



**НАЦИОНАЛЕН ВОЕНЕН УНИВЕРСИТЕТ „ВАСИЛ ЛЕВСКИ”**

**ФАКУЛТЕТ „АРТИЛЕРИЯ, ПВО И КИС”**

9713 гр. Шумен, ул. „Карел Шкорпил” №1

**КАТЕДРА „ВЪОРЪЖЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ”**

---

**ИНЖ. РОСЕН НЕДКОВ ЛАЗАРОВ**

# **ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ФОРМАТА НА КУРШУМА ВЪРХУ РИКОШЕТНОТО МУ ДЕЙСТВИЕ**

## **АВТОРЕФЕРАТ**

на дисертационен труд

за присъждане на образователната и научна степен „доктор”

Област на висше образование „Технически науки”

Професионално направление „Общо инженерство”

Докторска програма „Динамика, балистика и управление на полета на  
летателни апарати”

**Научен ръководител**

**полк. доц. д-р инж. Ванко Вълчанов Ганев**

**Рецензенти:**

**1. проф. д.т.н. инж. Николай Личков Георгиев**

**2. доц. д-р инж. Андрей Илиев Богданов**

**ШУМЕН 2022**



Дисертационният труд е обсъден на катедрен съвет на катедра „Въоръжение и технологии за проектиране“ на факултет „Артилерия, ПВО и КИС“ в НВУ „В. Левски“ на 11.04.2022 г. и е насрочен за защита пред Научно жури на НВУ „В. Левски“ – Велико Търново, по научната специалност „Динамика, балистика и управление полета на летателни апарати” .

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 30.06.2022 г. от 11.00 ч. в департамент „Чуждоезиково обучение“ на НВУ „В. Левски“.

Докторантът заема длъжност асистент в катедра „Въоръжение и технологии за проектиране” на факултет „Артилерия, ПВО и КИС” в НВУ „В. Левски”.

Основните изследвания по дисертационния труд са проведени на Централен артилерийски технически изпитателен полигон - гр. Стара Загора.

Данни за дисертационния труд:

*Тема:* „Изследване на влиянието на формата на куршума върху рикошетното му действие”

*Автор:* инж. Росен Недков Лазаров

*Брой на страниците:* 164

*Брой на таблиците:* 30

*Брой на фигурите:* 35

*Брой на литературните източници:* 132

*Тираж:* 3 бр.

*Излиза от печат на:* .....2022 г.

*Печатна база на факултет „Артилерия, ПВО и КИС” при НВУ „В. Левски.”*

# ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## 1. Вид на дисертационния труд

Научноизследователски труд, отпечатан в неговата съществена част, обхващащ цялостен научен проблем с постановка на целите и задачите, доказан с теоретични изследвания и експериментални резултати. Разработени са модели и методики, проведени са собствени експерименти и са направени съответните анализи и изводи.

## 2. Актуалност и значимост на дисертационния труд

В много от случаите явлението рикошет е използвано и управлявано с оглед постигането на по-добри резултати, но в определени ситуации то може да бъде опасно и дори смъртоносно. Куршумът губи част от енергията си, променя траекторията си и евентуално е нарушена целостта му. Поради тези причини е необходимо да се ограничава появата на нежелани рикошети, като за целта трябва да се изучат условията за рикошет от различни видове повърхности и да се изведат зависимости, които да описват условията на възникването му, начин на управлението му или недопускането му.

В артилерийската стрелба се използва стрелба с рикошет за получаване на въздушен разрив след срещане на снаряда със земната (водната) преграда. Разривът от рикошет по жива сила и огневи средства на открито и в открити окопи е много по-ефективен, отколкото земният, тъй като се увеличава зоната на действие на осколките.

Стрелба с рикошет се използва в бойната авиация за нанасянето на значителни повреди на надводни кораби при бомбомятане с рикошет.

