\Sigma}$  определяются



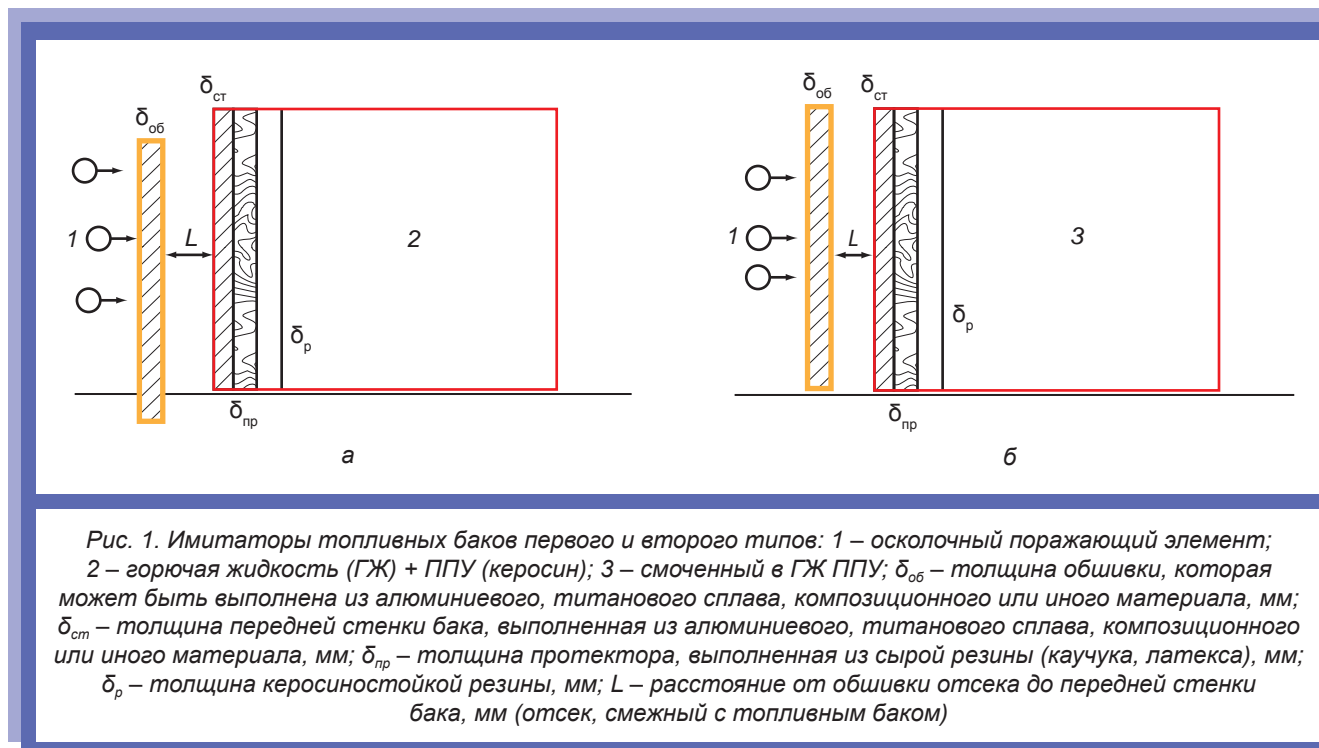


Рис. 1. Имитаторы топливных баков первого и второго типов: 1 – осколочный поражающий элемент; 2 – горючая жидкость (ГЖ) + ППУ (керосин); 3 – смоченный в ГЖ ППУ;  $\delta_{об}$  – толщина обшивки, которая может быть выполнена из алюминиевого, титанового сплава, композиционного или иного материала, мм;  $\delta_{ст}$  – толщина передней стенки бака, выполненная из алюминиевого, титанового сплава, композиционного или иного материала, мм;  $\delta_{пр}$  – толщина протектора, выполненная из сырой резины (каучука, латекса), мм;  $\delta_p$  – толщина керосиностойкой резины, мм;  $L$  – расстояние от обшивки отсека до передней стенки бака, мм (отсек, смежный с топливным баком)

как суммы площадей миделей осколков  $S_{M_i}$ , попавших во входную стенку соответствующего имитатора:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N S_{M_i}$$

Исходя из имеющегося опыта, при проведении испытаний осесимметричных боеприпасов на зажигательное действие целесообразно использовать имитаторы топливного бака первого (рис. 1, а) и второго (рис. 1, б) типа, а также имитатор отсека с трубопроводами (рис. 2).

На рис. 3 приведена типовая схема реализации запатентованного способа.

Испытываемый осесимметричный осколочный боеприпас 1 с осесимметричным полем разлета осколков устанавливают так, чтобы его продольная ось совпадала с продольной осью профилированной мишенной стенки в центре полуцилиндрической профилированной мишенной стенки 2, размеченной на зоны, соответствующие направлениям разлета осколков в принятой системе координат.

Симметрично зонам полуцилиндрической профилированной мишенной стенки 2 устанавливают имитатор топливного бака первого

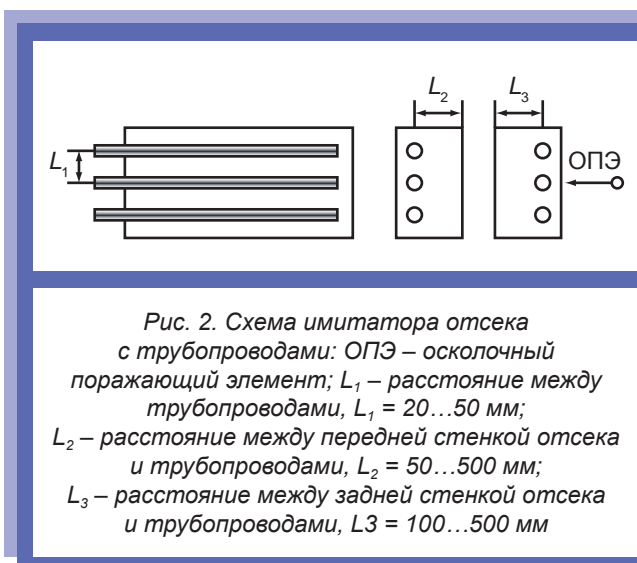
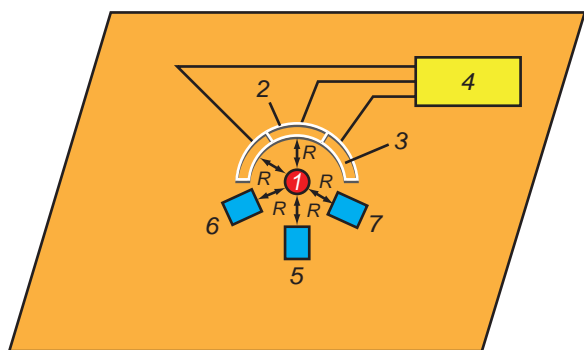


Рис. 2. Схема имитатора отсека с трубопроводами: ОПЭ – осколочный поражающий элемент;  $L_1$  – расстояние между трубопроводами,  $L_1 = 20 \dots 50$  мм;  $L_2$  – расстояние между передней стенкой отсека и трубопроводами,  $L_2 = 50 \dots 500$  мм;  $L_3$  – расстояние между задней стенкой отсека и трубопроводами,  $L_3 = 100 \dots 500$  мм

типа 5, имитатор топливного бака второго типа 6, имитатор отсека с трубопроводами 7, на лицевую поверхность зон мишенной стенки 2, расположенных симметрично имитаторам наносят размеры входных стенок имитаторов, определяют их координаты в принятой системе координат, затем осуществляют подрыв боеприпаса 1.

Сформированное в результате подрыва боеприпаса 1 осесимметричное осколочное поле попадает в электретные датчики 3 полуцилиндрической профилированной мишенной стенки 2 и входные стенки имитатора топливного бака



*Рис. 3. Типовая схема реализации способа испытаний осесимметричного осколочного боеприпаса с осесимметричным полем разлета осколков на зажигательное действие:*

- 1 – испытываемый боеприпас;*
- 2 – полуцилиндрическая профилированная мишеньная стенка; 3 – электретный датчик;*
- 4 – блок определения количественных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, форме и размерам осколков;*
- 5 – имитатор топливного бака первого типа;*
- 6 – имитатор топливного бака второго типа;*
- 7 – имитатор отсека с трубопроводами;*
- R – расстояние между боеприпасом и полуцилиндрической профилированной мишеньной стенкой, а также между боеприпасом и имитаторами*

первого типа 5, имитатора топливного бака второго типа 6, имитатора отсека с трубопроводами 7. Электретные датчики 3 формируют электрические сигналы, которые поступают на вход блока 4 определения количественных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, форме и размерам осколков. Далее с помощью блока 4 определения количественных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, форме и размерам осколков осуществляют регистрацию попаданий, улавливание и подсчет числа осколков, попадающих в каждую зону, измерение размеров и площади пробойн, регистрацию, запись и последующую обработку сигналов с электретных датчиков, размещенных по соответствующим зонам мишеньной стенки и равным им по размерам. Оценку количественных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, форме и размерам осколков, определение количественных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, форме и размерам осколков производят в том числе

и для зон, соответствующих входным стенкам имитаторов 5, 6, 7. Далее для имитаторов 5, 6, 7 определяют кинетическую энергию осколочно-го поля поражения, накрывающего их входные стенки, определяют для каждого из имитаторов общее число попавших осколков  $N$ , величины суммарных площадей пробойн входных стенок имитаторов  $S_{\Sigma}$ , величину параметра  $\chi$  для каждого попавшего в имитатор осколочка, максимальное значение параметра  $\chi$  попавшего в имитатор осколочка, минимальное значение параметра  $\chi$  попавшего в имитатор осколочка, среднее значение параметра  $\chi$  для всех попавших в имитатор осколочков, соотносят факт поражения (непоражения) имитаторов зажигательным действием осколочного поля боеприпаса с величиной среднего значения параметра  $\chi$  для всех попавших в имитатор осколочков.

Помимо количественной оценки результатов опыта фиксируют и качественную оценку зажигательного действия осколочного поля боеприпаса по принципу «зажигает», «частично зажигает», «не зажигает».

Использование предлагаемого способа обеспечивает возможность определения количественных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, форме и размерам осколков для осесимметричных боеприпасов с осесимметричными осколочными полями, а также одновременно оценивать количественно и качественно зажигательное действие осколочного поля испытываемого боеприпаса по имитаторам топливных баков и отсеков с трубопроводами типовых целей.

### СПОСОБ ИСПЫТАНИЙ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ОСКОЛОЧНОГО БОЕПРИПАСА С ОСЕСИММЕТРИЧНЫМ ПОЛЕМ РАЗЛЕТА ОСКОЛОКОВ НА АЭРОУДАР

Суть запатентованного способа состоит в определении взаимодействия боеприпаса и цели с учетом ненаправленного (объемного) силового действия по элементам конструкции внутри отсеков мишени. Это явление названо аэроударом. Объемность действия силовых факторов подтверждается образованием площадных повреждений конструкции как на входе

осколочных поражающих элементов в отсек, так и на выходе их из отсека, а также деформацией и разрушением нервюр, шпангоутов, перегородок и других конструктивных элементов.

Механизм возникновения явления аэроудара состоит в следующем. Процесс начинается с механического (пробивного) действия осколочных поражающих элементов по входной стенке отсека конструкции цели. В результате этого за счет откольных явлений образуется запрещающий поток вторичных осколков, кроме того при скоростях соударения, превышающих скорость дробления осколков ( $V_0 > V_{др}$ ), основные осколки дробятся на более мелкие фракции. При движении основных и вторичных осколков внутри отсека возникает газодинамический процесс, характеризующийся импульсным действием баллистических ударных волн и выделением тепловой энергии за счет горения осколков.

Установлено, что в процессе чрезвычайно быстрого горения происходит интенсивная подпитка ударных волн, которые, интерферируя между собой, могут вызвать значительные скачки давлений на стенках отсека. Завершается процесс взаимодействия потока осколков боеприпаса с конструкцией планера цели механическим (пробивным) действием основных и вторичных осколков по выходной стенке.

Оценка влияния конструктивных характеристик отсеков конструкций на энергетические критерии их разрушения осуществлялась методом модельных экспериментов и методом испытаний реальных отсеков конструкций.

Энергия потока осколков, накрывающих стенку имитатора отсека, может быть определена по формуле:

$$\mathcal{E} = P_{cp}^m \cdot V,$$

где  $P_{cp}^m$  – величина среднего максимального давления аэроудара;  $V$  – объем имитатора отсека.

Удельная энергия потока осколков, накрывающих стенку имитатора отсека, может быть определена по формуле:

$$\mathcal{E}_{уд} = \mathcal{E}/S,$$

где  $S$  – площадь входной стенки имитатора отсека.

Показатель аэроудара в имитаторе отсека может быть определен по формуле:

$$\Pi_a = \mathcal{E}_{уд}/C_0,$$

где  $C_0$  – энергетический критерий разрушения.

Результаты воздействия потока осколков по конструкции отсеков цели обычно оцениваются тремя степенями повреждений:

не разрушен (разрушения отсутствуют, отдельные пробоины на входе и выходе);

частично разрушен (признаки общих разрушений, значительная остаточная деформация обшивки, ослабление заклепочных швов и частичный срыв заклепок, разрывы и вырывы участков панелей);

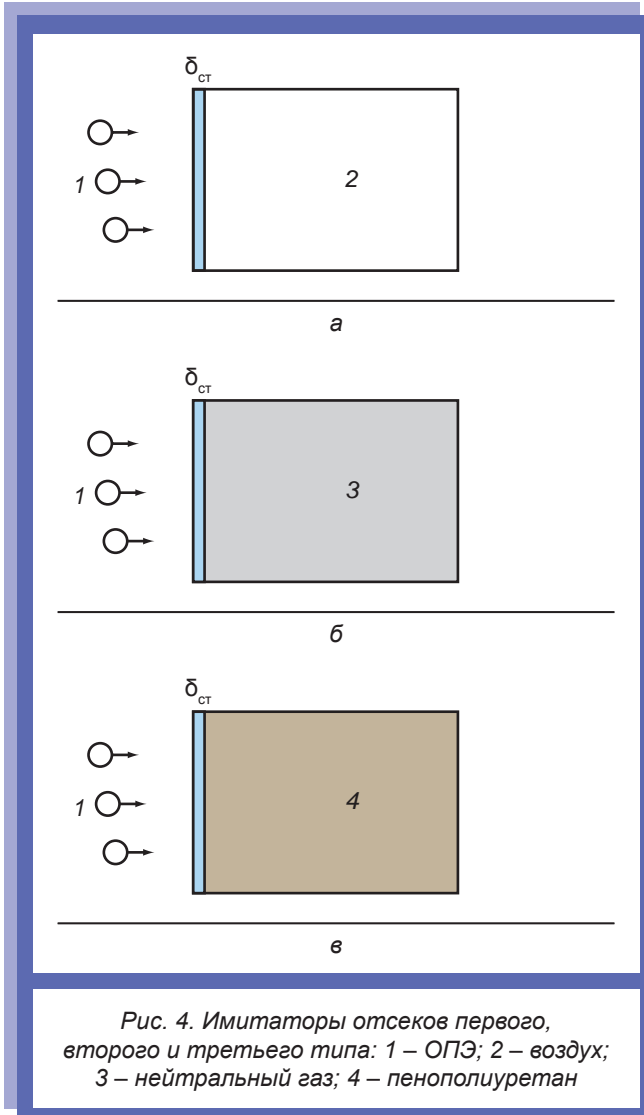
разрушен (полное разрушение отсека).

Исходя из имеющегося опыта, при проведении испытаний осесимметричных боеприпасов на аэроудар целесообразно использовать имитаторы отсеков первого, второго и третьего типа. Они изготавливаются из стального сварного кессона. В качестве передней (входной) стенки имитаторов используются сменные листы из исследуемых конструктивных материалов (например, дюраль, титан, сталь, композит) толщиной  $\delta_{ст}$ . По периметру передней стенки кессона для его герметизации крепится уплотнитель. Имитатор отсека первого типа на 100% заполняется воздухом (рис. 4, а), имитатор второго типа – инертным газом (рис. 4, б), третьего типа – пенополиуретаном (рис. 4, в).

На рис. 5 приведена типовая схема реализации запатентованного способа.

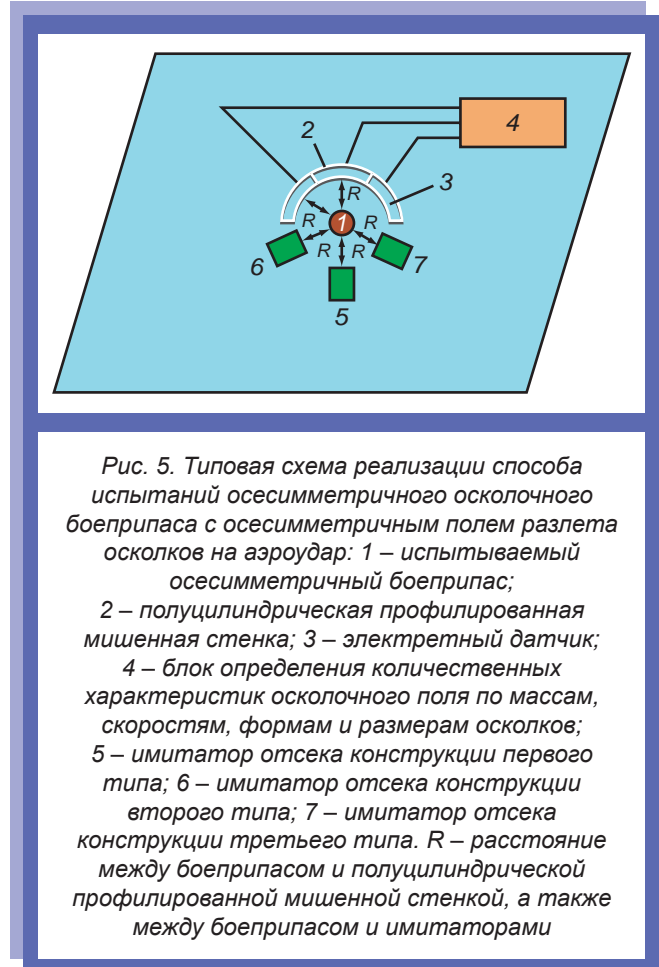
Испытываемый осесимметричный осколочный боеприпас 1 с осесимметричным полем разлета осколков устанавливаются так, чтобы его продольная ось совпадала с продольной осью профилированной мишенной стенки в центре полуцилиндрической профилированной мишенной стенки 2, размеченной на зоны, соответствующие направлениям разлета осколков в принятой системе координат.

Симметрично зонам полуцилиндрической профилированной мишенной стенки 2 устанавливают имитатор отсека конструкции первого типа 5, имитатор отсека конструкции второго типа 6, имитатор отсека конструкции третьего типа 7, на лицевую поверхность зон мишенной



стенки 2, расположенных симметрично имитаторам наносят размеры входных стенок имитаторов, определяют их координаты в принятой системе координат, затем осуществляют подрыв боеприпаса 1.

Сформированное в результате подрыва боеприпаса 1 осесимметричное осколочное поле попадает в электретные датчики 3 полуцилиндрической профилированной мишенной стенки 2 и входные стенки имитатора отсека конструкции первого типа 5, имитатора отсека конструкции второго типа 6, имитатора отсека конструкции третьего типа 7. Электретные датчики 3 формируют электрические сигналы, которые поступают на вход блока 4 определения количественных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, формам и размерам осколков. Далее с помощью блока 4 определения количественных



характеристик осколочного поля по массам, скоростям, формам и размерам осколков осуществляют регистрацию попаданий, улавливание и подсчет числа осколков, попадающих в каждую зону, измерение размеров и площади пробоин, регистрацию, запись и последующую обработку сигналов с электретных датчиков, размещенных по соответствующим зонам мишенной стенки и равным им по размерам. Оценку количественных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, формам и размерам осколков производят в том числе и для зон, соответствующих входным стенкам имитаторов 5, 6, 7. Далее для имитаторов 5, 6, 7 определяют общее число попавших в каждый имитатор осколков  $N$ , величину энергии потока осколков, накрывающих входную стенку имитатора отсека, определяют для каждого из имитаторов общее число попавших осколков  $N$ , массы, скорости, формы и размеры всех попавших во

входные стенки имитаторов осколков, определяют для каждого из имитаторов величины энергии потока осколков, накрывающих стенку имитатора отсека, величины удельной энергии потока осколков, накрывающих стенки имитаторов отсека, определяют показатель явления аэроудара для каждого из имитаторов, используемых при проведении испытаний, соотносят факт разрушения (не разрушения, частичного разрушения) имитаторов отсеков конструкции с величинами значений удельных энергий для всех попавших в имитаторы осколков.