Въпреки дългогодишната практика по използването на рикошет, появяването му при съприкосновение с водна повърхност не е достатъчно добре изучено и съществуващите математически модели не изясняват цялостно процеса. В някои специализирани издания са публикувани частични изследвания и експериментални резултати [108][109][128], но не засягат в детайли навлизането на куршума във вода, движението му и напускането на водната среда в следствие на рикошет.

Изучаването на явленията, възникващи при рикошета от водна среда спомага при анализа на факторите, които оказват влияние върху стабилността на куршума при движение в различни среди. Анализът на факторите може да се използва за дефиниране на изисквания към формата на куршума за подобряване на движението му в среди с различна плътност и ограничаване в максимална степен получаването на рикошети. Получаването на куршум с форма, отговаряща на изискванията за необходимото поразяващо действие в среди с различна плътност, е проблем с изключителна теоретична

сложност. Той изисква решаване едновременно на три задачи – задачата на външната балистика, задачата за срещата на куршума с водната среда, определяща формата му за ограничаване на рикошетите и задачата за стабилното му движение във водата при условията на кавитация. [109][128]

При разработването на дисертационния труд са използвани следните научни подходи: анализ и синтез, системен подход, математическо моделиране и други.

Математическият апарат, приложен за разработването на аналитичните модели, използва: матрична алгебра, диференциална алгебра и статистически анализ.

### **3. Обект и предмет на дисертационния труд**

**Обект на изследването** е куршум на стрелкови боеприпас с номенклатурен индекс 7,62x54 mm.

**Предмет на изследването:** оценка на влиянието на радиални канали, изработени по оживалната част на куршума, върху рикошетното му действие при удар във водна среда.

### **4. Цел и задачи на дисертационния труд**

**Целта на дисертационния труд** е да се изследва влиянието на формата на куршума върху рикошетното му действие при среща с водна среда и повишаване на антирикошетното действие на куршума на съществуващ боеприпас, групираността на който да бъде в нормите за групираност на попаденията за съответната стрелкова система.

#### **Задачи на дисертационния труд:**

1. Създаване на теоретичен модел на формата на куршума с цел повишаване на антирикошетното му действие при стрелба по водна повърхност.

2. Извършване на експериментално изследване на влиянието на формата на куршума върху рикошетното му действие при стрелба по водна повърхност.

3. Оценяване на адекватността на разработения теоретичен модел на формата на куршума с цел повишаване на антирикошетното му действие при стрелба по водна повърхност.

### **5. Методи на изследването**

При разработването на дисертационния труд са използвани следните научни подходи: анализ и синтез, системен подход, математическо моделиране и други.

Математическият апарат, приложен за разработването на аналитичните модели, използва: матрична алгебра, диференциална алгебра и статистически анализ.

## **6. Приноси**

На основание на извършения анализ и синтезираните модели, проведените експериментални изследвания, получените резултати и направените изводи от тях, могат да бъдат дефинирани следните приноси:

### **Научно-приложни приноси:**

1. Доразвита е теорията за определяне на балистическия коефициент, при наличие на радиални канали по оживалната част на куршума.

2. Доразвита е теорията за определяне ускорението на куршума при навлизане във водна среда с отчитане на влиянието на балистическия коефициент и ъгълът на среща с водната повърхност.

3. Разработен е статистически модел за изследване изменението на ускорението на куршума при навлизане във водна среда с отчитане на влиянието на ъгълът на среща с водната повърхност.

4. Разработена е методика за полигонни изпитвания за изследване на влиянието на формата на куршума върху групираността на стрелбата, изменението на скоростта на куршума и рикошетното му действие във водна среда.

### **Приложни приноси:**

1. Експериментално е установено, че наличието на радиални канали по оживалната част на куршума води до намаляване на рикошетното действие във водна среда.

2. Разработена е процедура за изпитване на рикошетното действие във водна среда, групираността на попаденията и изменение на скоростта във въздушна среда на куршум на боеприпас с номенклатурен индекс 7,62x54 mm.

3. Създадени са физически модели на куршум на боеприпас с номенклатурен индекс 7,62x54 mm с изменена форма на оживалната част, с цел намаляване на рикошетното действие във водна среда.