Использование предлагаемого способа обеспечивает возможность определения количест-

венных характеристик осколочного поля по массам, скоростям, формам и размерам осколков для осесимметричных боеприпасов с осесимметричными осколочными полями, а также одновременно дополнительно оценивать количественно и качественно явление аэроудара, возникающее в отсеках конструкции типовых целей в результате их накрытия осколочным полем испытываемого боеприпаса.

*Информация о патентах № 2801192, 2801193  
размещена на сайте Федерального института  
промышленной собственности.  
Адрес сайта [www1.fips.ru](http://www1.fips.ru).*



---

---

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

---

---

УДК 623.451 + 93/99

### ПЕРВЫХ ПОМНЯТ ВСЕГДА

Канд. техн. наук С.П. БАЧУРИН (АО «НИИИ»)

*История развития и становления АО «Научно-исследовательский инженерный институт» показана как результат деятельности восьми директоров, возглавлявших институт со дня образования в 1946 г. по настоящее время. Перечислены достижения коллектива в научном, производственном и социальном аспектах в период работы каждого руководителя института.*

**Ключевые слова:** ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС; БОЕПРИПАСЫ; ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ; СОЦИАЛЬНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ; ГОСУДАРСТВЕННЫЕ НАГРАДЫ.

Продолжая историческую тематику публикаций о традициях, достижениях, сотрудниках АО «НИИИ» [1, 2], невозможно отделить историю создания и развития института от личности восьми руководителей, возглавлявших его в разные годы. Директорский путь каждого отличался гибкостью руководства и нестандартными решениями, порой высоким личным риском и безусловными харизматическими качествами лидера (рис. 1).

Эти решения неизменно базировались на точной оценке ситуации, глубоком знании способностей подчиненных и своих собственных, сути решаемых задач, требований вышестоящих инстанций и соблюдении границ директорских полномочий.

О наиболее значимых результатах в научном, производственном, инвестиционном и социаль-

ном аспектах, достигнутых коллективом института под руководством каждого из директоров, рассказывается в книге, вышедшей в конце 2022 г. [3]. В период работы над ней выяснилось, что родственники, особенно внуки и правнуки, имеют весьма смутное представление об институте и руководящей деятельности деда-директора.

Учитывая, что в настоящее время о многих когда-то режимных объектах можно рассказать, появилось предложение собрать в музее АО «НИИИ» ближайших родственников бывших директоров института, которые никогда не посещали его, познакомить их с достижениями коллектива в период работы каждого из первых лиц.

В апреле 2023 г. под руководством И.М. Смирнова, нынешнего генерального директора института, такое мероприятие состоялось. Собрались



Е.Г. Ковтун



А.П. Баталин



С.И. Чичков



В.И. Пчелинцев



В.Н. Лазуткин



В.К. Костылев



В.А. Попов



И.М. Смирнов

Рис. 1. Директоры Акционерного общества «Научно-исследовательский инженерный институт»



Рис. 2. Организаторы встречи и гости перед входом в музей института



Рис. 3. В историческом зале музея АО «НИИИ»

родственники бывших директоров – А.П. Баталина, В.И. Пчелинцева, В.Н. Лазуткина, В.К. Костылева (рис. 2).

Каждый из периодов директорского руководства институтом представленных директоров имел свои особенности, о которых будет рассказано ниже (рис. 3).

Первому руководителю полковнику Евгению Григорьевичу Ковтуну довелось возглавлять институт всего два года (1946–1948), за которые он только приступил к формированию научно-технической базы [4]. Кроме того, был построен первый 80-квартирный жилой дом по шоссе Энтузиастов. В 1948 г. Министерство

обороны опять затребовало Е.Г. Ковтуна в свои ряды, где он и служил до 1972 г., уйдя в запас в звании генерал-лейтенанта.

Фактически развитие института началось при Александре Петровиче Баталине, который уже был опытным руководителем, ранее возглавлял нынешнее АО «НИТИ имени П.И. Снегирева» (г. Железнодорожный) и прошел большую профессиональную школу в годы Великой Отечественной войны в качестве директора оборонного завода № 260 в г. Перми, а до этого – секретаря Пензенского обкома и горкома КПСС, депутата Верховного Совета СССР первого созыва (1937–1946).

Тридцатитрехлетний А.П. Баталин был главным организатором и одним из ведущих исполнителей возрождения спустя десятилетие на административной карте страны Пензенской области. Инициатива молодого депутата в комиссии Верховного Совета Союза ССР и последующий доклад И.В. Сталину получили полное одобрение и поддержку руководителя страны. В начале 1939 г. возрожденный пензенский регион был образован на территориях, выделенных из состава Тамбовской, Куйбышевской и Саратовской областей.

Возглавив институт в 1948 г., А.П. Баталин стал настойчиво обращаться в вышестоящие инстанции. В Постановлении Совета Министров СССР на вторую пятилетку, когда все фонды в стране были строго лимитированы, удалось «пробить» [4]:

закрепление за институтом с восточной стороны участка площадью 6,8 Га;

выделение Госпланом СССР дополнительных капиталовложений на 1952 г. в размере 850 тыс. руб. на приобретение оборудования и приборов (500 тыс. руб.), хозяйственного инвентаря и автотранспорта (350 тыс. руб.);

поручение Мособлисполкому выделить для строительства института кирпич (900 тыс. шт. – в 1952 г., 1000 тыс. шт. – в 1953 г., 1500 тыс. шт. – в 1954 г.);

поручение Госснабу СССР выделить институту автобус ГАЗ-51, санитарную машину, грузовой автомобиль ГАЗ-63, две легковых «Победы» и два лимита на автобензин в количестве 600 и 400 л.

Указанные капиталовложения в научно-техническую и социальную сферу позволили сдать на вооружение серию мин: противотанковых



Рис. 4. Родственники А.П. Баталина у баннера с его именем

ТМ-56, ТМ-57; противопехотных МОН-100, МОН-200; противодесантных ПДМ-1, ПДМ-2. Кроме того, заселить очередниками два жилых дома по улице Победы и обеспечить местами их детей в двух новых детских дошкольных учреждениях по улице Победы и в поселке Первомайский.

Между тем многопрофильность выполняемых работ стала сказываться на сроках завершения НИОКР, тематический план 1957 г. оказался невыполненным.

Реакция Министерства в таких случаях предсказуема – руководитель «не тянет», требуется замена, и А.П. Баталина освободили от должности директора института. Отдав в последующем 14 лет работе «на гражданке» и преподавательской деятельности, А.П. Баталин вернулся в институт к любимому делу и вновь решал научно-технические задачи проектирования инженерных боеприпасов (рис. 4).

В период руководства нового директора – Сергея Ивановича Чичкова – коллектив решительно ликвидировал нелестное об институте мнение, как о «вечно» отстающем предприятии, разработал и сдал на вооружение эффективные боеприпасы:

серию противотанковых мин ТМ-62 с разными взрывателями;

прилипающие мины СПМ и УПМ;

подрывные СЗ-6М и кумулятивные КЗ-5, КЗ-6, КЗ-7, КЗК заряды;

установку разминирования УР-67.

Все они превосходили по ТТХ зарубежные аналоги. Особенно впечатляли успехи по вы-



полнению намеченной и реализованной в течение 10 лет директорства С.И. Чичкова (1958–1968) программы социального строительства в Балашихе.

За этот период в городе было построено 11 домов на улицах Победы, Советская, Парковая общей жилой площадью 23 303 м<sup>2</sup>, детский комбинат на улице Флерова и загородный пионерский лагерь в Ногинском районе. С той поры за институтом закрепился лестный эпитет – «градообразующее предприятие Балашихи».

Сюда следует добавить еще решение всех непрофильных организационно-педагогических вопросов, связанных с открытием в Балашихе филиала Московского радиотехнического техникума, который готовил специалистов как для института, так и для предприятий города. Директор добился обеспечения техникума преподавательским составом из числа ведущих разработчиков института, учебными площадями, производственными мастерскими с оборудованием, приборами и учебными пособиями.

Под руководством С.И. Чичкова улучшались условия труда и жизни работников, преобразался и институт. Благодаря напору и настойчивости директора, умению убеждать руководителей вышестоящих организаций, партийных и советских органов институт в марте 1966 г. получил новое название, наиболее полно отражающее направление его деятельности, которое и поныне его сотрудники всегда произносят с гордостью и любовью. Как бы ни менялись слова, указывающие на форму собственности перед наименованием, оно остается неизменным – «Научно-исследовательский инженерный институт».

Стиль руководства С.И. Чичкова и пути достижения поставленных целей в основном поддерживались коллективом института, но и подвергались порой жесткой критике со стороны оппонентов. А у любого директора оппозиция всегда имела. Много критических стрел в адрес С.И. Чичкова выпустил работавший под его руководством юрист В.И. Трусов. Узнать об этом удалось из публикации [5] спустя 40 лет после происшедших событий. В 1968 г. С.И. Чичков вышел на пенсию.

Сложилось так, что три директора предприятия – А.П. Баталин, С.И. Чичков и В.И. Пчелинцев – были направлены Министерством

на руководящую должность в Балашиху после высокой профессиональной подготовки, полученной ими за годы работы в АО «НИТИ им. П.И. Снегирева». Пожалуй, верно будет считать, что родственное предприятие стало «кузницей» директорского корпуса для инженерного института.

Но в отличие от своих предшественников, возглавлявших институт по 10 лет каждый, у Владимира Ивановича Пчелинцева наибольший стаж (1968–1989) в должности руководителя – два десятилетия, насыщенных чредой важных исследований и сданными на вооружение новыми образцами боеприпасов.

В.И. Пчелинцев стал главным инициатором и руководителем работ по развитию нового направления деятельности – проектированию систем дистанционного минирования. В частности, наземной (УМЗ), вертолетной (ВСМ-1), авиационных («Алдан», «Амга», «Виллой»), реактивных систем залпового огня с кассетными снарядами и минами для них: противотанковых (ПТМ-1, ПТМ-3), противопехотных (ПОМ-1, ПФМ-1, ПОМ-2). Имидж института в качестве единственного в стране разработчика инженерных боеприпасов был чрезвычайно высок.

Углубились и получили новый импульс исследования по другому перспективному направлению – разработке противолодочного оружия, доля которого в некоторые годы составляла половину объема финансирования выполняемых НИОКР. Сданы на вооружение образцы противолодочного оружия – взрывательные устройства «Голец», «Удав», ракета 89Р («Ливень»).

Оценка разработанных боеприпасов и военной техники, не имеющих зарубежных аналогов или значительно превосходящих таковые, была очень весомой – 17 специалистов института в 1971, 1976, 1978, 1980, 1981, 1983, 1986 гг. удостоены Государственной премии СССР. За период 1968–1988 гг. 128 сотрудников награждены орденами и медалями СССР: орденом Ленина – 1, орденом Октябрьской Революции – 3, орденом Трудового Красного Знамени – 16, орденом Трудовой славы – 17, орденом «Знак Почета» – 30, орденом «Дружбы народов» – 1, медалью «За трудовую доблесть» – 29, медалью «За трудовое отличие» – 31. Четверо молодых ученых стали лауреатами премии Ленинского комсомола.

Признанием высоких заслуг разработчиков в укрепление оборонной мощи Отечества стала коллективная награда – в 1983 году «Научно-исследовательский инженерный институт» удостоен ордена Трудового Красного Знамени.

Некоторые из научно-технических заделов, созданных под руководством В.И. Пчелинцева, нашли реализацию в современных образцах вооружения, конструирование которых ведется согласно созданной и развитой им школой проектирования инженерных боеприпасов.

Продолжилось возведение социальных объектов в Балашихе – построены жилые дома на площади Славы, улицах К. Маркса, Советской, 40 лет Победы (и там же детский комбинат), возведен стадион «Метеор» – ныне гордость Балашихи. Сотрудники института получили в свое распоряжение прекрасный профилакторий в Вишняках и лабораторно-конструкторский корпус, который обеспечил при въезде в Балашиху узнаваемость города в качестве научно-производственного центра Подмосковья. На фоне малоэтажной серой застройки новый главный корпус выделяется семиэтажной красной доминантой (рис. 5).

Пришло время выйти на пенсию, и про уход В.И. Пчелинцева сотрудники говорили «... что не возраст украсил Владимира Ивановича, а он годами труда украсил прожитое и созданное». Данью уважения к заслугам В.И. Пчелинцева стало учреждение ежегодной премии его имени, которой награждаются по итогам работы за год в разных номинациях лучшие работники и молодые специалисты, а в главном корпусе размещен его барельеф, всегда утопающий в цветах (рис. 6).

Виктор Николаевич Лазуткин прошел в институте путь от инженера до директора. Его работа в должности руководителя (1989–1999) совпала с трудными годами перестройки и системного кризиса оборонных отраслей промышленности, когда изменились название страны, ее географические размеры, общественный строй, нравственные и идеологические идеалы. Из национального приоритета обороноспособность государства стала предметом рынка. Термин «выполнение НИОКР» заместился на англицизм «бизнес», а задачи по укреплению могущества Отечества трансформировались в получение и правильное распределение прибыли. И под шуршание валюты забыла прошлое страна.



Рис. 5. Главный корпус АО «НИИИ»



Рис. 6. Внук Ф.А. Пчелинцев вместе с правнучкой Е.Ф. Рязановой и ее мужем А.В. Рязановым (справа налево) у барельефа В.И. Пчелинцева

Конец 1990-х гг. для института следует назвать периодом выживания. Финансирование НИОКР свелось к минимуму и осуществлялось с большим отставанием от плановых сроков. Судорожные поиски своей производственной ниши по выпуску гражданской продукции, сдача помещений в аренду сторонним организациям, количество которых достигало 30, реорганизация подразделений в дочерние и малые предприятия не позволяли обеспечить необходимым финансированием плановые работы. Как результат – многомесячные задержки с выплатой зарплаты, утечка высококвалифицированных кадров.



Рис. 7. Родственники В.Н. Лазуткина – дочь И.В. Колодина и вдова С.А. Лазуткина

Но директору удалось «отбиться» от массы желающих поживиться уникальной государственной собственностью, институт выстоял. Сданы на вооружение кассетные дымовые (КДШ-2) и противодесантные (КПДМ-4) боеприпасы; комплекты минирования КРМ-П, подрывных зарядов УПП-1 и УПП-2; кумулятивно-фугасный заряд КФЗ-1; гравитационные подводные снаряды «Запад» и «Загон-1».

Отсутствие крупных работ от традиционных заказчиков из силовых ведомств заставило внимательнее посмотреть на реализацию имеющихся научно-технических заделов и совершенствование технологий. В числе последних наиболее востребованной оказалась технология изготовления пьезокерамических элементов с заданной пористостью. Они нашли широкое применение в разработках института в составе неконтактных датчиков цели, а также в гидроакустических антеннах противолодочного оружия.

На мероприятии родственники В.Н. Лазуткина (рис. 7) узнали, что в настоящее время пьезокерамическое производство в АО «НИИИ» успешно развивается и совершенствуется. Специализированный цех полностью обеспечивает внутренние потребности, большие объемы пьезокерамики поставляются в рамках кооперационных связей.

Директорскую эстафету после ухода на пенсию В.Н. Лазуткина принял Виталий Кузьмич Костылев, так же как и предшественник, прошедший путь от молодого специалиста до

руководителя института (1999–2009). Передача эстафеты оказалась неподкрепленной ни тематикой, ни финансами, ни кадрами, численность которых сократилась до 340 человек. Для сравнения: в 1976 г. численность сотрудников института составляла около 3500 человек.

Обратились к «модному» веянию – конверсии и получили некоторые положительные результаты. По заданию организаций Министерства внутренних дел и Министерства по чрезвычайным ситуациям на основе двойных технологий обеспечили заказчиков средствами охранной сигнализации, системами дробления ледовых заторов, а появившихся позднее с заказами горняков – взрывобезопасными системами подрыва. При этом вертолетная система дробления ледовых заторов оказалась настолько эффективной, что В.К. Костылев и заместитель директора института В.А. Попов стали лауреатами премии Министерства по чрезвычайным ситуациям.

Позднее В.К. Костылеву удалось вернуть доверие к институту и интерес к сотрудничеству со стороны традиционных заказчиков НИОКР, возобновивших их постановку и финансирование. Сданы на вооружение боеприпасы МИБ, ПОБ, комплекты минирования КРМ-Т, КРМ-С, УМП-4, взрывательные устройства НВУ-П2, КВП-4/100, ВЗД-135.

Расходовать деньги на городскую социалку не требовалось, поскольку в соответствии с новым российским законодательством институт лишился ее, созданной в предшествующие десятилетия несколькими поколениями работников, как непрофильной.

Менялась и совершенствовалась ведомственная структура, в рамках реорганизации отрасли институт вошел в состав Госкорпорации «Ростех», со стороны которой, а также со стороны Министерства промышленности и энергетики, В.К. Костылев получал постоянную поддержку.

На тернистом пути директорской карьеры всегда присутствуют опасные неожиданности. Только самые сильные и подготовленные не сворачивают с дороги, бросая вызов обстоятельствам. Пока в их груди бьется сердце, они не сдаются. Намеченные директором большие планы рухнули на взлете – он скоропостижно ушел из жизни в 2009 г. Стихотворная строка, ставшая народной мудростью: «Времена не выбирают, в

них живут и умирают» очень подходит к жизни и деятельности В.К. Костылева (рис. 8).

Виктор Александрович Попов стал третьим руководителем института (исполняющий обязанности генерального директора в 2009–2011 гг.), возвращенным в его стенах. Вступив в должность, В.А. Попов сразу обозначил, что не планирует принимать участие в конкурсе на замещение вакантной должности руководителя института, объявленном Министерством промышленности и торговли России. Главной своей задачей он видел сохранение темпов роста объема выполняемых НИОКР и поставок серийной продукции. Намеченное удалось обеспечить.

В качестве ведущего, а затем и главного конструктора АО «НИИИ» В.А. Попов добился многого, о чем подробно описано в [3]. Но есть два служебных момента, где он был первопроходцем для специалистов института.

Глубокие теоретические и практические знания в области конструирования и применения инженерных боеприпасов позволили впервые представителю АО «НИИИ» В.А. Попову поднять имидж института на международный уровень и продуктивно работать более десяти лет в составе российской группы правительственных экспертов государств-участников Конвенции о запрещении или ограничении применения конкретных видов обычного оружия, которые считаются наносящими чрезмерные повреждения или имеющими неизбирательное действие (по сути Конвенции о запрещении применения мин).

В 2015 г. В.А. Попову первому из сотрудников института присвоено высокое звание «Почетный гражданин городского округа Балашиха». В 2018 г. он закончил свою трудовую деятельность в связи с выходом на пенсию. Занимается общественной работой в составе Региональной общественной организации ветеранов войны и труда отрасли боеприпасов.

В галерее руководителей АО «НИИИ» прослеживается интересное обстоятельство – главные этапы в его истории связаны с директорами – офицерами Вооруженных Сил СССР и России.

С имени полковника Е.Г. Ковтуна началась история образования и становления института. При возглавившем институт с 2011 г. генеральном директоре генерал-майоре запаса И.М. Смирнове продолжилось возрождение



Рис. 8. Вдова и дочь В.К. Костылева

«НИИИ» в новом качестве. Коренная перестройка технологических процессов, повышение обеспокоенного технического риска, решение в сжатые сроки проблемных вопросов при выполнении НИОКР и освоении в серийном производстве новых боеприпасов – все это стало повседневной реальностью работы коллектива АО «НИИИ».