4. Проектирано и изработено е технологично оборудване за осигуряване на експериментално изпитване и изработване на физически модели на куршуми на боеприпас с номенклатурен индекс 7,62x54 mm, с изменена форма на оживалната част.

## **8. Аprobация**

Резултатите от теоретичните и експерименталните изследвания са докладвани и обсъждани на Научна сесия на факултет „Артилерия, ПВО и КИС“ на НВУ „В. Левски“ в гр. Шумен направление „Въоръжение и техника“ през 2018 г., Годишна университетска конференция с международно участие на НВУ „В. Левски“ - гр. В. Търново направление „Технически науки“ през 2019 г., X Научна конференция на НВУ „В. Левски“ - гр. В. Търново „Логистиката и обществените системи“ през 2021 г.

## 9. Структура и обем на дисертационният труд

Дисертационният труд се състои от: увод, четири глави, заключение, списък на научните публикации по темата, списък на използваната литература, приложения.

Дисертационният труд е в обем 142 страници, с 30 броя таблици, 35 броя фигури, 22 страници приложения. Литературната справка включва 132 литературни източника.

### КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

#### Глава I АНАЛИЗ НА ФАКТОРИТЕ, ОКАЗВАЩИ ВЛИЯНИЕ НА РИКОШЕТНОТО ДЕЙСТВИЕ НА КУРШУМА ОТ ВОДНА ПОВЪРХНОСТ

##### 1.1. Рикошетно действие на куршума.

Рикошетът възниква, когато векторът на скоростта на центъра на масата на куршума [CG] в момента на среща с целта е ориентиран в посока, различна от тази към целта и се характеризира с малки ъгли на срещата (определя се като ъгъла между тангенциалния повърхностен вектор и вектора на скоростта на центъра на масата на снаряда). Ъгълът на рикошета и скоростта на рикошета зависят от скоростта на куршума, ъгъла на наклона на траекторията на центъра на масата на куршума спрямо равнината на мишената в момента на удара и масата на куршума както и геометрията, инерционния момент и свойствата на целта.

Съществува праг на ъгъла на удара (критичен ъгъл), отвъд който рикошетът не може да възникне.[83] Тогава куршумът се забива в целта или се дефрагментира.

При удар на куршума с повърхност, при ъгъл, по-малък от критичния, куршумът ще рикошира от повърхността, вместо да проникне в нея. След рикошета, куршумът ще загуби значителна част от скоростта си и неизменно ще загуби своята стабилност. Траекторията на куршума става непредвидима и той може да предизвика поражения в произволни направления. Прогнозирането на стойността на критичния ъгъл за всяка конфигурация на куршум/повърхност е изключително трудно. Фактори като форма на куршума, конструкция, скорост и свойствата на повърхността от която рикошира оказват влияние върху резултата.

Параметрите, влияещи върху потенциала за рикошет, са много разнообразни. Трудно е да се установят някакви твърди и бързи правила относно условията за възникване на рикошет. Следователно емпиричните изследвания трябва да се извършват за всеки отделен случай. Има обаче няколко обобщения, които могат да бъдат приложени.

1. В повечето случаи на куршуми, рикоширащи от твърда повърхност, ъгълът на рикошет е значително по-малък от ъгъла на падане. При куршуми с твърда обвивка, високоскоростни куршуми, удрящи чуплив материал като камък или бетон, не винаги ъгълът на



рикошет е по-малък от ъгъла на падане. Ако се получи достатъчно кратериране на повърхността при удар на куршум, изходната равнина на кратера ще бъде с по-голям ъгъл от ъгъла на падане. Това се дължи на факта, че куршумът удря повърхността под по-голям ъгъл на падане и следователно по-голям ъгъл на рикошет.

2. Критичният ъгъл за куршум с мека или куха точка е по-нисък от този за еквивалентен куршум с цяла обвивка. В този случай деформирацията се нос на куршума с куха точка увеличава ъгъла на падане, като по този начин увеличава склонността към рикошет.

3. Критичният ъгъл за даден тип куршум-мишенна среда зависи от скоростта на в момента на удара.

4. Куршумите неизменно губят своята жироскопична стабилност и ще се преобръщат след рикошет. Това преобръщане поражда характерно свистене или жужене, докато преобръщащият се куршум преминава във въздуха.

5. Куршумите, които са рикоширали от стъкло, стомана, бетон или дърво, имат отличителен белег, който е характерен за материала, с който е направен контактът. Ако материалът е стъкло или полирана стомана, е характерна огледалната повърхност. Съвсем различен е резултатът, при рикошет на куршума във водна среда. В този случай върху корпуса на куршума не се наблюдават следи от механичното взаимодействие между куршума и водата.

6. Високоскоростните куршуми с тънка обвивка обикновено се разпадат преди рикошет. Това се отнася дори и за рикошетно действие във водна среда.

## 1.2. Анализ на факторите, влияещи върху рикошетното действие на куршума

### 1.2.1. Фактори, зависещи от характеристиките на куршума:

#### 1.2.1.1. Външно балистични параметри.

Външно балистични параметри, оказващи влияние върху рикошетното действие на куршума са:

- калибър ( $d$ ) – оказва влияние върху челното съпротивление ( $c_x$ ), коефициента на формата на куршума ( $i$ ) и балистическия коефициент ( $BC_i$ );

- маса ( $m$ ) – влияе върху инерцията на куршума, върху балистичния коефициент и върху действието на куршума в целта;

- начална скорост на куршума ( $v_0$ ) – определя скоростта на куршума по време на полета по траекторията в зависимост от балистическия коефициент на модела;

- форма на куршума – определя коефициента на формата  $i$ . Оказва пряко влияние върху скоростта на удар на куршума в целта чрез зависимостта си от въздушното съпротивление;

- скорост на куршума при среща с преградата ( $v_e$ ) – скоростта на куршума при среща с водна преграда е пропорционална на

закъснението на куршума във водата, но влияе чрез кавитационното число ( $\sigma$ ) на образуването на кавитационна кухина;

- ъгъл на среща ( $\xi$ ) – ъгълът на среща с преградата при стойности, по-малки от критичния ъгъл за двойката куршум-преграда, създава условия за рикошет на куршума. При стойности, по-големи от критичния ъгъл, куршумът се забива в преградата или се дефрагментира.

#### **1.2.1.2. Механични параметри.**

Механичните параметри, оказващи влияние върху рикошетното действие на куршума са:

- механична якост – якост на куршума - определя неговото състояние след удар в преградата. Куршумът може силно да се деформира, да се дефрагментира или да запази относително непроменени своите геометрични размери в зависимост от своите механични качества;

- деформируемост – свойство на куршума, което позволява промяна на геометричните параметри на куршума без да настъпи дефрагментация.

#### **1.2.2. Влияние на механичните свойства на средата върху рикошетното действие на куршума.**

Механичните свойства на средата, оказващи влияние върху рикошетното действие на куршума са:

- твърдост;
- плътност;
- грапавост;
- коефициент на триене.

Поради комплексността на въздействие на свойствата на средата е анализирано рикошетното действие на куршум в различни видове среди.

##### **1.2.2.1. Рикошет в среда от масивна дървесина.**

Стойностите на ъгъла на рикошета в дървесина обикновено съответстват на рикошет на куршума от податливи повърхности, където ъгълът на рикошет на куршума е по-висок от ъгъла на среща. При достигане на критичния ъгъл куршумите пробиват дървените повърхности или се забиват в тях. Съществува връзка между критичния ъгъл на куршума и твърдостта на дървесината. Колкото по-твърда е дървесината, толкова по-голям е критичния ъгъл. Получените явления биха могли да възникнат поради комбинирания ефект на формата, скоростта на куршума и най-важното, вариациите на свойства на дървесината и уникални реакции на повърхността при рикоширане на куршуми.