На вооружение сданы: противолодочная корректируемая авиабомба «Загон-2», кассета КПОМ-3 с противопехотными минами ПОМ-3, заряды КФЗ, КФЗ-Т, ПЗ, кассетные блоки КБ ПОМ-3 с противопехотными и КБ ПТМ-4М с противотанковыми минами для реактивных снарядов инженерной системы дистанционного минирования «Земледелие-И».

Коллектив специалистов, принимавших участие в разработке авиабомбы «Загон-2», удостоен государственных наград – девяти сотрудникам вручены ордена и медали, пяти присвоены почетные звания.

В 2022 г. высокое звание «Почетный гражданин городского округа Балашиха» присвоено И.М. Смирнову. Он также заменил предшественника в составе постоянно действующей делегации России для участия в переговорах по обзору выполнения упомянутой Конвенции.

Даже тех немногих из присутствующих гостей, кто представлял в общих чертах деятельность института в качестве одного из ведущих предприятий оборонно-промышленного комплекса страны, каким он по-прежнему остается в настоящее время, удивил рассказ генерального

директора о реализации АО «НИИИ» новых инвестиционных проектов.

Проведенные маркетинговые исследования показали, что в ближайшее десятилетие сохранится устойчивая тенденция по ранней диагностике состояния здоровья человека.



*Рис. 9. И.М.Смирнов знакомит И.Ю. Брынцалова, С.Г. Юрова и группу руководителей предприятий Балашихи с работой цеха по производству вакуумных пробирок для забора венозной крови*

Преимущественно она базируется на исследованиях крови, которая забирается, сохраняется, транспортируется и анализируется в вакуумных пробирках. Построенный с нуля и введенный в эксплуатацию в конце прошлого года цех по производству вакуумных пробирок для забора венозной крови позволит получить выручку от реализации пробирок до 30% общего годового объема прибыли АО «НИИИ» [6].

Отрадно, что напутствие этому важному этапу в развитии и диверсификации продукции института дали председатель Московской областной думы И.Ю. Брынцалов и глава городского округа Балашиха С.Г. Юров (рис. 9).

Одновременно в период 2022–2024 гг. институт реализует четыре инвестиционных проекта, направленных на техническое перевооружение производственных мощностей с созданием системы видеонаблюдения и интеллектуальной видеоаналитики, установкой цифровой системы управления промышленной безопасностью, оснащение цехов высокопроизводительным оборудованием.



*Рис. 10. Участники встречи у памятника установке взрывного разминирования УР-77*

Все это должно обеспечить постоянно увеличивающиеся запросы на выпуск продукции военного назначения, потребности в которой в условиях проведения СВО значительно возросли. Есть полная уверенность в том, что такая задача коллективом института под руководством доктора технических наук, академика РАН И.М. Смирнова будет успешно решена.

На встрече в музее АО «НИИИ» вспомнили всех директоров поименно и отдали дань уважения каждому. Завороженные глаза гостей говорили лучше всяких слов о том, какое большое впечатление произвело на них увиденное и услышанное, достигнутое коллективом института под руководством близких им людей, а через их трудовой вклад – с этапами развития и становления института – одного из ведущих предприятий ОПК страны. Заинтересовали возможности, которые предоставляет институт по целевому обучению студентов по требуемым АО «НИИИ» специальностям (рис. 10).

Руководители АО «НИИИ» всегда совмещали в себе личную ответственность, обостренное понимание политической ситуации, менеджерские качества, способность убеждать в правоте выбранной линии управления как своих сотрудников, так и представителей

заказывающих и вышестоящих организаций, диалектически переносить временные неудачи, рассматривая их как стартовую площадку для новых технических решений, ведущих к достижению поставленных целей.

Итог этой большой работы директорского корпуса – авторитет АО «НИИИ» и его востребованность в деле укрепления обороноспособности и могущества России, социального развития Балашихи!

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачурин С.П. Развивая традиции АО «Научно-исследовательский инженерный институт» // Боеприпасы. 2017. № 3. С. 85–90.
2. Бачурин С.П., Соловей Д.В. Все мы из четыреста первого // Боеприпасы. 2022. № 1. С. 112–118.
3. Бачурин С.П. Они всегда первые. М.: Леовинг, 2022. 64 с.
4. Бачурин С.П., Попов В.А., Чубуков Н.Н. 75 лет: традиций, чтимых верною дорогой. 1941–2016 / под ред. И.М. Смирнова. М., 2016. 276 с.
5. Трусов В.С. Моя судьба. Балашиха: Изд-во «Ольга», 2009. 305 с.
6. Шнякин В.Н. Гражданская продукция – один из приоритетов АО «НИИИ» // Известия РАН. Спецвыпуск. 2021. С. 184–186.



УДК 94(4); 623.411

## Артиллерия Европы XIV–XVI вв. Зарождение и становление нового рода войск

А.О. МЕТЕЛЬСКИЙ, канд. техн. наук А.А. ИВАНОВ, А.О. СОКОЛОВ, А.О. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ  
(ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ»)

*Рассмотрена история артиллерии: с момента появления первых пушек в Европе и до создания самостоятельных военных формирований. Выявлены ключевые события, определившие развитие этого вида оружия в период XIV–XVI вв., затронуты вопросы тактики, организации и обеспечения. Отдельно рассмотрено совершенствование материальной части и боеприпасов, в том числе технология их изготовления. Показано зарождение артиллерийской науки и появление соответствующего образования. Выявлены основные пути развития нового рода войск, а также проведено сравнение с отечественной артиллерией указанного периода.*

**Ключевые слова:** АРТИЛЛЕРИЯ; РИБАЛЬДА; БОМБАРДА; РИБАДЕКИН; КУЛЕВРИНА; СЕРПЕНТИН; ВЕЛИКИЙ МАГИСТР АРТИЛЛЕРИИ; ГАУБИЦА; КАЛИБР; АРТИЛЛЕРИЙСКАЯ ШКАЛА.

### ВВЕДЕНИЕ

Пятьсот семьдесят лет назад случились два события, значения которых трудно переоценить в мировой истории артиллерии: захват турками Константинополя (29 мая 1453 г.) и битва при Кастийоне (17 июля 1453 г.). Сами по себе эти сражения очень значимы – одно прекратило существование тысячелетней Византийской империи, а другое положило конец Столетней войне (1337–1453). Однако в литературе далеко не всегда отмечается тот факт, что это были первые в истории сражения, выигранные благодаря артиллерии. Разумеется, и до этого имели место эпизоды, когда пороховые орудия сыграли решающую роль в достижении победы, такие как битва при Беверхоутсфельде (1382). Тем не менее эти события оставались единичными случаями, не повлекшими за собой стремительного развития артиллерии. Именно Кастийон и Константинополь стали теми переломными моментами, которые сделали неизбежным превращение разрозненных пушечных расчетов в отдельный род войск.

Считается, что слово «артиллерия» имеет французское происхождение (фр. *artillerie* от старофранц. *atillier* – готовить, снаряжать) и это неслучайно. Французская артиллерийская школа на данный момент является старейшей в

мире и именно французы впервые вывели артиллерию в отдельный род войск с собственным командующим – Великим магистром артиллерии. Существует также версия о том, что появлением термина «артиллерия» человечество обязано создателю соответствующей науки – итальянцу Никколо Тарталья (1499–1557): итал. *arte* – искусство, *tirare* – стрелять. Обе эти версии имеют право на существование.

В настоящее время артиллерия является главным средством огневой поддержки сухопутных войск, на которое приходится до 80% доли огневого поражения. Именно с этим связан известный афоризм: «Артиллерия – бог войны!». Очевидно, что так было не всегда, поэтому большой интерес вызывают события, благодаря которым новое оружие приобрело такое важное значение. Для этого необходимо проследить за его развитием: от момента зарождения до всеобщего признания и становления в качестве отдельного рода войск со сложившейся производственной, научной и образовательной базой. Названные процессы происходили в Европе с начала XIV до середины XVI в. Изучив указанный период, можно понять причины образования организационных форм, производственной базы и тактики применения артиллерии, которые стали фундаментом для ее дальнейшего развития. Кроме того, это даст возможность оценить степень

влияния бомбардиров Европы на становление отечественной артиллерии.

### ПРЕДПОСЫЛКИ

Появление артиллерии предопределило изобретение пороха – смеси, имеющей необходимую энергию для совершения механической работы. Его получение связывают с Сунь-Сымяо (581–682) – китайским алхимиком, жившим в период правления династии Тан (618–907) [1]. Считается, что между 600 и 682 г. ему удалось создать смесь, состоящую из 75% нитрата калия (калиевая селитра,  $\text{KNO}_3$ ), 10% серы и 15% древесного угля. Первое применение огнестрельного оружия китайцами зафиксировано в 1132 г. во время осады Дэаня, а более широкое применение артиллерии относится уже к XIII в. Китайская ветвь развития будет продолжаться до XIX в., пока окончательно не пресечется ввиду безоговорочного превосходства европейской артиллерии. В XIII столетии отмечается появление артиллерии в Индии, которая будет развиваться вплоть до европейской колонизации. Одной из главных причин раннего появления пороха в Китае и Индии является наличие в этих государствах природной селитры, а также сырья для других компонентов пороха.

Нет прямых доказательств того, что именно Китай и Индия повлияли на появление пороха в средневековой Европе. Но нет сомнений, что

ключевую роль в зарождении европейского огнестрельного оружия сыграло появление артиллерии у арабов. Версия о том, что порох и некоторые виды огнестрельного оружия пришли к арабам из Китая по Великому шелковому пути до сих пор является предметом споров. Есть основания полагать, что современный состав дымного пороха, представляющий собой смесь калиевой селитры, серы и угля, был независимо открыт арабскими учеными в XIII–XIV вв. Так, первой в истории книгой, подробно описывающей очищение нитрата калия и способы приготовления черного пороха для получения взрыва, была книга мамлюкского султана Хасана Аль Раммаха. В свете этого выглядит вполне закономерным, что именно мамлюки Египта первыми среди мусульман начали использовать артиллерию в военном деле. Примером этого является одно из первых документально зафиксированных полевых сражений, в котором было применено огнестрельное оружие – битва при Айн-Джалуте (3 сентября 1260 г.) между египетским султаном Кутузом и эмиром Бейбарасом, с одной стороны, и ордынским военачальником Китбука-нойоном – с другой.

О применении мамлюками огнестрельного оружия в битве при Айн-Джалуте говорят четыре арабских рукописи или так называемые «рукописи аль-Махзуна» (одна хранится в Санкт-Петербурге, две – в Париже, еще одна – в Стамбуле). Согласно письменным источникам, огнестрельное оружие арабов представляло собой орудия типа «мадфа» (араб. – выдолбленная часть), которое являлось прикрепленной к древку железной трубкой диаметром около 20 мм, длиной 10...15 калибров, которая иногда снабжалась примитивными сошками. Боеприпасы к мадфе (рис. 1) были ударного действия и представляли собой круглое металлическое ядро, называемое «бондок» (араб. – лесной орех). Выстрел осуществлялся поднесением раскаленного прута к отверстию в казенной части ствола. Неслучайно мадфа по своему устройству аналогична первым образцам ручного огнестрельного оружия Европы: малым кулевринам, пищалям и ручницам.

В 1274 г. при осаде Сиджилмаса марокканцы использовали артиллерийские орудия, которые, очевидно, были аналогом мадфы. Таким обра-



Рис. 1. Выстрел из мадфы. Средневековое изображение





Рис. 2. Бертольд Шварц. Предполагаемый портрет конца XVI в.

зом, использование пороха распространилось по всей Малой и Средней Азии, а также Северной Африке. Огнестрельная артиллерия вскоре стала применяться Кордовским халифатом в войнах Реконквисты (711–1492), благодаря чему порох и артиллерийские орудия мусульман попали в руки кастильцев, арагонцев и португальцев. Наглядными примерами этого служат осада города Аликанте в 1331 г. и осада войсками Кастилии и Леона под командованием короля Альфонсо XI Справедливого города Алжесираса в 1342 г. Из Испании порох и орудия пришли в остальную Европу, создав условия для зарождения новой ветви развития артиллерии [2].

### ЗАРОЖДЕНИЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ Артиллерии

Применение европейцами пороховой артиллерии отмечается вскоре после столкновения с ней в боях с арабами. В «Хронике Форли» (итал. *Cronache Forlivesi*) говорится о бомбарде (бомбарда – от сочетания лат. слов: *bombus* – громовой звук и *ardere* – гореть) 1281 г. Впервые

в морском сражении артиллерийские орудия или т.н. «громовые трубки» (итал. *cannuncole*) применили арагонцы против флота Анжу. В 1304 г. появляется сообщение об однофунтовых орудиях (итал. *springarda*), применявшихся на судах генуэзского адмирала Раниеро Гримальди, который находился на службе у французского короля Филиппа IV Красивого (1268–1314) [3]. Первоначально европейцами использовались трофейные или купленные у арабов заряды и орудия, но впоследствии им удалось создать собственный порох. Первыми учеными, которые познакомили народы Западной Европы с составом и действием пороха, были Альберт Великий (1193–1280) и Роджер Бэкон (1216–1294) [2]. Согласно некоторым источникам, таким как «Книга огней» Марко Греко, ранее также имели место случаи открытия пороха, однако имена их создателей история не сохранила. Долгое время было принято считать, что в Европе порох был изобретен в первой четверти XIV в. монахом-францисканцем Константином Анклитценом, более известном как Бертольд Шварц (рис. 2) [4].

Несмотря на то что споры о первенстве изобретения пороха в Европе продолжают, несомненным остается факт его освоения европейцами в первой половине XIV в. Об этом говорят следующие факты [3–6]:

1316 г. – согласно «*Statio genovese di Gazzeria*», в Генуе суда грузоподъемностью больше 600 тонн обязывали иметь 5 бомбард, 120 ядер (каменных или железных) и 13 бочек пороха;

1324 г. – Венецианский сенат поручает гонфалоньеру (гонфалоньер – от итал. *gonfaloniere* – знаменосец или глава ополчения в городах Италии) изготовить пушки (итал. *cannoni*) и ядра из железа к ним (*eiserne*);

1326 г. – Флоренция начинает изготовление пушек и железных ядер;

1333 г. – при осаде английской крепости Бервик применяются бомбарды;

1334 г. – хроника д'Эсте сообщает, что в этом году маркграф Феррарский велел изготовить «огромное количество различного рода орудий»;

1338 г. – применение огнестрельных орудий французской армией при осаде города Пюи-Гийом;

1340 г. – при осаде Терни папские войска применили т.н. «гремящие трубы»;

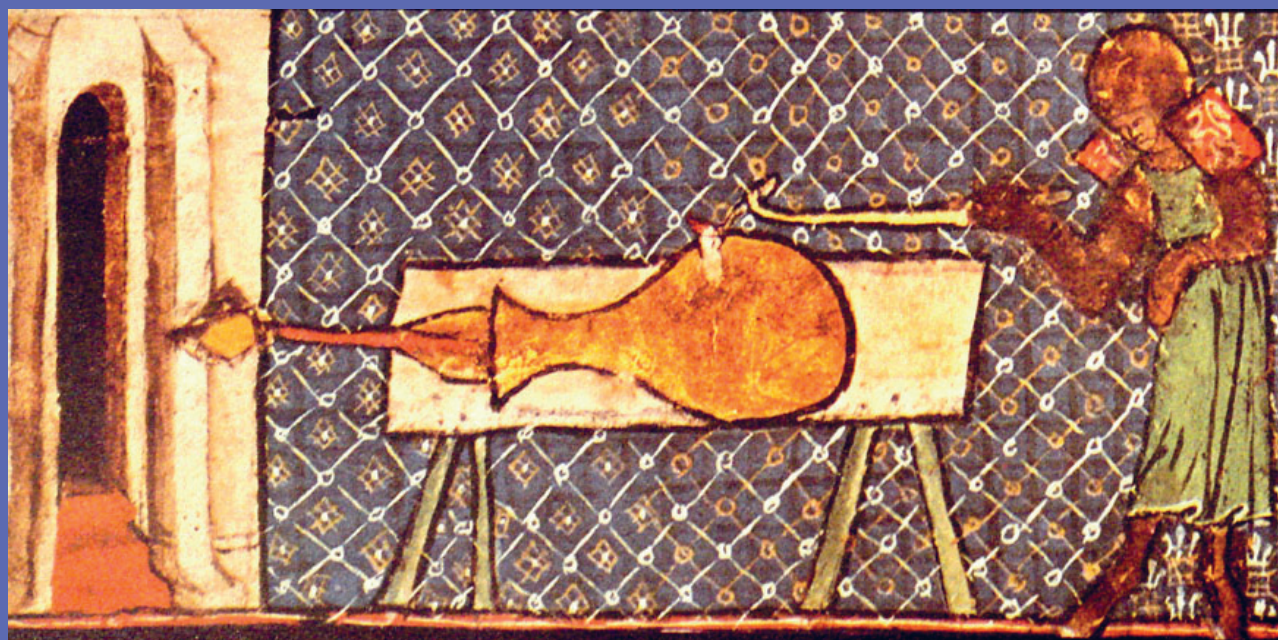


Рис. 3. Выстрел рибальды. Средневековое изображение

1341 г. – город Лилль имеет своего «мастера громовых дел» («*maistre de de tonnoire*»);

1346 г. – сведения о пушках встречаются в счетах города Ахен;

1347 г. – рыцарь Гуго де Кондильяк вооружил замок Бируль 22 самопалами;

1348 г. – огнестрельные орудия упоминаются в документах города Девентера;

1350 г. – во время осады замка Салуэроло папские войска применяют бомбарды, стреляющие железными ядрами массой около 300 г.

Первый документально зафиксированный случай применения европейцами артиллерии на суше был отмечен во время войны Сен-Сардо (1324–1327). В 1324 г. французские войска под командованием графа Карла де Валуа (1270–1325) начали осаду крепости Ла Реоль, в ходе которой использовали артиллерийские орудия.

Другой случай применения огнестрельного оружия имел место в 1331 г. на итало-германской границе в Фриули во время нападения на город Чивидале. В хронике говорится, что во время нападения на город двух рыцарей Крусперго и Шпилимберго «снаружи стреляли из самопала по направлению к городу и земле, и это не причинило никакого вреда» («*extrinseci balistabant cum sclopo versus Terram et nihil nocuit*») [5, 6]. Примененные горожанами орудия, которые

называются «мощные вазы» (итал. *potentes vasa*), представляли собой литые стволы калибра 55 мм, длиной 164 мм и с расширяющейся до 140 мм казенной частью, отчего возникало сходство с вазой. При этом масса орудия была около 5 кг. Весьма вероятно, что «мощные вазы» являлись аналогами английских рибальд (рис. 3) времен Столетней войны.

Во второй половине XIV в. в Священной Римской империи появляются гаубицы (нем. *haubitze* – орудие для метания камней), которые отличались большим калибром и предназначались для стрельбы каменной дробью. Однако на тот момент они не нашли широкого распространения [7, 8].

Огнестрельное оружие быстро распространилось по Европе, и это отмечалось современниками. Так, в 1350-х гг. итальянский поэт Франческо Петрарка (1304–1374) писал: «*Эти инструменты, которые выбрасывают металлические ядра со страшным грохотом и вспышками огня, еще несколько лет назад были очень редкими, но сейчас они стали обычными и знакомыми, как и любые другие виды оружия*» [4].

Уже к концу XIV в. пороховое оружие начинает оказывать заметное влияние на исход сражений. Так, 3 мая 1382 г. использование рибавекинов (от фр. *ribaudequin* – орган) – ар-

тиллерийских орудий, имевших на одном станке 4 ствола и более, калибра 10...20 мм. Появились около 1340 г., отличались высокой по тем временам скорострельностью и плотностью огня, принесли победу армии Гента в сражении на Беверхоутсфельд (битва на Осиновых полях). Но главным событием, обусловившем стремительное развитие артиллерии в Западной Европе, безусловно, стала Столетняя война (1337–1453).