Въпреки различните стойности на твърдостта за всеки тип дървесина, стойностите на критичния ъгъл са много близки. Увеличаването на скоростта, енергията и формата на куршумите не оказва значително влияние върху критичните ъгли на куршумите при удар върху борова дървесина. [100]

### **1.2.2.2. Рикошет от бетон**

Бетонните повърхности имат различна степен на грапавост, при което рикошетната повърхност и реакцията ѝ на удари от куршуми са факторите, влияещи върху рикошетното действие на куршума. Когато ъгълът на наклона започне да се приближава до критичния ъгъл за съответния тип повърхност, куршумите започват да се дефрагментират и да се разделят ризница от сърдечник, като сърдечникът не се чуи или деформира.

Не се наблюдава перфорация или дори само проникване на куршумите, когато ъгълът на наклона достигне стойността на критичния ъгъл за съответната повърхност, а куршумът се фрагментира значително.

Ъглите, произведени от куршуми, рикоширащи от бетонни повърхности и бетонни проби с различни повърхностни текстури/състави, могат да варират значително. Малките разлики в повърхностната текстура и състава за даден неподатлив материал, като бетон, могат да доведат до много различни повърхностни реакции при рикоширане на куршум. [99]

### **1.2.2.3. Рикошет от полимерни плочи.**

Когато бронебоен куршум удари наклонена плоча, той може да бъде отклонен от асиметричните сили, които целта упражнява върху куршума. Това е добре познат феномен, който е изследван при удар на различни метални цели с бронебойни куршуми. Анализът на явлението показва, че ако ъгълът на падане е по-малък от критичния, куршумът може да рикошира от всяка метална цел, при условие, че целта е достатъчно дебела. Мишените от плексиглас упражняват най-силните асиметрични сили върху бронебоен куршум. Важните свойства на целта, които контролират процесите на рикошет и отклонение са високата якост на натиск и ниската якост на опън на целта. Високата крехкост на плексигласа е причината за голямото отклонение.

Взаимодействието на куршуми под ъгъл с плоча се характеризира с асиметрични сили, които се упражняват от плочата, отклонявайки куршума от първоначалната му траектория. При правилната комбинация от скорост на куршума, сила на целта и ъгъл на атака, тези асиметрични сили могат да доведат до рикошет на куршума, предотвратявайки перфорацията на целта.

Установено е, че наклонените плексигласови и епоксидни плочи упражняват силна асиметрична сила при удране на 0,300 бронебоен куршум. Това взаимодействие води до силно отклонение и отклонение на куршума, което не е доказано от други наклонени цели (или метали, или полимери). [111]

### **1.2.2.4. Рикошет в пясък.**

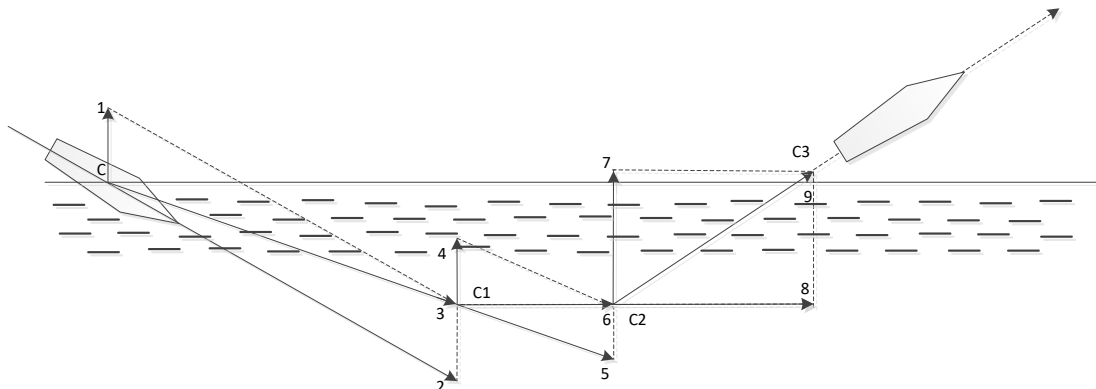
При удар на куршума в пясък енергията му се разсейва заради разрушаване на пясъчните зърна, съпроводено с наблюдаване на много фин бял прах, следствие на пулверизацията предизвикана от