### СТОЛЕТНЯЯ ВОЙНА

Столетняя война стала своеобразным катализатором процесса развития пороховой артиллерии. Если в начале боевых действий пушки представляли собой примитивные и малоэффективные конструкции, то в конце появились более технологичные орудия с развитым лафетом (лафет от фр. *l'affut* или нем. *lafette* – специальное приспособление, подвижная опора на которой закрепляется ствол орудия [9]), имевшие механизм изменения вертикального угла наводки, которые уже играли заметную роль не только при штурме или обороне крепостей, но и в полевых сражениях. Примечательно, что артиллерийские орудия применялись уже в самых первых сражениях войны. Так, 23 сентября 1338 г. в морской битве при Арнемейдене английский корабль «Христофор», вооруженный тремя пушками, вел огонь по французским кораблям. Наличие орудий на английских кораблях отмечено и в битве при Слейссе 24 июня 1340 г. [4].

В сухопутных сражениях армии короля Эдуарда III (1312–1377) показательными являются сражение при Кресси (26 августа 1346 г.), осада Кале (1346–1347) и битва при Пуатье (19 сентября 1356 г.). Особенно обращает на себя внимание битва при Кресси, где впервые в Европе была применена артиллерия в сухопутной битве. В отчетах Личного Гардероба Короля (учреждение, входившее в Департамент Королевской Палаты Англии) упомянуты так называемые «рибальды» (англ. *ribaldis*) – маленькие кувшинообразные пушки. В ходе сражения рибальды и бомбарды стреляли по тяжелой кавалерии французов и генуэзским арбалетчикам. Во время осады Кале у англичан было 22 бомбарды, изготовленные королевским кузнецом Уолтером и королевским плотником Реджинальдом из Сент-Олбанса.

Обслуживание орудий осуществлялось 12 артиллеристами, которых возглавлял королевский клерк Томас из Роллстона [10].

Артиллерийские орудия данного периода изготавливались чаще всего из железа. Малокалиберные делали путем сворачивания железных полос в нагретом состоянии вокруг стержня с последующим свариванием по шву. Крупнокалиберные – изготавливались из нескольких сваренных и стянутых железными обручами полос. Ствол малокалиберного орудия укреплялся для удобства использования в деревянной колоде с помощью железных обойм, нагоняемых в нагретом состоянии. Для стрельбы орудие устанавливалось на особый станок или козлы. Колеса у этих конструкций начали появляться лишь в 1380-х г., преимущественно у многоствольных рибалдекинов. Для придания угла возвышения под дульную часть подкладывали поперек деревянный брус. Казенная часть упиралась в какую-либо опору, чтобы уменьшить отдачу при выстреле [2, 6].

Для стрельбы применялся порох в виде порошкообразной массы – мякоти или комков. Он отличался слабыми энергетическими свойствами и непрактичностью в применении. При перевозке его составные элементы (селитра, сера, уголь) легко разъединялись вследствие разной плотности. Пороховая мякоть была очень гигроскопична, кроме того при зарядке с дула она прилипла к стенкам ствола, что приводило к отсутствию однообразия в зарядах и создавало опасность для орудийной прислуги. Из-за неудобства зарядания пушек (особенно длинноствольных) пороховой мякотью с дульной части были созданы казнозарядные орудия. В них применялись прообразы затворов, которые навинчивались на казенную часть или просто вставлялись в ствол. Были и различные варианты затворов по принципу байонетного крепления. Некоторые орудия имели объемные зарядные камеры, соединявшиеся подобно затворам со стволом. Делались попытки увеличения скорострельности орудий за счет использования нескольких зарядных камер. В больших бомбардах (рис. 4) применяли также привинтные зарядные камеры, которые состояли из одного слоя сваренных между собой полос и имели гнезда для вставки рычагов при ввинчивании и вывинчивании камеры.

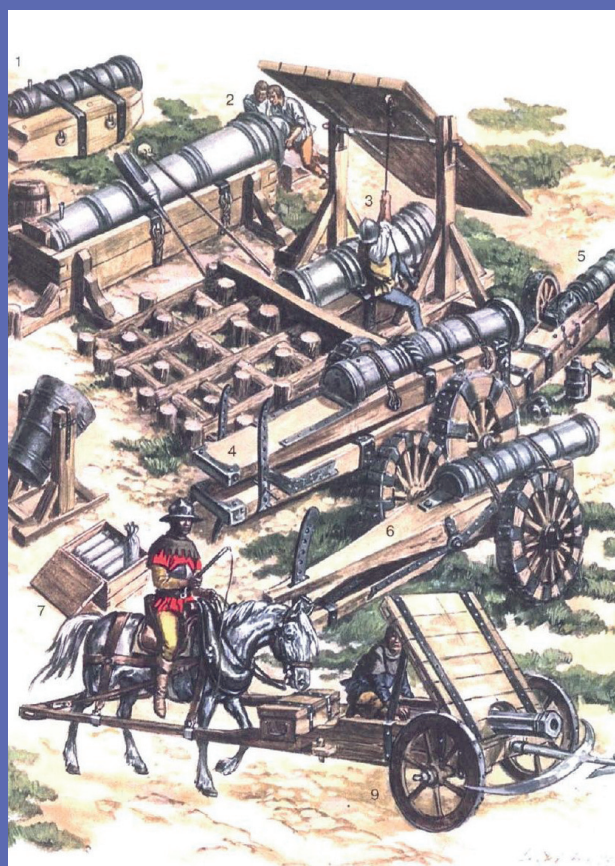


Рис. 4. Артиллерия времен Столетней войны (1337–1453)

Для улучшения obturation пороховых газов щель между стволом и камерой уплотнялась тряпками и замазывалась глиной. Часто при стрельбе затвор или камера могли выскочить, поражая орудийную прислугу. В казенной части имелось отверстие для воспламенения пороха в зарядной камере, которое называлось запал. Запал заполнялся порохом, который воспламенялся раскаленным железным прутом. Орудия малого калибра имели цилиндрический канал ствола. Крупные орудия оснащались специальными зарядными камерами, чаще всего цилиндрическими с полусферическим дном.

Были также камеры конической формы. Прицельные приспособления отсутствовали. Обслуживание орудий проводили те же мастера, которые их изготовляли. Наиболее опытные из них привлекались к управлению артиллерией. Снарядами для орудий служили каменные, свинцовые и железные ядра, а также щебень и металлическая дробь. Иногда шарообразные

камни обматывали веревками для сглаживания неровностей формы или укрепляли железными обручами [2, 6].

Ввиду того, что большой трудностью в то время являлся штурм мощных фортификационных сооружений, быстрее всех развивалась осадная артиллерия. Бомбарды все чаще использовались во время штурма крепостей, при этом постоянно увеличивались калибр и масса орудий, которые получали возможность метать более тяжелые снаряды. Однако при этом ухудшалась и без того невысокая подвижность орудий. Осадные бомбарды доставлялись на позиции разобранными, для их перевозки требовалось несколько десятков лошадей. Артиллерия на протяжении всего боя оставалась на одной позиции. Ее главной задачей было разрушение крепостных стен. Скорострельность больших бомбард составляла около 4-х выстрелов в день. Впервые успешно разрушить каменные укрепления огнем бомбард удалось французам в 1374 г. и бургундцам в 1377 г.

В Европе зародились две сильнейшие артиллерийские школы Средневековья – французская и бургундская. В это же время начала развиваться крепостная артиллерия, перед которой ставились задачи по отражению штурма и срыву осадных работ (рис. 5). Яркими примерами использования осадной и крепостной артиллерии являются осада Руана (1418–1419), Орлеана (1428–1429), Парижа (1429), Кале (1436), битва при Божанси (1429) и при Жаржо (1429) [11].

Осада Орлеана во многом стала поворотным моментом Столетней войны. Французский гарнизон имел 18 бомбард, в то время как англичане – более многочисленную артиллерию. Английской артиллерией командовал Джон Паркер де Честант. Меткая стрельба его подчиненных вынудила французов оставить турнель (башню, охранявшую въезд на крепостной мост) и взорвать мост. Командующий английскими войсками Томас Монтегю, 4-й граф Солсбери (1388–1428), решил осмотреть захваченную турнель и произвести рекогносцировку французских укреплений. Поднявшись на башню, граф Монтегю попал под обстрел бомбард башни Нотр-Дам и погиб в результате попадания снаряда. Гибель одного из лучших полководцев своего времени определила не только исход осады Орлеана, но и сильно повлияла на ход войны.

Наглядной демонстрацией возросшей роли крепостной и осадной артиллерии служит осада бургундскими войсками города Кале в 1436 г. Заключение Аррасского договора (1435) между королем Франции Карлом VII Победителем (1403–1461) и герцогом Бургундским Филиппом III Добрым (1396–1467) положило конец изнурительной гражданской войне (1407–1435) и стало коренным переломом в Столетней войне. 13 апреля 1436 г. союзными французско-бургундскими войсками был освобожден Париж. Летом герцог Бургундский начал готовить поход на Кале – мощный опорный пункт и главную морскую базу англичан на севере Франции. Следует отметить, что в организации похода герцог особое место уделит артиллерии.

За подготовку материальной части и боеприпасов отвечал контролер артиллерии герцогов Бургундских Гийом де Труа. Началась осада Кале обстрелом крепостных стен бургундской артиллерией, однако ответный огонь английских орудий смог подавить артиллерию бургундцев и заставил отступить их еще дальше от стен. Первоначально бургундские позиции частично повторяли позиции англичан, осаждавших Кале в 1346 г., т.е. они были заранее пристреляны артиллерией гарнизона. Сам Филипп III едва не стал жертвой английских орудий – проводя рекогносцировку под стенами крепости, он едва не был убит большим каменным ядром, которое поразило лишь окружающих герцога людей. Артиллерии Кале даже удалось потопить один корабль при попытке бургундцев блокировать порт.

Чтобы обеспечить превосходство над артиллерией осажденных, а также для наблюдения за городом была сооружена большая деревянная башня – бастилия, на которой была размещена мощная батарея под командованием Филибера де Водрея. Появление деревянной бастилии осложнило положение крепости – под обстрелом бургундцев теперь оказался весь город. Англичане неоднократно предпринимали вылазки с целью уничтожения башни, однако усиленное боевое охранение пресекало все подобные попытки. Появление английского флота под командованием Хамфри Ланкастерского, герцога Глостерского (1390–1447), вынудили Филиппа III начать подготовку к отражению десанта. Однако пока рыцари строились в боевые порядки, на-



чалась паника среди фламандских ополченцев. Воспользовавшись ситуацией, Джон Рэдклиф – командующий гарнизоном Кале – организовал вылазку, в результате которой деревянная бастилия была захвачена, фламандская пехота потеряла около трети личного состава убитыми, а сам герцог Бургундский едва не попал в плен. В сложившейся ситуации Бургундская армия начала отступление, бросив часть артиллерии, прочего вооружения и провианта [11]. Освободить Кале французам удастся только в 1558 г. на завершающем этапе Итальянских войн.

В начале XV в. большее распространение получают кулеврины (фр. *couleuvre* – уж) – орудия калибра 25...50 мм и длиной ствола 0,6...1,2 м. Их перемещение вызывало меньше трудностей, чем транспортировка бомбард, в связи с чем кулеврины стали чаще использоваться армией. Очень скоро были предприняты попытки использования кулеврин в полевом бою. Так в битве при Краване (31 июля 1423 г.) огонь бургундских кулеврин и легких бомбард оказывал поддержку форсирующим реку Йонна английским войскам, нанеся ощутимые потери шотландским лучникам. В битве при Рувре (12 февраля 1429 г.), так же известной как «Битва селедок»,

французы начали атаку с артиллерийского обстрела занявших оборону англичан. Однако недостаточная длительность артиллерийской подготовки, малая интенсивность стрельбы и отсутствие слаженности действий не позволили французам одержать победу [11].

В 30-х гг. XV в. фитиль заменил раскаленный прут при производстве выстрела, а также появилась технология зернения пороха. Зерненный порох значительно упрощал процесс заряжания, так как он не склонен распадаться на состав-

ляющие и прилипать к стенкам канала ствола, давая возможность формировать однообразные заряды. Кроме того, на полях сражений появляются орудия, конструкция которых ознаменовала прорыв в военном деле. Данные орудия получили название серпантина или серпентин (англ. *serpent* – змей). Это орудие (рис. 6) имело калибр 50...150 мм, длину ствола 1,2...2,4 м, развитый колесный лафет, станину, механизм изменения угла вертикальной наводки – кремальер (фр. *cremaillere* – крюк). В конструкции ствола впервые появились цапфы – выступы цилиндрической формы, расположенные вблизи центра тяжести артиллерийского ствола, предназначенные для лучшего крепления его на лафете и облегчения наводки в вертикальной плоскости. Серпентин предназначался для полевых сражений, что свидетельствует о пересмотре роли артиллерии в войне. Бургундские войска первыми начали применение серпентин в боевых действиях [4, 12].

Если на первом этапе войны артиллерия использовалась главным образом англичанами, то в дальнейшем первенство в ее применении постепенно перешло к французам. Во многом это была заслуга короля Франции Карла VII (рис. 7). Монарх уделял большое внимание развитию артиллерии, справедливо считая ее важным фактором победы в войне. При Карле VII отмечается лучшая организация артиллерии в вопросах управления, производства и обеспечения. Есть основания полагать, что именно при нем началось мануфактурное производство артиллерийских орудий (мануфактура – предприятие, основанное на ручном труде наемных работников, где существует разделение труда на отдельные производственные операции). Значительно возросла роль Главного магистра артиллерии, который стал отвечать за инспекцию артиллерии, производство орудий, пороха и снарядов, организацию марша и оборудование позиций артиллерии в ходе боевых действий. Появление собственного командующего, подчиняющегося непосредственно королю, стало важным шагом на пути превращения артиллерии в отдельный род войск [8, 11].

Назначение в 1439 г. Главным магистром артиллерии Жана Бюро (1390–1463) привело к расцвету артиллерийского дела во Франции.

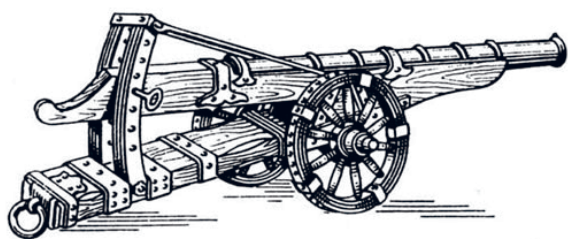


Рис. 6. Серпентин



Рис. 7. Карл VII Победитель (1403–1461)

Совместно с братом Гаспаром Бюро реорганизовал французскую артиллерию, начав внедрение скорострельных бронзовых пушек малого и среднего калибров, взамен неповоротливых бомбард. В производстве начался переход на литье, что знаменовало собой переворот в технологии изготовления орудийных стволов. Жан Бюро стал одним из первых полководцев в истории, который полагался на активное использование артиллерии. Благодаря его энергичной деятельности, Франция закончила Столетнюю войну, имея самую передовую артиллерию.

Бронзовое литье орудий упрощало и удешевляло артиллерийское производство. В пушечно-литейном деле прежний трудоемкий процессковки и сварки стволов из железа заменялся более простым и удобным процессом. Орудия отливались целиком в виде трубы с глухим дном и готовым каналом, для чего создавалась форма, а внутрь вставлялся железный стержень, обвитый веревками и обмазанный глиной. Литье орудий велось в вертикальном положении. Наибольшую трудность при этом представляла центровка стержня. В случае брака орудие отправлялось на переплавку [2].

Описанные преобразования сразу отразились на ходе войны. 15 апреля 1450 г. французские войска одержали победу в битве при Форминьи, которая стала решающей в Столетней войне. В ходе сражения, после неудачной фланговой атаки, предпринятой французами, Карл I Бурбон, граф де Клермон (1401–1456), приказал обстрелять из кулеврин укрепленные позиции сэра Томаса Кириелла. Вынужденные оставить свои позиции для атаки французской артиллерии англичане подставили фланг войскам коннетабля Франции (высшая военная должность в то время) Артура де Ришмона (1393–1458), удар которого решил исход сражения. Заставив противника оставить подготовленные позиции и вынудив начать атаку, подставляясь под фланговый удар, артиллерия сыграла ключевую роль в достижении победы. Данный успех позволил французским войскам освободить от англичан Нормандию [8, 11].

В 1452 г. английские войска под командованием Джона Толбота высадились в Гаскони и захватили значительную часть провинции Гиень, в том числе освобожденный французами годом ранее

город Бордо. В 1453 г. начался поход французских войска на занятую англичанами Гасконь. Командующим войсками короля Франции был Главный магистр артиллерии Жан Бюро. Когда французская армия осадила Кастийон, Джон Толбот выступил с войсками для его деблокады. Благодаря хорошо организованной разведке Жан Бюро своевременно узнал о подходе английских войска и приказал укрепить лагерь, окружив его рвом и частоколом. В распоряжении французов имелось около 300 орудий разного калибра, которые в большинстве своем были установлены в местах ожидаемой атаки. Обнаружение укрепленного лагеря с готовыми к бою французами стало неожиданностью для англичан, которые были дезинформированы сообщениями об отступлении французских войска. Так, 17 июля 1453 г. началась битва при Кастийоне (рис. 8). Усиленный артиллерией и ручным огнестрельным оружием лагерь смог отразить мощные атаки англичан с большим уроном для последних. Расстроив войска противника плотным артиллерийским огнем, французские войска создали благоприятные условия для перехода в контратаку. Неожиданный удар рыцарской конницы по правому флангу англичан и последующая контратака пехотинцев лагеря привели к полному разгрому противника. Английские войска понесли большие потери от артиллерийского огня. Видный английский полководец Джон Толбот погиб из-за того, что лошадь под ним была убита пушечным ядром. Кастийон сдался через два дня. Вскоре французскими войсками окончательно был освобожден город Бордо и вся Гасконь. Столетняя война закончилась [11].

Форминьи и Кастийон стали последними битвами Столетней войны и первыми в истории сражениями, выигранными благодаря артиллерии. Именно Столетняя война способствовала возникновению осадной и крепостной артиллерии, а также создала необходимые условия для появления полевой артиллерии.

## ВОСТОЧНАЯ ЕВРОПА

Первыми подтвержденными случаями применения артиллерии в полевых сражениях Восточной Европы являются битва на Ворскле (12 августа 1399 г.) и Грюнвальдское сражение



Рис. 8. Битва при Кастийоне (17 июля 1453 г.)

(15 июля 1410 г.) [2]. Состав артиллерии в этих сражениях позволяет сделать вывод о том, что артиллерия Восточной Европы была менее развитой в тот период. Тем не менее в этой части Европы впервые были продемонстрированы уникальные способы применения огнестрельного оружия.

Так, в ходе Гуситских войн (1419–1434) впервые было широко использовано ручное огнестрельное оружие, что позволило вкуче с артиллерией нанести поражение профессиональным армиям и отрядам тяжеловооруженных рыцарей немецких, австрийских, венгерских, польских и итальянских феодалов. Среди сражений заслуживают особенного внимания битва за Прагу (1420), битва на горе Владарь (1421), сражение на Кутной горе (1421) и битва у Липан (1434).

В Пражской битве умелое использование бомбард, ручниц и вагенбургов (передвижное полевое укрепление из повозок) гуситами позволило отбить атаки германских рыцарей. В то же время сами гуситы потеряли артиллерию и осадные машины в результате огня бомбард Пражской крепости. В битве на горе Владарь использование артиллерии в сочетании с ва-

генбургами обеспечило победу над польскими и венгерскими рыцарями. В сражении на Кутной горе, чтобы выйти из окружения, гуситы применили первый в истории полевой артиллерийский маневр. Артиллерия была закреплена на возах, а затем гуситы, приблизившись к противнику, дали залп и врезались в немецкие боевые порядки, стреляя в крестоносцев огнем из ручниц и пушек. Окружение было прорвано. Указанные победы были заслугой лидера гуситов, выдающегося чешского полководца и новатора в военном деле Яна Жижки из Троцнова (1360–1424). Артиллерия неизменно сопровождала войска гуситов в походах на земли Священной Римской империи, Венгрии и Тевтонского ордена.

В битве у Липан имело место столкновение войск, использующих вагенбурги, при активной поддержке артиллерии. Лишь выманивание противника ложным отступлением из вагенбурга, фронтальный залп по атакующим и фланговый удар кавалерии обеспечили победу чашников над радикалами (чашники и радикалы – течения гуситского движения). Основным артиллерийским орудием гуситов была тарасница (чеш. *tarasnice*) – аналог французских кулеврин и итальянских сербатан. Ее литой или ковано-сварной ствол восьмигранного сечения калибра 40...100 мм и длиной 17...29 калибров стрелял каменными или железными ядрами на дистанцию 200...300 м. Тарасница (рис. 9) имела брусковый переносной станок, иногда снабженный кремльерой, и транспортировалась на возах [5, 13, 14].

Осада Константинополя (6 апреля – 29 мая 1453 г.) стала знаковым событием в военной истории. В частности, это связано с тем, что бомбарды были одной из главных причин победы турецкого султана Мехмеда II Завоевателя (1432–1481). Перед началом осады турецкий султан приказал спроектировать артиллерийские орудия, достаточно мощные, чтобы разбивать крепостные стены. Незадолго до начала войны венгерский пушечный мастер Орбан предложил византийскому императору Константину XI Драгашу (1405–1453) свои услуги. Получив отказ, Орбан обратился к Мехмеду II, который заплатил сумму, в четыре раза превышающую ту, которую просил Орбан. Венгерский инженер построил в Эдирне орудие, назван-



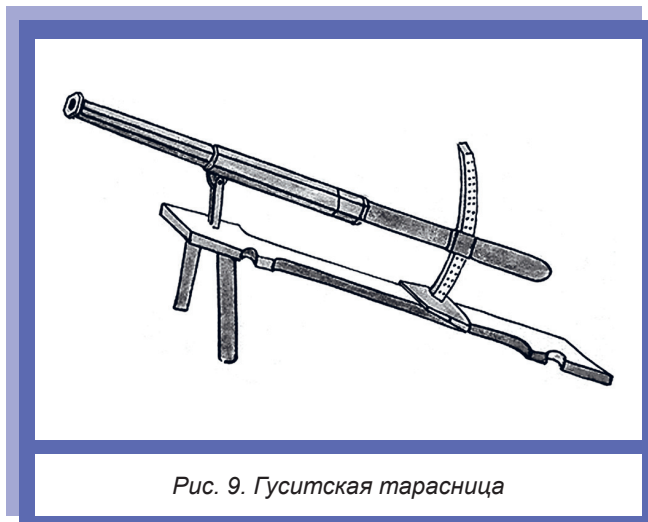


Рис. 9. Гуситская тарасница

ное «Базилика». Она была длиной 26 футов и 8 дюймов (8,1 м), калибра 24 дюйма (610 мм) и была способна метать каменные снаряды весом 600 фунтов (270 кг) на милю (1,6 км). Перезарядка орудия требовала 3 часа. Для транспортировки требовалось 30 упряжек, в которой было 60 волов и более сотни человек. По словам просманского историка XV в. Михаила Кривоула (1410–1469), «эта пушка решила все» [6].

К середине XV в. в Османской империи уже было развито литейное производство артиллерийских орудий, что стало одной из причин побед турецкой армии в последующих войнах. В ходе осады Константинополя турки сосредоточили по некоторым данным до 200 орудий, которые были созданы на литейных заводах, где работали османские инженеры и литейщики пушек, такие как Саруджа. Ранее Мехмед II основал большой литейный завод на расстоянии около 241 км от Константинополя и организовал доставку орудий к городу.

Артиллерия Константинополя ограничивалась несколькими небольшими пушками, которые император Константин с трудом приобрел незадолго до осады.

Осада Константинополя началась с массированного артиллерийского обстрела. Наибольшие разрушения наносила «Базилика» Орбана. На 13-й день осады, сосредоточив всю артиллерию на наиболее опасном участке обороны, генуэзские наемники под командованием Джованни Джустиниани Лонго (1418–1453) смогли повредить «Базилику». По другим сведениям, ее просто разорвало в казенной части при выстреле.

Однако 6 мая османам удалось отремонтировать чудо-пушку, но вскоре ствол снова разорвало и далее она уже не подлежала восстановлению. Тем не менее в начале мая артиллерийский обстрел городских укреплений усилился. Получив контроль над бухтой Золотой Рог, турки соорудили понтонный мост и установили на нем пушки для обстрела стены Влахерн – самой слабой части укреплений. Когда угроза атаки венецианским флотом была снята, Мехмед II приказал снять всю артиллерию с северного берега залива, чтобы усилить осадные батареи в долине Ликоса и напротив стены Влахерн. Главные орудия османов были расположены на холме напротив ворот Святого Романа, которые были наименее укрепленными. К моменту решающего штурма стены Константинополя были серьезно повреждены. Османской артиллерии удалось пробить три бреши: между Адрианопольскими воротами и дворцом Порфириогенитов, возле ворот Святого Романа в долине Ликоса (самая крупная брешь) и возле Третьих военных ворот. В районе Ликоса обороняющимися были сосредоточены все пушки и ручницы, а также наиболее боеспособные части гарнизона. Последний приступ начался с мощной артиллерийской подготовки. В результате штурма Константинополь был захвачен войсками султана Мехмеда II. Последний император Византийской империи Константин XI Драгаш погиб в бою [6, 14].

К концу XV в. Османская империя обладала самой мощной и многочисленной артиллерией. Развитая производственная база позволяла османам производить самые большие орудия в мире. Именно наличие передовой артиллерии во многом обусловило успехи Османской империи в завоевательных войнах.

Во второй половине XV в. в число стран с развитой артиллерией вошла Венгрия. Это стало возможным благодаря деятельности короля Матьяша Хуньяди или Матьяша I Корвина (1443–1490). Итогом проведенных им военных преобразований стало появление в 1458 г. так называемой Черной армии, которая наряду с французскими и бургундскими «ордонансовыми ротами» стала одним из первых постоянных вооруженных формирований в Европе. Черная армия имела четкое разделение по родам войск: тяжелая кавалерия, легкая кавалерия, пехота, стрелки. В составе

армии имелся крупный артиллерийский парк, разделенный на мощную осадную артиллерию и легкую артиллерию поддержки войск. Также имелся многочисленный речной флот, вооруженный пушками. Главным нововведением Матьяша Корвина стало широкое внедрение в армию ручного огнестрельного оружия – каждый четвертый пехотинец был вооружен фитильной аркебузой. Стройная организация, жесткая дисциплина и широкое использование огнестрельного оружия стали причиной многочисленных побед Черной армии в войнах со Священной Римской и Османской империями. Завоевав обширные территории Чехии и Австрии, войска Матьяша Корвина сумели в 1485 г. захватить Вену – столицу Священной Римской империи.

### ВОЙНА РОЗ, БУРГУНДСКИЕ ВОЙНЫ И ГРАНАДСКАЯ ВОЙНА

Через два года после окончания Столетней войны в Английском королевстве вспыхнула кровопролитная гражданская война, известная как война Алой и Белой розы (1455–1485). Ее сражения отличались особенной жестокостью. Кроме того, противоборствующие стороны использовали в большом количестве артиллерию и ручное огнестрельное оружие. Зачастую это были заимствованные у Франции и Бургундии бомбарды и кулевины [10].

Большое значение в развитии артиллерии имеют Бургундские войны (1474–1477), в ходе которых на поля сражений впервые вышла полевая артиллерия. Ее создателем можно по праву считать герцога Бургундии Карла Смелого (1433–1477). Создав по образцу французов регулярные войска (ордонансовые роты), он значительно усовершенствовал их организацию, объединив в одной тактической единице тяжелую кавалерию, пехоту и артиллерию [14]. Было организовано широкое производство артиллерийских орудий с помощью литья.

В ходе Бургундских войн Карл Смелый располагал одним из самых больших артиллерийских парков в Европе – около 300 орудий. При нем активно производились серпентины, имевшие меньшую массу и более совершенную конструкцию. Очевидно, приданные ордонансовым ротам серпентины стали основой полевой ар-

тиллерии герцогства Бургундия. Несмотря на то что к тому времени артиллерия уже более сотни лет применялась в полевых сражениях, говорить о зарождении собственно полевой артиллерии в Бургундии позволяет следующее:

созданы орудия, адаптированные для использования в полевых сражениях;

артиллерия становится неотъемлемой составляющей общевойскового подразделения (ордонансовой роты);

орудия имеют свое определенное место в боевых порядках войск;

по плану сражения артиллерии ставятся самостоятельные задачи;

значительно возросло число орудий, используемых в полевых сражениях;

возрос ущерб, наносимый живой силе противника огнем артиллерии.

Наглядной демонстрацией использования нового вида артиллерии служат осада Нойса (1474–1475), битва при Грансоне (1476), при Муртене (1476) и при Нанси (1477). Однако, несмотря на верное понимание задач, выполняемых артиллерией на поле боя, качественную материальную часть и хорошую подготовку орудийной прислуги, артиллерия не способна была компенсировать роковые ошибки герцога Бургундского. Указанные битвы продемонстрировали, что грамотное использование орудий гарантирует успех лишь при условии слаженных действий пехоты, кавалерии и артиллерии. Имея лучшую рыцарскую конницу и артиллерию (рис. 10), а также хорошо подготовленную пехоту и стрелков, Карл Смелый не смог обеспечить их взаимодействия и использовать сильные стороны своей армии. Данный фактор вкупе с тактическими и стратегическими просчетами привел к гибели как самого Карла Смелого, так и Бургундии. Так прекратила свое развитие бургундская школа артиллерии, оказав при этом огромное влияние на дальнейшее развитие артиллерии Европы [4, 14].

Особое место в мировой истории артиллерии занимает Гранадская война (1482–1492). В этой войне христианские государства Пиренейского полуострова (королевства Кастилия, Леон и Арагон) объединились с целью уничтожения последнего оплота мусульман на полуострове – Гранадского эмирата. Боевые действия в

большинстве своем представляли собой осады мусульманских крепостей. Кульминацией войны стала осада Гранады. Если в начале войны христиане обладали малочисленной артиллерией, то благодаря связям короля Фердинанда II Арагонского (1452–1516) христианам удалось заполучить сначала орудия (рис. 11), а затем и специалистов из Франции и Бургундии. В конце войны Фердинанду удалось организовать собственное производство бомбард и кулеврин.

Широкое использование осадной артиллерии христианскими войсками ускорило процесс захвата крепостей. Особенно примечательными являются осада Малаги (1487), Басы (1489) и Гранады (1491–1492). К началу осады Гранады король Фердинанд уже обладал большим артиллерийским парком – 176 орудий. Артиллерия эмирата в этот период находилась в состоянии полного упадка. Она была малочисленной и представлена в большинстве своем захваченными у христиан орудиями. По иронии судьбы арабы, благодаря которым в Европе в XIII в. появилось огнестрельное оружие, спустя 200 лет были окончательно побеждены европейской артиллерией. В 1492 г. Гранада, столица эмирата, пала под грохот артиллерии христиан. Как отметил историк Уэстон Ф. Кук-младший: «Порох и артиллерия выиграли Гранадскую войну, другие факторы, на самом деле, были вторичными и производными» [15].

Гранадская война стала последней войной Реконквисты и первой в истории, выигранной благодаря артиллерии. С победы в этой войне началось превращение Испании в ведущую мировую державу.

### ИТАЛЬЯНСКИЕ ВОЙНЫ

В конце XV – начале XVI вв. в технологии производства орудийных стволов произошел окончательный переход на литье из бронзы. Появились более прочные сплавы, которые получают название пушечной бронзы. Важным событием в развитии артиллерийского производства явилось распространение чугунного литья ядер. Калибры стали меньше, а стволы орудий длиннее, соответственно увеличилась и дальность стрельбы пушек. Следует отдельно отметить, что в это время в Европе происходит интенсивный



Рис. 10. Орудийная прислуга времен Бургундских войн

переход от ремесленного производства орудий к мануфактурному. Из собственности воевод и князей артиллерия становится собственностью монархов [2]. Переход на мануфактурное производство позволил существенно увеличить производительность, качество и однообразие производимых орудий, создав необходимые условия для унификации артиллерии.

Пушечные стволы этого периода отличает лучшая обработка канала ствола и внешней поверхности. Орудия приобретают дельфины, винград и простейшие прицельные приспособления. Дельфины – это приспособления, имеющие вид скоб, расположенные на стволе орудия ближе к его дульной части, предназначенные для подъема и накладывания ствола на лафет. Винград – утолщенный стержень, которым оканчивается казенная часть ствола, имеет тоже предназначение, что и дельфины. Цапфы орудий становятся длиннее и прочнее. Кроме того, были созданы более совершенные артиллерийские лафеты, имеющие колеса, ось и станины, которые дава-

ли возможность перемещать орудия во время длительных маршей, совершать маневр на поле боя и которые не разрушались при стрельбе. Испанцами впервые вводятся в использование артиллерийские передки (специализированные двухколесные повозки, предназначенные для обеспечения транспортировки буксируемых артиллерийских орудий). Эволюция материальной части приводит к появлению мортир и пушек. Мортира (от фр. *mortiere* – ступка) – осадное крупнокалиберное орудие, предназначенное для навесной стрельбы, имеющее ствол длиной 1,5...3,5 калибра. Относительная масса металлического заряда составляла 1/5...1/40 массы ядра. Пушка – орудие, предназначенное для настольной стрельбы, имеющее сравнительно малый калибр и наибольшую длину ствола – до 50 калибров. Пушки в течение короткого времени заменили в полевой артиллерии кулеврины и серпентины [2, 6, 8].

В дело усовершенствования материальной части и тактики боевого применения артиллерии огромный вклад внес король Франции Карл VIII (1470–1498). Благодаря ему Франция полностью перешла на литье орудий из бронзового, а также на производство ядер из чугуна. Завершился переход на зерновый порох и была произведена первая попытка упорядочить калибры орудий. Пушки стали значительно легче и подвижнее, кроме того, увеличилось их производство. Для похода в Италию Карл VIII (рис. 12) собрал армию в 37 000 воинов, 136 полевых орудий (36 новых бронзовых пушек и 100 кулеврин на колесных лафетах), а также осадную артиллерию. Вся полевая артиллерия была придана войсковым частям. Такого насыщения полевых войск артиллерией еще не было в истории. Пехота была вооружена большим количеством ручного огнестрельного оружия – аркебузами [4, 5, 8, 16].

В августе 1494 г. армия Карла VIII совершила переход через Альпы. Если прежде артиллерия передвигалась вместе с обозом отдельно от войск, то во время Альпийского перехода французская полевая артиллерия совершала марш в составе армейских походных колонн. При этом в тяжелых условиях горного перехода артиллерия не отстала от войск, продемонстрировав свою высокую подвижность. Осадная артиллерия



Рис. 11. Артиллерийское орудие конца XV в.

была отправлена отдельно – сначала по реке Рона, затем по Средиземному морю в Специю. Следует отметить, что король уделил внимание вопросам материального обеспечения и инженерного сопровождения артиллерии – в войсках было большое количество подвод и до 2000 рабочих. На подводах перевозились боеприпасы и ремонтные принадлежности, а рабочие использовались для обеспечения передвижения артиллерии на марше и обустройства артиллерийских позиций. Этим было положено начало подразделениям инженерного обеспечения артиллерии. Усовершенствование материальной части дало возможность маневрировать на поле боя. Это тактическое новшество стало регулярно применяться французской артиллерией в боях [8, 16].

Итальянская артиллерия того периода в большинстве своем оставалась на уровне французской конца XIV – начала XV вв. Итальянские пушки состояли из нескольких частей, не имели лафета и перевозились на волах. В бою орудия не передвигались, а устанавливались для стрельбы на срубках деревьев или других специальных приспособлениях. Чугунных ядер у итальянцев не было. Скорострельность их артиллерии была ничтожна – итальянская пушка за весь день делала меньше выстрелов, чем французская за один час. Довольно современная артиллерия имела только у Венецианской республики [8, 17].

Превосходство французской артиллерии в Первой итальянской войне (1494–1498) обеспечило армии Карла VIII сравнительно легкую победу на начальном этапе. Появление французской армии с многочисленной артиллерией под стенами Рима в конце декабря 1494 г. заставило римского папу Александра VI (1431–1503) сдаться без боя. Из Рима Карл VIII направился

в Неаполь и в течение короткого срока покорил все Неаполитанское королевство. Артиллерия помогла французским войскам взять город Монте-Фортино, а также считавшуюся неприступной крепость Монте Сан-Джовани. В отчетах высокопоставленных французских военных отмечено: «Сегодня король пошел обедать с артиллерией, и пушкарки так быстро работали, что в короткое время своим огнем разрушили башню». В феврале 1495 г. из захваченного Неаполя докладывали: «Артиллерия наша немногочисленна, зато мы нашли в этом городе изобильные запасы пороха, но у нас не хватает чугунных ядер, ибо здесь у них есть только каменные» [5].

Скорость наступления французов и легкость, с которой их армия брала укрепленные города, ввергли итальянские государства в состояние шока и показали важное значение артиллерии. Жестокость французских войск (убийство раненых и сдавшихся в плен, истребление населения захваченных городов), а также угроза потери независимости оставшимися итальянскими государствами привели к созданию «Священной лиги 1495 г.» или «Венецианской лиги», в которую вошли итальянские государства, Священная Римская империя и Испания. Ввиду численного превосходства войск лиги, Карл VIII вынужден был отступить из Италии. Начался второй этап войны.

На этом этапе заслуживают внимание несколько эпизодов, в которых артиллерия сыграла решающую роль. Когда авангард маршала Гио оторвался от главных сил, его встретила венецианская иррегулярная кавалерия – стратиоты. Ситуация стала критической, но положение спасла артиллерия: после нескольких удачных выстрелов стратиоты в панике разбежались и авангард получил возможность беспрепятственно продолжать движение. Следующий эпизод произошел после битвы при Форново, когда стратиоты атаковали арьергард отступающих войск Карла VIII. Поражения удалось избежать благодаря артиллерии, неотступно следовавшей за войсками. Отходя, артиллерия вела огонь по стратиотам и таким образом отбила все их атаки. Но самым значимым событием данного периода войны стала битва при Форново (1495). На реке Таро объединенные войска итальянских государств (Венецианской республики, Миланского



Рис. 12. Карл VIII

герцогства и Мантуанского герцогства) перекрыли французской армии выход из Италии. Итальянские войска под командованием Франческо II Гонзага (1466–1519) имели трехкратное численное превосходство и артиллерию. Тем не менее лучшая подготовка личного состава, дисциплинированность и активное использование артиллерии принесли победу французам. Таким образом, победа при Форново позволила Карлу VIII уйти из Апеннинского полуострова, сохранив армию [4, 5, 8, 16].

Фридрих Энгельс (1820–1895) в своей статье «Артиллерия» так оценивал французскую артиллерию и ее роль в борьбе с итальянцами: «Именно этот новый род войск доставил Карлу VIII его удивительные успехи в Италии... Сражение при Форново (1495), выигранное французской полевой артиллерией, распространило ужас по всей Италии, и новое оружие было признано неотразимым...» [17].

Таким образом, начиная с битвы при Форново, начался коренной пересмотр роли и места артиллерии в войне. В дальнейшем Людовик XII (1462–1515) и Франциск I (1494–1547) продолжат

совершенствовать артиллерию Франции, благодаря чему она приобрела репутацию лучшей [8].