куршума. Прието е, че 8% от енергията на куршума се губи за пулверизацията на частиците на пясъка при хиперзвуково проникване. По време на компресиране на пясъка, точката на провлачването се свързва с началото на разрушаване на частиците. При приложено натоварване върху пясъка, той променя както формата, така и свиваемостта си. Поради промени в структурите на зърната обемът намалява. Това се дължи на силите на триене между частиците на пясъка водещи до огъване или търкаляне на зърната. При увеличаване на натоварването зърната се смачкват.

За вода и пясък е установен ъгъл на рикошет, с около 20% по-голям от ъгъла на удара. Ако ъгълът на конуса на върха на куршума е по-малък от  $90^\circ$ , куршумите стават по-нестабилни и критичният ъгъл намалява. За пясъка е установено и, че с увеличаването на скоростта критическия ъгъл намалява. [95]

### 1.2.2.5. Рикошет във вода.

От теорията на удара в теоретичната механика е известно, че всяко еластично тяло, когато срещне твърда преграда, се отразява. При това ъгълът на отражение е почти винаги по-голям от ъгъла на падане. Подобно явление се наблюдава и в стрелбата на снаряди към земна (водна) повърхност. Тук обаче преградите не са твърди, поради което изводите от теорията на удара не може да се ползва напълно.



Фигура 1.1. Схема на рикошета на куршума от водна среда.

1.  $\vec{v}_{Qc}$  – сила на съпротивление на водата; 2.  $\vec{v}_c$  – скорост на куршума; 3.  $\vec{v}_{Rc}$  – резултантна скорост на куршума; 4.  $\vec{v}_{Qc_1}$  – сила на съпротивление на водата;
5.  $\vec{v}_{c_1}$  – скорост на куршума; 6.  $\vec{v}_{Rc_1}$  – резултантна скорост на куршума; 7.  $\vec{v}_{Qc_2}$  – сила на съпротивление на водата; 8.  $\vec{v}_{c_2}$  – скорост на куршума; 9.  $\vec{v}_{Rc_2}$  – резултантна скорост на куршума.

Рикошетите от водна среда се различават в зависимост от това, дали куршумът удря водната повърхност и отскача от нея или навлиза във водната среда, след което излиза от нея.

При първия случай ъгълът на отражение на куршума от водната повърхност е приблизително равен на ъгъла на среща. Посоката на движение на куршума почти не се променя.

Във втория случай ъгълът на отражение, измерен спрямо водната повърхност е по-голям от ъгъла на среща. В момента на

удара на куршума във водата скоростта му има две съставлящи: крайна скорост на куршума  $\vec{v}_c$  и от силата на съпротивлението на водата  $\vec{v}_{Qc}$ . Следователно резултантната скорост е  $\vec{v}_{Rc}$ , поради което куршумът се движи от т. С до т. С<sub>1</sub>. В т. С<sub>1</sub> скоростта  $v$  има също две съставляващи, като  $v_{C1} < v_C$ . При това положение, както се вижда и от фигурата, посоката на скоростта на куршума  $\vec{v}_{Rc2}$  непрекъснато се изменя и се насочва към повърхността на водата. Идва момент, когато куршумът напуска водата и се движи във въздуха.

При промяна на ъгъла на срещане може да се изменя броят (процента) на рикошетите. [39][35]

### **1.3. Анализ на съществуващите модели на куршуми за намалено рикошетното действие при среща с водна повърхност.**

#### **1.3.1. Суперкавитационни боеприпаси.**

Боеприпасите за различни среди, които са проектирани в два варианта:

- да бъдат изстрелвани във водата от повърхността или въздуха, като по този начин позволява на стрелците от борда на плавателни съдове, да участват в бой срещу водолази на противника, безпилотни подводни превозни средства или превозни средства за транспортиране на подводни плувци.