Итальянские войны произвели переворот в военном деле – противостояние сильнейших держав Европы на Аппенинском полуострове, а, следовательно, и передовых армий, стало причиной прорыва в тактике и в вооружении. Так, битвы при Чериньоле (1503) и Гарильяно (1503) стали первыми в истории сражениями, выигранными благодаря ручному огнестрельному оружию. Начинают широко применяться пороховые мины, причем как при осаде, так и при обороне крепостей. Наглядными примерами минной войны служат осады Кастель-Нуово (1503), Кастель-дель-Ово (1503) и Падуи (1509). Стремительное развитие артиллерии делает ее еще более смертоносной в сражениях. В битве при Аньяделло 14 мая 1509 г. венецианский полководец Бартоломео д'Альвиано (1455–1515) расположил пушки на холме, умело используя растительность и поля орошения для прикрытия батарей. Венецианская артиллерия смогла отразить мощные атаки рыцарей и пехоты с большим уроном для французов. Действия Бартоломео д'Альвиано (рис. 13) являются эталоном использования артиллерии в обороне [16].

Ярким событием в истории стала битва при Равенне (1512), в которой столкнулись лучшие на тот момент артиллерийские школы – французская и испанская. Профессор Берт Холл отмечал: «Боев, подобных этому, история еще не видела». Сражение (рис. 14) началось с двухчасовой артиллерийской дуэли – стороны стремились подавить артиллерию противника и нанести максимальный ущерб пехоте и кавалерии. Потери в пехоте от испанского огня достигли около 2000 солдат и вскоре гасконцы бросились бежать. Но французам удалось восстановить порядок в пехоте, затем их командующий Гастон де Фуа (1489–1512) приказывает совершить фланговый маневр 24 орудиями с целью занять господствующие высоты для огня по коннице неприятеля. Анфиладный огонь был столь сильным, что порой снаряды, выпущенные французскими пушками с одного фланга, перелетали испанские позиции и поражали свои же войска на другом фланге. Правильно распределив цели, умело используя огневую мощь и маневр артиллерии, французы смогли нанести



Рис. 13. Бартоломео д'Альвиано

значительный ущерб испанцам и подорвать их боевой дух. Данный фактор сыграл ключевую роль в последующем встречном сражении главных сил, где французы одержали победу [8, 16].

О возросшем могуществе артиллерии свидетельствует битва при Новаре (1513). Начав лобовую атаку на французскую позицию, усиленную 20-орудийной батареей, швейцарцы за 3 минуты потеряли около 700 бойцов только от артиллерийского огня.

Кровопролитнейшая битва при Мариньяно (1515), которая вследствие проявленного обеими сторонами упорства и ожесточения была названа современниками «битвой гигантов», способствовала окончательному выделению французской артиллерии в отдельный род войск. Французской 40-тысячной армии при 82 пушках под командованием Франциска I противостояла 30-тысячная швейцарская армия миланского герцога Массимильяно Сфорца (1493–1530). Готовясь к сражению, король Франциск расположил артиллерийские позиции вдоль фронта главных сил своей армии. Кроме того, была вы-

делена 8-орудийная батарея для прикрытия гати через реку Вахабия, как на наиболее вероятном пути наступления швейцарцев. Командовал артиллерией Жак Рикар (Гальо) де Женуйяк (1465–1546) (Главный магистр артиллерии с 1512 по 1515 г. и Великий магистр артиллерии с 1515 по 1546 г.). Пренебрежение разведкой привело к тому, что удар швейцарцев оказался неожиданным – им удалось захватить 8-орудийную батарею у гати и подвезти собственную артиллерию, которая своим огнем начала подготовку атаки. Опомнившиеся французы смогли правильно отреагировать на действия противника – имея артиллерию лучшего качества, они сначала подавили орудия противника, а затем начали интенсивный обстрел наступающей пехоты.

Несмотря на локальные успехи, понесшие большие потери, швейцарцы не смогли прорвать французскую оборону. Возобновив атаки на следующий день, швейцарцы, неся огромные потери, смогли частично прорвать французскую оборону, однако фланговый удар жандармерии (элитная тяжелая кавалерия Франции), поддержанный плотным артиллерийским огнем, и удар с тыла подоспевшей легкой кавалерии Бартоломео д'Альвиано привели к разгрому швейцарской армии. В этом сражении французы потеряли около 5000 человек, в то время как швейцарцы – около 15 000. Большая часть швейцарских солдат погибла от артиллерийского огня. В битве при Мариньяно (рис. 15) был развеян миф о непобедимости швейцарцев, а французская артиллерия окончательно стала самостоятельным родом войск наравне с кавалерией и пехотой, получив собственного командующего – Великого магистра артиллерии (фр. *grand maître de l'artillerie*), первым из которых стал Жак Рикар (Гальо) де Женуйяк [8].

Ввиду того что полевая артиллерия стала представлять большую опасность для пехоты и кавалерии, армиями начали применяться приемы, способствующие снижению потерь от артиллерийского огня. Венецианский посол Квирини писал в 1507 г., что немецкая пехота при артиллерийском обстреле «пригибается к земле». Ландни в 1537 г. подчеркивал, что одним из лучших способов борьбы с артиллерией – брать ее штурмом, не давая ей времени на второй залп,



Рис. 14. Битва при Равенне (11 апреля 1512 г.). Гравюра XVI в.



Рис. 15. Битва при Мариньяно (13–14 сентября 1515 г.). Гравюра Урса Графа XVI в.

или атака рассыпным строем. В числе задач легкой кавалерии появляется захват артиллерийских батарей. В боях с французами швейцарские пехотинцы видели основную угрозу не в закованных в латы рыцарях, а в орудийных батареях, которые пытались захватить в первую очередь [5].

Кульминацией развития артиллерии в рассматриваемый период стала битва при Павии (1525) – последняя битва Средневековья и первое сражение Нового времени. В бою при Павии (рис. 16) сошлись самые сильные армии Европы,



Рис. 16. Битва при Павии (24 февраля 1525 г.). Гобелен Бернарта ван Орлея около 1531 г.

а вместе с ними и лучшие артиллерийские школы своего времени: французская, испанская, германская и итальянская. Для деблокады Павии, находящейся в осаде почти четыре месяца, император Священной Римской империи Карлом V (1500–1558) были посланы германские войска под командованием Георга фон Фрунсберга (1473–1528) и испано-итальянские войска под командованием Фернандо Франческо д'Авалоса, маркиза ди Пескара (1489–1525). Численность войск Карла V была, примерно, 25 000 солдат при 17 орудиях. Общее командование возлагалось на Фернандо д'Авалоса. Французская армия под командованием короля Франциска I имела около 26 000 солдат и 55 орудий, в том числе 32 осадных.

Внезапной атакой имперцам удалось рассеять французские войска, однако разбить по частям изолированные группировки не удавалось. Мощные атаки противника были отражены благодаря артиллерии, находящейся под командованием Жака Рикара (Гальо) де Женуйяка. В 10 часов утра была отбита очередная атака, причем огонь французской артиллерии был настолько метким, что не позволял неприятельской коннице оказать поддержку своей пехоте. Имперцы пришли в замешательство и на некоторых участках

начали отступать. Король Франции решил, что противник уже достаточно расстроен и деморализован артиллерийским огнем, поэтому лично повел войска в атаку. Без труда отбросив имперскую тяжелую кавалерию, жандармы нацелились на позиции пехоты, перекрыв сектор обстрела своей артиллерии. Германская и испанская пехота отступили в лесной массив, откуда аркебузиры де Васто начали обстрел остановленных в прогалине французских рыцарей. Любопытно отметить, что именно при Павии впервые была применена испанская новинка – мушкет, который эффективно пробивал рыцарские латы на больших дистанциях, чем аркебуза. Тем временем Фрунсберг перегруппировал пехоту, а затем, усилив ландскнехтами, переброшенными из менее угрожаемых участков сражения, бросил ее в атаку на жандармов. Потеряв ударную мощь и неся тяжелые потери от огня аркебуз и мушкетов, а также лишены поддержки своей артиллерии, французские рыцари и наемная швейцарская пехота были разбиты, а король Франциск I попал в плен вместе со своим штабом. Лишенное управления и деморализованное французское войско было разгромлено. Много сделавший для развития артиллерии Франциск I сам стал жертвой ее неумелого использования [8].



После битвы при Павии остальные государства Европы по примеру Франции начали реорганизовывать артиллерию в отдельный род войск со своим командующим. В германских государствах появился аналог французского Великого магистра артиллерии – генерал-фельдцейхмейстер (нем. *Generalfeldzeugmeister* от *feldzeug* – орудие). Таким образом, можно утверждать, что после битвы при Павии в Европе окончательно завершился процесс становления артиллерии.

### ПОЯВЛЕНИЕ АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ НАУКИ

В XVI в. произошел переворот в артиллерийском деле. Помимо освоения прогрессивных технологий производства орудий и пороха, изобретения новых конструкций пушек и мортир, а также огромных успехов в тактике, в первой половине XVI столетия зарождается теоретическая артиллерийская наука. Именно в это время предпринимаются первые попытки заложить научные основы стрельбы и производства материальной части артиллерии. Это стало возможным благодаря стремительному развитию алгебры, геометрии и механики на волне эпохи Возрождения, а также широкому распространению книгопечатания. Используя последние достижения в математических науках, ученые стремились дать обоснование геометрическим размерам элементов артиллерийских орудий, в первую очередь калибру и длине ствола, а также рассчитать траекторию полета снаряда.

Пионером в этой области стал итальянский математик Никколо Тарталья (имя при рождении – Никколо Фонтано) из Брешии. Тарталья (рис. 17) написал две книги, являющиеся теоретическим исследованием в области артиллерии. Первая книга была написана в 1537 г. и называлась «Новая наука» («*Nuova scienza*»). В ней Тарталья занимался изучением полета снаряда в воздухе. Его изыскания послужили основой для правильного составления таблиц стрельбы. Вторая книга, называвшаяся «Разные вопросы и изобретения» («*Quesiti et invenzioni diverse*»), была написана в 1546 г. В этой работе Тарталья продолжал исследовать вопросы движения снаряда, действия пороха, а также принципы устройства орудий. Таким образом, Никколо

Тарталья стоял у истоков таких наук, как внешняя баллистика и внутренняя баллистика. Ему принадлежит открытие кривизны траектории полета снаряда на всем ее протяжении, в то время до него господствовало представление о том, что траектория снаряда состоит из двух прямых, соединенных кривой линией. Тарталья первый доказал, что максимальная дальность полета снаряда достигается при угле возвышения ствола  $45^\circ$ . Также он изобрел артиллерийский квадрант – прибор для регулировки угла возвышения ствола орудия, который в усовершенствованном виде применяется до сих пор. Тарталье принадлежит изобретение способа определения калибров снарядов по их массе. Он доказал теорему о пропорциональности масс снаряда кубам их диаметров. Математическое выражение этой теоремы следующее [6, 8]:

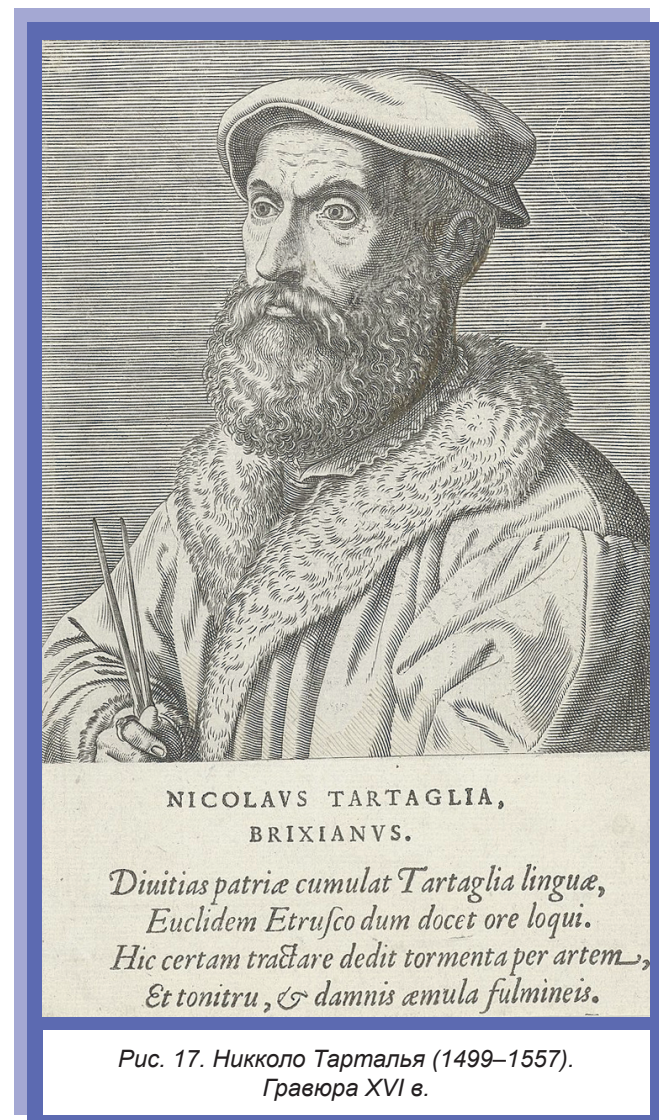


Рис. 17. Никколо Тарталья (1499–1557).  
Гравюра XVI в.



а



б

Рис. 18. Франциск I (а) и Карл V (б). Портреты XVI в.

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}.$$

Пользуясь известной формулой массы с учетом формулы объема шара, выводилось соотношение:

$$q \approx \sqrt[3]{d},$$

где  $q$  – масса снаряда;  $d$  – диаметр снаряда.

Теоретическими расчетами Тартальи воспользовался нюрнбергский механик Георг Гартман, который в 1540 г. создал так называемую «артиллерийскую шкалу». Она представляла собой медный четырехгранный брусок, на одной из граней которого были нанесены нюрнбергские меры длины – фут и дюйм, а на других – диаметры чугуновых, свинцовых и каменных ядер различных масс. По массе того или иного ядра находили его диаметр, а по диаметру – его массу. Шкала Гартмана была практичнее

формул Тартальи. Она упрощала определение калибров орудий и снарядов, исключая математические вычисления, предложенные Тартальей [2, 6, 8, 18].

Теоретические исследования Никколо Тартальи и артиллерийская шкала Георга Гартмана способствовали установлению однообразия в изготовлении орудий. В этот период вводится понятие о калибрах. В XIV–XV вв. артиллерийские орудия были штучного изготовления, а их производство носило интуитивно-опытный характер. Калибр орудия оценивали размером ядра – «снаряд с голову», «снаряд с яблоко» и т.д. У каждого орудия был свой калибр и, соответственно, свой боекомплект. Позднее калибр начали измерять в фунтах, по весу каменного ядра. Собственно, отсюда пошло слово «калибр» – от латинского *qua libra* – сколько фунтов. Если раньше калибры были самые разнообразные и часто зависели от мастера, изготовлявшего орудие, то теперь в различных странах вводилась единая система. Так осадные и полевые орудия

Никколо Тарталья разделил по длине ствола и калибру на 16 разрядов [8].

Введение калибра орудий по массе ядра знаменовало собой крупный шаг на пути упорядочивания производства материальной части артиллерии и ее систематизации. Отныне калибр орудия определялся массой чугунного ядра в фунтах. В обиход на долгое время вошли такие обозначения орудий, как 6-фунтовая гаубица, 12-фунтовая пушка и т.д. Данная система определения калибров просуществовала до второй половины XIX в., а в некоторых странах, таких как Великобритания – вплоть до Второй мировой войны (1939–1945) [2, 6, 8].

Большой вклад в дело производства артиллерийских орудий внес итальянский инженер и металлург Ванноччо Бирингуччо (1480–1539). Его исследования позволили упорядочить технологию литья, а также сформулировать четкие правила изготовления орудийных стволов. Эти правила были опубликованы в его десяти томном трактате «Пиротехния» (*Pirotechnia*). Этот трактат был издан в 1540 г. в Венеции уже после смерти Бирингуччо. Пиротехния или «Описание ремесел, связанных с использованием огня» стала уникальной для своего времени технической энциклопедией, получившая широкую известность во всей Европе [19].

Со времени правления Франциска I и Карла V (рис. 18) производство артиллерии стало опираться на математические расчеты. Было установлено необходимое соотношение калибра и длины ствола орудия, определены необходимые толщины стенок ствола, усовершенствованы способы изготовления пороха и заряжания орудий. В XVI в. артиллерия начинает использование выстрелов с готовыми поражающими элементами в виде пуль – картечей, а также разрывных артиллерийских снарядов – гранат и бомб. Гранаты и бомбы представляли собой полое чугунное ядро, наполненное порохом и имеющее отверстие, в которое вставлялся фитиль, а позднее – запальная трубка. Бомбами стреляли мортиры, а гранатами – гаубицы. Гаубицы того времени имели промежуточный калибр между пушками и мортирами, а также длину ствола 8...14 калибров. Применялись гаубицы как в полевых сражениях, так и при осадах крепостей, преимущественно для уничтожения живой силы противника грана-

тами и картечью. В XVI в. значительно возросли скорострельность и дальность стрельбы орудий. Так мортирами можно было вести огонь на 500 м, пушками малого калибра – на 600 м, а пушками большого калибра – на 1000 м [8].

Зарождение артиллерийской науки и стремительный прорыв в тактике применения артиллерии поставили вопрос о необходимости систематической подготовки артиллерийских кадров. До XVI в. эксплуатация материальной части осуществлялась работниками особых цехов (цех – торгово-ремесленная корпорация, объединявшая мастеров схожих профессий), состоявших из оружейных мастеров (констеблей) и их помощников. Цеха, занимающиеся изготовлением и ремонтом орудий, предоставляли также на наемной основе орудийную прислугу, на которую полководец имел лишь ограниченное влияние. Чтобы расширить возможности артиллерии в тактическом плане, необходимо было высвободить ее из рук профессиональных цехов, чтобы всецело подчинить военачальнику.

Для решения перечисленных проблем в Европе были созданы артиллерийские училища. Первые учреждены в Венеции (1506) дожем (дож – выборный правитель Венецианской республики) Леонардо Лоредано (1436–1521) и в Бургосе (1513) императором Священной Римской империи Карлом V. Появлением в Италии и Испании первых артиллерийских училищ, выпускавших профессиональных солдат-артиллеристов, было положено начало военному артиллерийскому образованию [4, 10].

В ходе итальянских войн артиллерия из малоэффективного средства поддержки армии превратилась в самостоятельный род войск. Возросшая подвижность и огневая мощь сделали ее главным средством поддержки на поле боя. Усовершенствованная материальная часть, передовая тактика применения, научная база и подготовка кадров сделали артиллерию «богом войны». В истории военного искусства началась новая эпоха.

## ВЫВОДЫ

С начала XIV до середины XVI в. пороховая артиллерия Европы прошла путь от зарождения ма-

лоэффективных образцов до оружия, наносящего значительный ущерб в бою. На этом промежутке времени можно выделить несколько этапов:

зарождение артиллерии – первая половина XIV в.;

первые успехи, появление осадной и крепостной артиллерии – вторая половина XIV в.;

развитие осадной и крепостной артиллерии – первая половина XV в.;

зарождение полевой артиллерии – середина XV в.;

становление нового рода войск – конец XV – начало XVI в.

С производственной точки зрения данный временной отрезок условно можно разделить следующим образом:

1. Ремесленное производство отдельными мастерами. Пороховая мякоть, железные стволы, отсутствие лафетов – XIV – начало XV в.

2. Ремесленное производство в руках государства. Примитивные лафеты – первая половина XV в.

3. Ремесленное производство, возникновение первых мануфактур. Появление зернового пороха и начало использования бронзового литья, появление лафетов. Разделение орудий по специализации – вторая половина XV в.

4. Государственное мануфактурное производство. Бронзовое литье, чугунные ядра, упорядочивание производства материальной части – первая половина XVI в.

В середине XV в. артиллерия впервые смогла стать решающим фактором победы в сражении, о чем свидетельствуют битвы при Форминьи, Кастийоне, а также захват Константинополя. Об артиллерийской науке и артиллерийском образовании можно говорить только в XVI в.

Очевидно, что развитие артиллерии напрямую связано с появлением пороха. Несмотря на то что существуют свидетельства о существовании в Европе соответствующих рецептур достаточно давно, его активное использование началось лишь с появлением определенных экономических и производственных условий, давших возможность регулярного выпуска орудий и боеприпасов.

Катализатором развития артиллерии стала Столетняя война, в ходе которой появилась и значительно усовершенствовалась осадная и

крепостная артиллерия, а также были созданы условия для появления полевой артиллерии. Кроме того, расширение полномочий Главного магистра артиллерии было большим шагом к обособлению ее в отдельный род войск. Бургундские войны привели к появлению полевой артиллерии, а Гранада стала первой в истории, выигранной благодаря артиллерии.

В Восточной Европе артиллерия развивалась менее интенсивно и долгое время ей отводилась роль только средства обороны крепостей. Однако Гуситские войны и войны Матьяша Корвина продемонстрировали высокую по тем временам насыщенность войск артиллерийскими средствами и использование в бою артиллерийского маневра. Говоря об Османской империи второй половины XV – начала XVI вв., следует отметить большие масштабы производства орудий с упором на осадную артиллерию. С началом XVI в. армия османов также начинает применять артиллерию в полевых сражениях (1514 г. – Чалдыранская битва, 1526 г. – битва при Мохаче).

В ходе итальянских войн произошел стремительный рывок в развитии артиллерии. Она впервые совершает марш в походных колоннах войск, а не в обозе, пушки маневрируют на поле боя, совершенствуется материальная часть, растет огневая мощь, увеличивается насыщенность войск орудиями. Артиллерия состоялась как один из основных родов войск наряду с пехотой и кавалерией, став основным средством огневой поддержки. Как род войск она получила собственного командующего – Великого магистра артиллерии (Франция) или генерал-фельдцейхмейстера (Германия). В указанный период главными задачами артиллерии становятся: поражение пехоты и кавалерии, подавление артиллерии противника, подготовка атаки, укрепление обороны, уничтожение фортификационных сооружений и полевой фортификации, а также оборона крепостей.

При этом следует отметить, что с XV в., который считается пиком могущества тяжелой кавалерии, артиллерия успешно выполняет задачи как поддержки атаки закованной в латы рыцарской конницы, так и борьбы с ней. В сущности, отмеченные задачи, адаптированные под современные реалии, артиллерия решает и сегодня. Важным шагом в развитии стало зарож-

дение артиллерийской науки и специализированного военного образования. Упорядоченное производство, основанное на математических расчетах, создало необходимые условия для последующей унификации материальной части артиллерии. Переход на бронзовое литье позволил улучшить качество орудийных стволов и значительно увеличить их производство. Повышение качества орудийных стволов позволило увеличить дальность стрельбы и скорострельность, а усовершенствованные лафеты сделали орудия более подвижными. Таким образом, благодаря итальянским войнам завершилось формирование артиллерии, что наряду с развитием ручного огнестрельного оружия знаменовало в военной истории конец Средневековья и начало Нового времени.

Если сравнивать артиллерию Европы с артиллерией Руси указанного периода, то обращает на себя внимание тот факт, что у русских артиллерия зародилась позже и развивалась не столь интенсивно. На это существовали объективные причины – Ордынское иго (1237–1480) не позволяло возникнуть необходимым экономическим условиям. На момент появления отечественной артиллерии в 1382 г. во Франции бомбарды уже используются для разрушения крепостных стен. Почти до середины XV в. на Руси существует только крепостная артиллерия. Первым зафиксированным случаем применения орудий в осаде является осада города Углич в 1446 г. Первое зафиксированное использование крупнокалиберного осадного орудия – осада Нейгаузена в 1463 г. В это же время в Европе артиллерия уже применяется в полевых сражениях.

Впервые установка орудий на русские суда отмечена только в 1482 г., когда Европе корабельная артиллерия упоминается еще в начале XIV в. Ситуация сильно меняется во время правления Великого князя всея Руси Ивана III (1440–1505), который начал приглашать иностранных специалистов для организации производства современных артиллерийских орудий. Видную роль в этом сыграл итальянский инженер Аристотель Фиораванти (1415–1486). Освоение технологии бронзового литья приводит к значительному прогрессу в осадной артиллерии. Но, несмотря на успешные случаи применения орудий в полевых сражениях (стояние на Угре 1480 г.), нет основа-

ний говорить о собственно полевой артиллерии. Первое столкновение с европейской полевой артиллерией привело к тяжелому поражению в битве при Серице 27 августа 1501 г. Тогда первоначальный успех русских войск был сорван приказом магистра Ливонского ордена Вальтера фон Плеттенберга (1450–1535) развернуть артиллерию в направлении русского наступления. Залпы ливонской артиллерии нанесли большие потери русскому войску и обратили его в бегство. Литовская полевая артиллерия сыграла заметную роль в поражении русских войск в битве под Оршей 8 сентября 1514 г. Очевидно, что этими событиями, в том числе, было вызвано приглашение в начале XVI в. специалистов из Священной Римской империи для совершенствования русской артиллерии. Когда в Европе артиллерия уже стала самостоятельным родом войск и активно использовалась на полях сражений в качестве основного средства, на Руси она все еще играет вспомогательную роль без четкого разделения по назначению.

Впервые выделение осадной артиллерии («Большого наряда») упоминается в летописи в 1519 г., а разделение артиллерии на полевую («наряд») и осадную («Большой наряд») – в 1524 г. Однако, верно оценивая обстановку и правильно понимая тенденции развития новых образцов вооружения, русские правители стремились создать современную артиллерию. Появление ее на Руси в качестве отдельного рода войск и выход на уровень европейской (качественное и количественное улучшение артиллерийского парка, улучшенные формы организации) в середине XVI в. связаны с преобразованиями первого русского царя Ивана IV Грозного (1530–1584). Именно это явилось одной из главных причин успехов русских войск в войнах с Казанским, Астраханским и Сибирским ханствами, на начальном этапе Ливонской войны и при отражении крымских набегов и вторжения войск Стефана Батория (1533–1586) [2, 6, 8].

Исходя из сказанного, можно заключить, что русская артиллерия шла по пути развития Европы, поэтому понимание тенденций развития европейской военной науки данного периода способствует пониманию тенденций развития отечественной артиллерии при условии учета специфических условий ее становления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества. М.: Машиностроение, 1972. 208 с.
2. История отечественной артиллерии / под ред. маршала артиллерии С.С. Варенцова. М.: Научно-исследовательский артиллерийский институт № 1, 1959. Т. 1, кн. 1. 461 с.
3. Курти О. Постройка моделей судов. 3-е изд. Л.: Изд-во «Судостроение», 1989. 544 с.
4. Чиполла К. Артиллерия и парусный флот. Описание и технология вооружения XV–XVIII вв. М.: ЦЕНТРПОЛИГРАФ, 2007. 224 с.
5. Дельбрюк Г.Г. История военного искусства с древнейших времен. М.: Эксмо, 2015. 496 с.
6. Широкопад А.Б. Артиллерия Древней Руси. От бомбарды до единорога. М.: Вече, 2013. 192 с.
7. Военная энциклопедия / под ред. К.И. Величко [и др.]. СПб.: Товарищество И.Д. Сытина, 1912. Т. 7. 320 с.
8. Прочко И.С. История развития артиллерии. С древнейших времен и до конца XIX в. СПб.: ПОЛИГОН, 1994. 495 с.
9. Военная энциклопедия / под ред. К.И. Величко [и др.]. СПб.: Товарищество И.Д. Сытина, 1914. Т. 14. 640 с.
10. Хогг О. История артиллерии. Вооружение. Тактика. Крупнейшие сражения. Начало XIV – начало XX / пер. с англ. А.Ф. Челябинца. М.: ЗАО Центрполиграф, 2014. 350 с.
11. Фавье Ж. Столетняя война / пер. с франц. М.Ю. Некрасова. СПб.: Евразия, 2009. 656 с.
12. Смирнова Е.Д., Сушкевич Л.П., Федосик В.А. Средневековый мир в терминах, именах и названиях. Минск: Беларусь, 1999. 384 с.
13. Эрнест Д. Гус и гуситские войны / пер. с франц. А.Б. Ванькова. М.: Клио, 2016. 424 с.
14. Свечин А.А. Эволюция военного искусства: с древнейших времен до наших дней. М.: Воениздат, 1927. Т. 1. 383 с.
15. Hillgarth, J. N. ruca. The Spanish Kingdoms: 1250–1516. Oxford: Clarendon Press, Oxford University Press, 1978. Vol. II. 1410–1516, Castilian Hegemony.
16. Норвич Д. История Венецианской республики. М.: Изд-во «АСТ», 2009. 862 с.
17. Энгельс Ф. Избранные военные произведения. М.: Воениздат, 1937. Т. I.
18. Военная энциклопедия / под ред. В.Ф. Новицкого [и др.]. СПб.: Товарищество И.Д. Сытина, 1911. Т. 3. 318 с.
19. Волков В.А., Вонский Е.В., Кузнецова Г.И. Выдающиеся химики мира. М.: Высшая школа, 1991. 656 с.



---

---

## ЮБИЛЕЙ

---

---

УДК 378.12: 623.4

### КАФЕДРЕ БОЕПРИПАСОВ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА – 85 ЛЕТ

Канд. техн. наук С.В. ЛАДОВ, В.А. МАРКОВ, д-р техн. наук, проф. В.В. СЕЛИВАНОВ  
(ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»)

*Освещается история становления и развития кафедры «Высокоточные летательные аппараты» факультета «Специальное машиностроение» (СМ-4) МГТУ им. Н.Э. Баумана, основанной в 1938 г. как кафедра проектирования боеприпасов. Отмечены главные этапы ее деятельности.*

**Ключевые слова:** КАФЕДРА; БОЕПРИПАСЫ; ПОДГОТОВКА КАДРОВ; УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС; НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ; ВЫДАЮЩИЕСЯ ВЫПУСКНИКИ.

История создания нынешней кафедры «Высокоточные летательные аппараты» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, – головной в Российской Федерации по специальности 17.05.01 *Боеприпасы и взрыватели*, – тесно связана с образованием в 1938 г. на базе Московского механико-машиностроительного института (МММИ) новых оборонных факультетов, в том числе для подготовки специалистов по проектированию и производству боеприпасов (БП).

В своей книге [1] известный историк отрасли И.И. Вернидуб пишет: «...Во время войны промышленность боеприпасов часто называ-

*ли «передовой» тыла. И это справедливо. Без боеприпасов пушки и винтовки не стреляют, минометы и «катюши» молчат, корабли, танки, самолеты становятся безоружными и беззащитными. Справедливо это и потому, что производство боеприпасов – это самая массовая, самая металлоемкая, наиболее трудоемкая, да, к тому же и самая опасная отрасль военного производства». В другой не менее интересной книге [2], названной «боеприпасной» повестью, известный журналист и специалист по БП В.Д. Демидов приводит слова руководителя советского государства И.В. Сталина из его спора с министром вооружений Б.Л. Ванниковым о*



На фото: главный корпус МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

приоритетности разных направлений военной промышленности: «...Сила взрыва боеприпасов определяет мощь всех родов войск и служит мериллом военно-экономической целесообразности затрат на ту или иную боевую технику. Вот почему уровень производства боеприпасов – это «визитная карточка» состояния всей промышленности страны».

Именно поэтому подготовка специалистов в области разработки и производства БП всегда имела и имеет сейчас колоссальное значение для повышения обороноспособности страны.

История развития кафедры СМ–4 до последнего пятилетнего периода подробно изложена в книгах [3–5], посвященных ее 70-летию, 75-летию и 80-летию, а современный пятилетний период освещен в новой книге, подготовленной к выходу осенью 2023 г. [6]. Кроме того, к юбилейным датам публиковались справочно-информационные материалы в отраслевых журналах [7–12]. В приведенной таблице представлены основные этапы развития кафедры

и специальности с указанием ключевых дат, названий кафедры и специальности в разные периоды времени и все заведующие кафедрой.

Еще в феврале 1938 г. началось активное и конкретное обсуждение реформирования системы высшего образования с целью усиления ее оборонной направленности. Это нашло реальное воплощение в принятии 22 марта 1938 г. Центральным комитетом Всесоюзной коммунистической партии большевиков (ВКП(б)) Постановления № 3411 «О подготовке кадров высококвалифицированных специалистов по основным видам вооружения, боеприпасов, точного приборостроения, специального машиностроения и пиротехники».

Во исполнение данного постановления Совет народных комиссаров (СНК) принял соответствующее Постановление № 190/III от 25 апреля 1938 г., подписанное председателем СНК СССР В.М. Молотовым, в котором указывалось о передаче МММИ им. Н.Э. Баумана из ведения Наркомата тяжелой промышленности в Наркомат



## Этапы развития кафедры и специальности

Период, год	Название кафедры	Заведующий кафедрой (и.о. завкафедрой)	Название специальности в дипломе выпускника	
1938–1939	ПБ-Н «Проектирование боеприпасов»	В.Л. Горский*	«Боеприпасы»	
1939–1943		А.Г. Горст		
1943–1947		Н.Л. Соловьев		
1947–1948				
1948–1949	Н-331к «Боеприпасы»	С.Я. Бодров	«Машиностроение»	
1949–1951	33-1 «Боеприпасы»	И.Д. Федотов		
1951–1953				Н.Л. Соловьев
1954–1955				
1955–1959	М-5			
1959–1961	М-2			
1961–1962	М-4 «Летательные аппараты»	В.В. Королев	«Летательные аппараты»	
1962–1966			«Производство летательных аппаратов»	
1966–1968			«Производство корпусов»	
1968–1973				
1973–1977				О.Д. Антоненков
1977–1979	М-4 «Газодинамические импульсные устройства»	А.Ф. Овчинников*	«Газодинамические импульсные устройства»	
1979–1989		А.А. Федосов		
1989–1990		В.Н. Охитин†		
1990–1990				
1990–1993		В.С. Соловьев		
1993–2006	СМ-4 «Высокоточные летательные аппараты»	В.В. Селиванов	«Средства поражения и боеприпасы»	
2006–2017			«Боеприпасы и взрыватели»	
С 2017				

оборонной промышленности и упразднении общетехнического факультета института с целью образования на его базе трех новых факультетов с соответствующими кафедрами: Е – артиллерийского факультета (кафедры артиллерии и автоматического оружия, проектирования артиллерийских систем, производства артиллерийских систем), Н – факультета боеприпасов (кафедры проектирования боеприпасов, производства боеприпасов), О – факультета бронетанковой техники (кафедра гусеничных машин).

Образованная на факультете Н новая кафедра проектирования боеприпасов (ПБ-Н) и

стала родоначальницей современной кафедры «Высокоточных летательных аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Исполняющим обязанности начальника факультета Н был назначен Л.В. Карташов, а исполняющим обязанности заведующего кафедрой ПБ-Н – работник военного ведомства майор В.Л. Горский (рис. 1), проработавший в этой должности до конца 1938 г.

Заведующим кафедрой ПБ-Н с 1 января 1939 г. был назначен доктор химических наук, профессор А.Г. Горст (рис. 2), долго работавший ранее в Химическом и Артиллерийском коми-



Рис. 1. В.Л. Горский

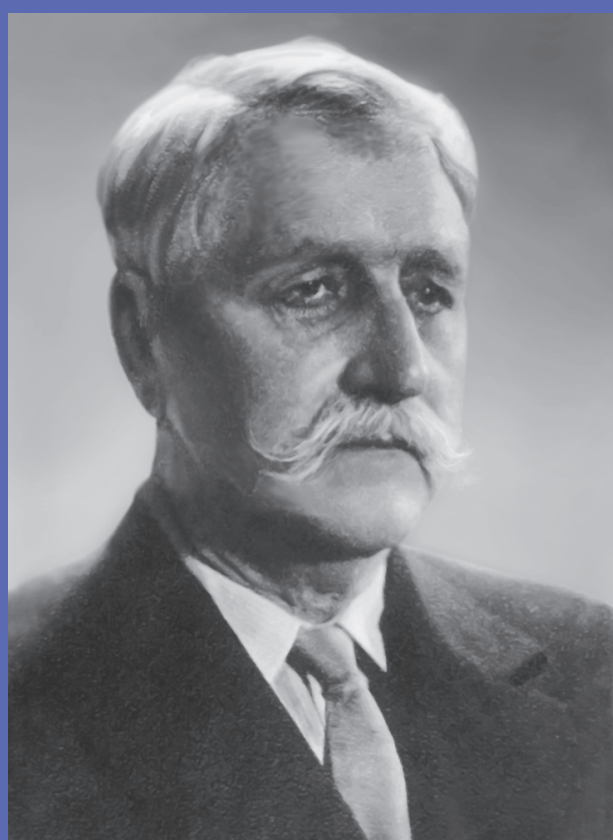


Рис. 2. А.Г. Горст

тетях Главного артиллерийского управления (ГАУ) по специальности «Взрывчатые вещества и боеприпасы» (1915–1925), а с 1935 г. возглавлявший кафедру № 34 «Взрывчатые вещества» в Московском химико-технологическом институте им. Д.И. Менделеева. А.Г. Горст руководил кафедрой до 1943 г. включительно.

В июне 1944 г. на факультете Н состоялся первый выпуск инженеров (абитуриентов 1938 г.) по специальности «Боеприпасы». В то время кафедру возглавлял Н.Л. Соловьев, работавший ранее в ГСКБ № 47 (ныне АО «НПО «Базальт», Москва) и аппарате Наркомата боеприпасов (НКБ) СССР, созданного в 1939 г.

На рис. 3 приведена фотография копии диплома об окончании МВТУ им. Н.Э. Баумана (1945) по специальности «Боеприпасы» С.П. Непобедимого, одога из самых выдающихся выпускников кафедры, Героя Социалистического Труда (1971), лауреата Ленинской (1964) и трех Государственных премий (1969; 1976; 1981), члена-корреспондента АН СССР (ныне – РАН), академика РАН и Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского, доктора технических наук, профессора.

В 2021 г. общественность военно-промышленного комплекса (ВПК) страны и академической науки торжественно отметила 100-летний юбилей прославленного конструктора легендарных образцов военной техники. В издательстве «Молодая гвардия» в знаменитой серии ЖЗЛ вышла книга В. Петрова «Сергей Непобедимый», а в августе 2021 г. указом Президента России 448-й ракетной бригаде, оснащенной ОТР «Искандер», было присвоено почетное наименование «имени С.П. Непобедимого». Это был первый в истории российской армии случай, когда соединению Сухопутных войск присваивают имя конструктора, а не военачальника. В сентябре 2021 г. в городском парке Коломны был торжественно открыт бюст С.П. Непобедимому, который многие годы возглавлял знаменитое «Конструкторское бюро машиностроения» – главное градообразующее оборонное предприятие города.

Особо следует отметить выдающуюся роль выпускников кафедры в разработке атомного оружия СССР. При создании первой отечественной атомной бомбы РДС-1 (рис. 4) отличились выпускники-бауманцы 1940-х гг.: Г.А. Цырков,

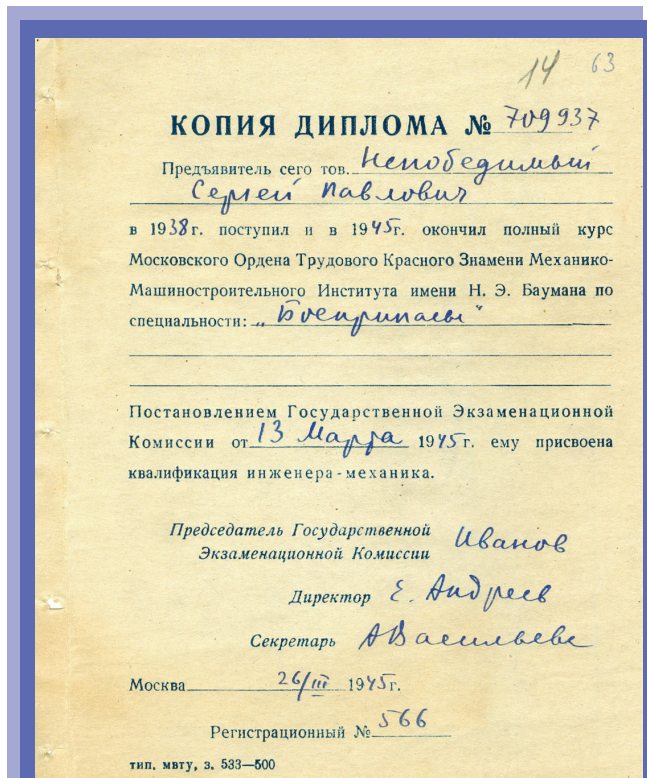


Рис. 3. Копия диплома С.П. Непобедимого об окончании МВТУ им. Н.Э. Баумана по специальности «Боеприпасы»



Рис. 4. Первая отечественная атомная бомба РДС-1

Б.Н. Леденев, В.И. Жучихин, И.В. Богословский и другие. Г.А. Цырков и В.И. Жучихин участвовали в полигонных испытаниях РДС-1 в мае 1947 г.