- да бъдат изстрелвани под вода, за неутрализиране на противника, намиращ се над повърхността.

Поради нетрадиционната форма и значителната маса, тези куршуми предлагат голяма способност за проникване срещу многослойни структури и сферични форми.



Фиг. 1.2 Суперкавитационен куршум.

Характеристиката на боеприпасите, декларирана от разработчиците, е липсата на рикошет при навлизане във водата под почти всякакъв ъгъл, до 2 градуса в неспокойна вода, до 7 градуса в нормална вода. Куршумът на боеприпаса не напуска първоначалната въздушна траектория при навлизане във водата - стрелецът трябва само да вземе предвид оптичното пречупване.[79]

#### **1.3.2. Боеприпаси с кавитиращ сърдечник.**

Кавитиращите сърдечници могат да се използват с нарезно и гладкостволно оръжие, използвайки гилза и метателен заряд от стандартен боеприпас. Тези боеприпаси са предназначени основно за поразяване на подводни цели при стрелба под вода или от въздуха

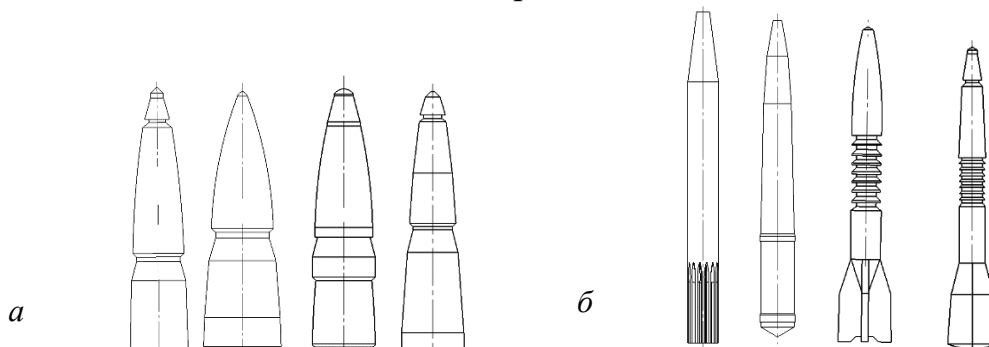
към водата. Стрелба от въздушна среда към цел, намираща се под водата може да се осъществява от всяко стандартно оръжие.

Изискването към кавитиращите сърдечници е да имат устойчиво движение във въздушна и водна среда, както и да преминават устойчиво от едната към другата среда. Стабилизирането на полета на кавитиращ сърдечник във въздуха се осъществява чрез кърмово стабилизиране посредством многолопатков стабилизатор за невъртящите сърдечници, а при стабилизиране чрез въртене сърдечникът трябва да има конусно-цилиндрична форма за по-голяма жирокопична устойчивост.

Намаляването на ъгъла на върха на куршума намалява коефициента на кавитационно съпротивление  $c_x$  и импулсното натоварване при влизането на куршума във вода. За създаване на кавитационна каверна е необходимо стойността на величината на кавитационния параметър

$$\omega = c_x \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (1.1)$$

да не се променя. Следователно при намаляване на  $c_x$  чрез намаляване на ъгъла на върха на куршума трябва да се увеличи диаметъра на носовата повърхност  $d$ . При ъгли на конусността по-малки от  $60^\circ$  образуването на кавитационна каверна с необходимия контур е ненадеждно. За това при необходимост се допуска използването на плоска челна повърхност.



Фигура 1.3. Различни видове кавитационни сърдечници.  
а) въртящи; б) невъртящи

Изискванията, предявявани към кавитиращите сърдечници са диаметрално противоположни. Те трябва да имат добри аеродинамични и хидродинамични качества. Аеродинамичните качества се дефинират чрез външната балистика, а хидродинамичните качества – чрез хидробалистиката. За да имат добри аеродинамични качества, куршумите трябва да бъдат с остър връх и малка дължина. За добрите хидробалистични качества се изисква тъп връх, който да създаде кавитационна кухина, голяма маса на куршума, за да се увеличи далекобойността под вода и да се увеличи челното съпротивление  $c_x$ .