В 1951–1952 гг. в Арзамас-16 (изначально КБ-11, ныне ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) по окончании учебы на кафедре были распре-

делены молодые инженеры Р.М. Сентюрина, П.Д. Ишков, В.А. Одинцов, И.М. Быструев, Е.Д. Князев, причем направлялись выпускники кафедры на этот секретный объект вплоть до начала 1960-х гг. Впоследствии многие из них стали лауреатами Ленинской и Государственной (Сталинской) премий СССР, были награждены орденами и медалями за вклад в развитие атомной промышленности.

Анализируя период развития кафедры 1950–1960-х гг., нельзя не сказать о вкладе выпускников-бауманцев в еще один аспект развития ядерного вооружения, а именно, в создание первых ядерных зарядов для артиллерийских боеприпасов. Под руководством академика М.А. Лаврентьева в КБ-11 в 1953 г. началась разработка малогабаритного ядерного заряда для артиллерийского снаряда, в которой активно участвовали А.С. Россихин, П.Д. Ишков и другие.

В 1956 г. под руководством Е.А. Негина был создан и успешно испытан на Семипалатинском полигоне опытный образец заряда РДС-41 для артиллерийского снаряда «Конденсатор» калибра 406 мм. Параллельно группа конструктора В.Г. Грабина разработала оригинальную «атомную» пушку – артиллерийскую систему активно-реактивного типа. Сегодня макет 406-мм атомного снаряда выставлен в музее ядерного оружия ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» в Сарове Нижегородской области (рис. 5).

Позднее, при участии выпускников кафедры, в нынешнем ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина» в Снежинске Челябинской области был разработан малогабаритный ядерный артиллерийский снаряд ЗБВЗ калибра 152 мм. Участие в этой работе принимали В.А. Гуд, В.И. Ягодников, А.С. Красавин, В.Д. Калинин, В.В. Соловцов, А.М. Лясота, Г.П. Минаев, Б.Н. Семенов, В.П. Жуйский, С.С. Ярцев и другие. В Снежинске также создали атомные артиллерийские снаряды других калибров: ЗБВ1 (180 мм), ЗБВ2 (203 мм), а также ствольную мину ЗБВ4 (240 мм).

С 1974 г. кафедра боеприпасов МГТУ им. Н.Э. Баумана проводит ежегодную научно-техническую конференцию «Проектирование систем», посвященную вопросам проектирования и действия боеприпасов и средствам вооружения, обеспечивающим их функционирование. В на-

стоящее время организаторами конференции являются кафедры «Высокоточные летательные аппараты» (СМ-4) и «Ракетно-импульсные системы» (СМ-6) МГТУ им. Н.Э. Баумана, а сама конференция проходит при поддержке Ассоциации технических университетов (АТУ), Российской академии ракетных и артиллерийских наук (РАРАН) и ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева». Научный руководитель НТК «Проектирование систем» – заслуженный деятель науки РФ, академик РАРАН, доктор технических наук, профессор В.В. Селиванов (заведующий кафедрой); председатель Оргкомитета – член-корреспондент РАЕН, кандидат технических наук, доцент С.В. Ладов.

В нынешнем юбилейном для кафедр СМ-4 и СМ-6 году прошла 50-я НТК «Проектирование систем», собравшая более 175 представителей из 47 организаций и 23 городов России, представляющих вузы, федеральные научные центры, академические и отраслевые научные институты, организации МО РФ, ФСБ РФ и других силовых и гражданских структур. Материалы конференции публикуются в отраслевом журнале «Боеприпасы XXI век».

Сегодня кафедра «Высокоточных летательных аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана успешно обучает студентов специальности «Боеприпасы и взрыватели» по трем специализациям: «Боеприпасы», «Высокоточные боеприпасы» и «Взрывные технологии», а также аспирантов по специальности «Средства поражения и боеприпасы». Набор студентов на первый курс составляет 60 человек (три группы), а в аспирантуру – два человека (бюджетная основа). Обучение студентов и аспирантов проводят 22 преподавателя (13 штатных и 9 совместителей), учебный процесс обслуживает лаборатория кафедры из 7 сотрудников, а научные разработки сопровождает научно-исследовательский отдел в составе 9 сотрудников. В целом на кафедре в настоящее время работают 3 доктора технических наук и 14 кандидатов технических наук. На рис. 6 представлена фотография коллектива кафедры, сделанная накануне 85-летнего юбилея в историческом Лефортовском парке, заложенным еще во времена Петра I, на фоне Главного учебного корпуса МГТУ им. Н.Э. Баумана на набережной реки Яузы.



Рис. 5. Ядерный снаряд калибра 406 мм

С ноября 2007 по февраль 2023 г. на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана функционировал специальный диссертационный совет ДС 212.008.04 по специальностям 20.02.14 «Вооружение и военная техника» и 20.02.21 «Средства поражения и боеприпасы», который, по существу, «обслуживал» кафедры СМ-4 и СМ-6. В ДС входили сотрудники и выпускники: В.В. Селиванов (председатель совета), А.В. Бабкин (заместитель председателя совета), С.В. Ладов (ученый секретарь совета), В.Д. Баскаков, В.И. Колпаков, В.А. Тарасов, О.Т. Чижевский, А.И. Чернов. За 15 лет работы ДС на нем были защищены 5 докторских и 24 кандидатских диссертаций по специальности 20.02.21 «Средства поражения и боеприпасы». В настоящее время по ходатайству университета ВАК приняла решение об открытии нового ДС по специальности 6.2.9 «Средства поражения и боеприпасы» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана, как преемника предыдущего.

Крупными достижениями современного этапа развития кафедры явились коллективные труды ее преподавателей: учебник для высших учебных заведений «Прикладная механика



Рис. 6. Коллектив кафедры накануне 85-летнего юбилея

сплошных сред» в трех томах под редакцией В.В. Селиванова, выдержавший четыре издания (1998–2000; 2004–2006; 2018; 2021), и монография «Физика взрыва» в двух томах под редакцией Л.П. Орленко, выдержавшая два издания (2002; 2004). К 70-летию со дня основания кафедры боеприпасов был приурочен выпуск еще двух учебников: «Взрывные технологии» авторов И.Ф. Кобылкина, С.А. Новикова, В.В. Селиванова, выдержавший три издания (2008; 2014; 2021), и «Средства поражения и боеприпасы» под редакцией В.В. Селиванова (2008). К 75-летию со дня основания кафедры боеприпасов был приурочен выпуск еще одного учебника С.Г. Андреева, М.М. Бойко, В.В. Селиванова «Экспериментальные методы физики взрыва и удара» (2013).

В период 2014–2018 гг. был издан целый ряд учебников и учебных пособий, в том числе учебник «Боеприпасы» в двух томах авторов А.В. Бабкина, В.А. Велданова, Е.Ф. Грязнова, Н.А. Имховика, И.Ф. Кобылкина, В.И. Колпа-

кова, С.В. Ладова, Л.П. Орленко, В.Н. Охитина, А.Г. Ришняка, В.В. Селиванова, выдержавший два издания (2016; 2019), и учебник «Оружие нелетального действия» авторов Д.П. Левина и В.В. Селиванова, выдержавший два издания (2017; 2019). К 85-летию со дня основания кафедры боеприпасов был приурочен выпуск учебника «Экономика оборонных предприятий» под редакцией В.В. Селиванова (2022).

В настоящее время указанные книги являются визитной карточкой достижений кафедры «Высокоточные летательные аппараты» (СМ-4) МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Всего за время существования кафедры ее сотрудниками написано 12 учебников (без учета переиздания), 20 монографий, 45 крупных учебных пособий, более 120 других учебных и учебно-методических изданий, опубликовано более 1800 научных статей, в том числе в престижных отечественных и зарубежных журналах.

Научные исследования на кафедре ведутся по трем основным направлениям:

физика быстропротекающих процессов (физика взрыва и высокоскоростного удара) и теория взрывчатых веществ;

механика деформирования и разрушения твердого тела;

теория оптимального проектирования и боевой эффективности боеприпасов.

Изменившаяся в последние годы в стране и мире ситуация заставила коллектив кафедры шире взглянуть на перспективу ее развития. Научный задел и уровень экспериментально-технической базы позволили, не сокращая исследований по основным направлениям, перейти к разработке технологий двойного назначения:

утилизация боеприпасов;

разработка промышленных взрывных технологий;

разработка средств противодействия терроризму;

разработка оружия нелетального действия;

диагностика аварийных ситуаций и безопасности технических объектов;

проведение взрывотехнических экспертиз.

Со времени основания кафедры выпущено более 3700 молодых специалистов, составляющих ныне ядро инженерных кадров *боеприпасной* отрасли. Среди них выдающиеся деятели науки и техники, крупные руководители промышленности. В числе выпускников четыре Героя Социалистического Труда (Ю.И. Краснощеков, С.П. Непобедимый, Г.А. Цырков, К.Н. Шамшев), один действительный член (В.В. Ключев) и три члена-корреспондента (Ю.И. Краснощеков, С.П. Непобедимый, К.Н. Шамшев) РАН, 22 действительных члена и членов-корреспондентов РАРАН, 25 действительных членов и членов-корреспондентов РАЕН, 15 лауреатов Ленинской премии СССР, более 60 лауреатов Государственной премии СССР (ранее – Сталинская премия СССР) и Государственной премии РФ, более 40 лауреатов премии Совета Министров СССР и Правительства РФ, 26 лауреатов премии Ленинского комсомола СССР, 8 заслуженных деятелей науки и техники РСФСР и науки Российской Федерации (В.П. Киреев, Ю.И. Краснощеков, М.П. Мусьяков, Л.М. Самсонов, В.В. Селиванов, В.С. Соловьев, А.И. Чернов, К.Н. Шамшев), более 300 человек награждены орденами и медалями

государственного значения. Среди выпускников более 50 докторов и 250 кандидатов наук (из них кафедрой подготовлено 15 докторов и 160 кандидатов технических наук).

За 85 лет своего существования кафедра *боеприпасов* МГТУ им. Н.Э. Баумана прошла большой исторический путь развития. За это время сложились определенные традиции, свой менталитет и стиль преподавания, патриотическое отношение к выбранной профессии, к делу, которому была посвящена вся трудовая жизнь.

Встречая 85-летний юбилей, коллектив кафедры связывает свое будущее с подготовкой дипломированных специалистов в области разработки боеприпасов различных типов и различного назначения и взрывных технологий для мирного использования. Планируется широко и активно применять современные цифровые технологии с элементами искусственного интеллекта, а также новейшие достижения науки и техники в данной области знаний. При этом уровень качества предоставляемой подготовки даст возможность выпускникам кафедры *боеприпасов* МГТУ им. Н.Э. Баумана работать в различных смежных областях полученной специальности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернидуб И.И. На передовой линии тыла. М.: ЦНИИНТИ КПК, 1994. 728 с.
2. Демидов В.Д. Снаряды для фронта. Л.: Лениздат, 1985. 256 с.
3. Кафедра «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана: История развития. 1938–2008 / С.В. Ладов [и др.]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 320 с.
4. Кафедра «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Люди, события, история развития. 1938–2013 / С.В. Ладов [и др.]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 422 с.
5. Кафедра «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана. 80 лет вместе. 1938–2018 / С.В. Ладов [и др.]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 462 с.
6. Кафедра «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана. История, события, люди. 1938–2023 / С.В. Ладов [и др.]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023.
7. Ладов С.В., Марков В.А., Селиванов В.В. История создания и развития кафедры боеприпасов в МГТУ

им. Н.Э. Баумана // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. 2008. Вып. 2. С. 8–24.

8. Селиванов В.В., Ладов С.В., Марков В.А. Кузница кадров боеприпасной специальности // Известия РАН. 2008. Вып. 4 (58). С. 98–108.

9. Селиванов В.В., Ладов С.В., Марков В.А. 75 лет кафедре «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер.: Машиностроение. 2013. № 2. С. 7–30.

10. Ладов С.В., Марков В.А., Селиванов В.В. 80 лет кафедре «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана // Оборонная техника. 2018. № 8–9. С. 5–10.

11. Ладов С.В., Марков В.А., Селиванов В.В. Кузнице кадров боеприпасной отрасли – 80 лет // Известия РАН. 2018. Вып. 2 (102). С. 133–138.

12. Ладов С.В., Марков В.А., Селиванов В.В. Кузнице кадров боеприпасной отрасли – 85 лет // Известия РАН. 2023. Вып. 2 (127).



## 50 ЛЕТ СЛУЖЕНИЯ НАУКЕ И ОТЕЧЕСТВУ

*ФГУП «ЦНИИХМ» чествует одного из старейших своих работников – научного сотрудника Центра прикладных разработок Валерия Геннадьевича Хрящева. В этом году исполнилось ровно 50 лет с того дня, как он пришел в институт и, несмотря на свой почтенный возраст, продолжает трудиться на благо Родины.*



...На дворе стоял 1973 г. – расцвет СССР. В советской стране была построена первая в мире атомная электростанция за Полярным кругом, на спутник Земли отправлен Луноход-2, а в направлении Марса запущены сразу четыре исследовательских аппарата, наши химики разработали технологию полимеризации органических веществ...

В это насыщенное научными достижениями и открытиями время в «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики» вместе с коллективом единомышленников пришел уже достаточно опытный специалист Валерий Хрящев. В 1960 г. он окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана и по распределению был трудоустроен в КБ авиационной промышленности, где за 13 лет прошел путь от инженера до ведущего конструктора.

Первые годы в ФГУП «ЦНИИХМ» Валерий Геннадьевич занимался созданием пороховых твердотопливных двигателей и разработкой генератора низкотемпературной плазмы, входящего в состав магнитно-газодинамических установок для получения электрического импульса большой мощности. В 1980 г. переведен на должность начальника лаборатории, где продолжил выполнять научные исследования по различным тематикам, организовывать деятельность

сотрудников лаборатории. Буквально за год коллектив достиг выдающихся результатов, которые были отмечены на самом высоком уровне, а персонально В.Г. Хрящеву вручили серебряную медаль Главного комитета ВДНХ СССР.

С этого момента, по сути, началась бурная изобретательская деятельность Валерия Геннадьевича. В 1981 г. его назначили на должность начальника отдела, в который входила ранее возглавляемая им лаборатория, а через шесть лет за внедрение изобретений в промышленность он был удостоен нагрудного знака «Изобретатель СССР».

В сложные для страны годы, вплоть до конца 1990-х гг., когда военно-промышленный комплекс находился в сложном положении, ФГУП «ЦНИИХМ» переориентировали на разработку изделий народно-хозяйственного назначения. В этот период под руководством и с непосредственным участием В.Г. Хрящева были разработаны и запатентованы различные способы косвенно-испарительного охлаждения воздуха в помещениях при различных климатических условиях и устройства для их осуществления, способы осушения воздуха и опреснения морской воды. Многие разработки были признаны ведущими мировыми специалистами в области создания систем кондиционирования воздуха в таких странах, как США, Сингапур, Австралия и Мексика, куда Валерия Геннадьевича регулярно отправляли в длительные служебные командировки.

В разные годы В.Г. Хрящевым было получено 7 патентов на изобретения за разработки в области систем кондиционирования воздуха, а также 16 авторских свидетельств за разработки различных двигательных установок.

Впрочем, не последнюю роль играют и личные качества нашего юбиляра. Руководство

института и коллеги отмечают у него высокое чувство ответственности за порученное дело, скромность, честность, порядочность, доброжелательность и интеллигентность в сочетании с исключительной работоспособностью и неутомимой энергией.

В настоящее время В.Г. Хрящев работает в должности старшего научного сотрудника, активно занимается экспериментальными исследованиями в рамках выполняемых в Центре прикладных разработок НИОКР, а также консультирует и передает свой профессиональный опыт коллегам и молодым специалистам.

Кроме упомянутых наград, в его послужном списке числятся медали «Ветеран труда» и «В память 850-летия Москвы», нагрудный знак «Ветеран отрасли боеприпасов», а в 2022 г. приказом генерального директора ФГУП «ЦНИИХМ» В.Г. Хрящев был удостоен медали «За служение науке», являющейся высшей степенью признания институтом работников, добившихся значимых достижений в научной и производственной деятельности.

Руководство и коллектив Центра прикладных разработок испытывают огромное удовольствие от возможности общаться и работать с таким преданным делу и своему предприятию сотрудником, высоко ценят его бесценный опыт и надеются на долгосрочное и плодотворное сотрудничество.

В знак благодарности и по случаю 50-летнего юбилея трудовой деятельности в ФГУП «ЦНИИХМ» коллектив института желает Валерию Геннадьевичу крепкого здоровья, долгих лет жизни, благополучия, удачи в больших и малых делах, оставаться таким же энергичным и работоспособным специалистом, успешно решающим стоящие перед ним сложные задачи.





# ПАМЯТКА АВТОРАМ

## Требования, предъявляемые к оформлению авторских материалов

**Авторская статья предоставляется** в редакцию в виде рукописи (в одном экземпляре) на листах белой бумаги форматом А4. Текст статьи выполняется в программе Microsoft Word: размер шрифта – 14 пт., междустрочный интервал – полуторный, нумерация страниц – обязательна. Расшифровка аббревиатур и сокращений, используемых в тексте, обязательна.

**Авторская статья**, направляемая в редакцию, **должна содержать:**

- индекс универсальной десятичной классификации (УДК);
- заголовок (не более 10 слов);
- аннотацию (не более 3–5 предложений);
- ключевые слова (не менее 3-х, не более 10-ти);
- основной текст (рукопись) с иллюстрациями, формулами и таблицами;
- подрисуночные подписи (экспликации);
- список использованной литературы.

**Объем статьи: не более 30 страниц.**

**К авторской статье прилагаются:**

- электронный вариант статьи, записанный на оптический диск CD-R или CD-RW;
- экспертное заключение (для открытых материалов);
- рецензия о научной ценности статьи;
- краткие сведения об авторах с указанием ученых степеней и званий, а также телефонов и электронной почты для связи.

**Список использованной литературы** оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила».

**Источников: не более 20 позиций, самоцитирование – не более 10%.**

Значения технических параметров и характеристик следует приводить в Системе Интернациональной (СИ).

Плата за публикации статей, в том числе аспирантов, не взимается.

**Рукописи, не соответствующие данным требованиям,  
не рассматриваются.**

**Научно-технический сборник  
«Боеприпасы»**

№ 2

2023 г.

Научное издание

**Редактор** *В.В. Простаков*  
**Компьютерная верстка** *А.В. Сигунов*  
**Компьютерный набор и графика** *А.В. Сигунов, Е.А. Гришина*  
**Художник-дизайнер** *М.И. Рюаткина*  
**Корректор** *О.С. Зотова*

---

Подписано в печать 10.10.2023  
Сдано в набор 3.07.2023

Усл. печ. л. 17,25  
Тираж 90 экз.

Формат 60×90/8  
Заказ № 52

---

Отпечатано в типографии ФГУП «ЦНИИХМ»  
115487, Москва, ул. Нагатинская, д. 16А