От горепосоченото следва, че за да получим добри хидробалистически характеристики на куршума, това ще влоши

аеродинамичните му характеристики, които от своя страна влияят на далекобойността и групираността на попаденията.

### Изводи:

1. На база на извършения анализ се установи, че факторите, оказващи влияние върху рикошетното действие на куршума във водна среда са: ускорението на куршума при среща с водната повърхност, ъгълът, който се сключва между допирателната към траекторията на куршума и равнината на водната повърхност в момента на среща с водната повърхност, формата на челната част на куршума.

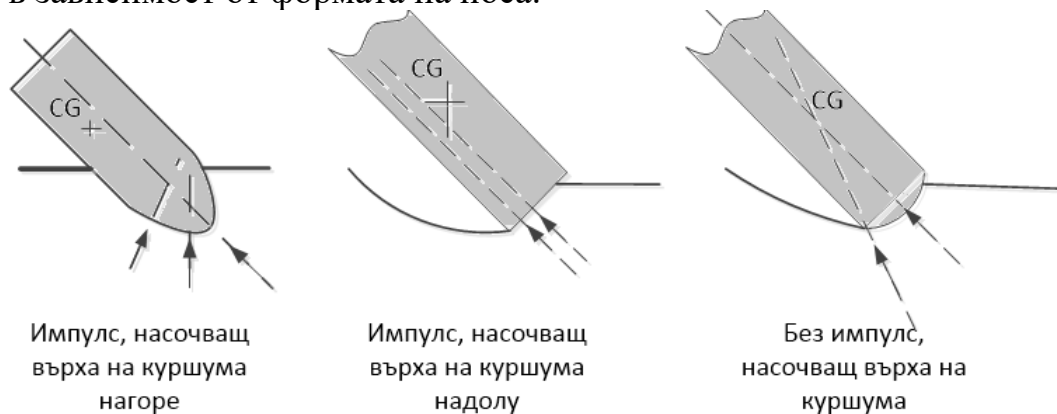
2. Съществуващите кавитиращи боеприпаси, които са предназначени за стрелба към, от и във водна среда притежават влошени балистични качества във въздушна среда.

3. Разгледаните хидробалистични модели на обекти с различна челна част не позволяват да се анализира изменението на техните външно-балистични параметри.

4. Един от възможните начини за ограничаването на рикошетното действие на куршума от водна среда и същевременно с минимална загуба на кинетична енергия във въздушна среда е разработване на куршум на стандартен боеприпас с преработена челна част.

## Глава II МОДЕЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА НА ПРОНИКВАНЕ И ДВИЖЕНИЕ НА КУРШУМ С ИЗМЕНЕНА ГЕОМЕТРИЯ НА ЧЕЛНАТА ЧАСТ ВЪВ ВОДНА СРЕДА

Силите, създаващи придобитата ъглова скорост и зависимостта на тези сили от условията на влизане, зависят от формата на върха на куршума. Повечето форми на върха дават на куршума импулс нагоре, но достатъчно тъп връх му дава импулс надолу. Тъпи върхове рядко се използват поради голямото съпротивление, свързано с тях, така че изследванията се занимават с върхове с по-фина форма. Тъй като ъгловата скорост, придобита при удар, зависи от формата на върха на куршума, критичният ъгъл на наклон варира в зависимост от формата на носа.



Фигура 2.1 Сили, зависещи от условията на влизане и зависещи от формата на куршума, създаващи придобитата ъглова скорост

Силата на удара предизвиква както внезапна промяна на скоростта при удар, така и ъглова скорост около хоризонтална ос. Промяната в линейната скорост очевидно не играе съществена роля при определянето на последващото поведение, но внезапното възникване на ъглова скорост кара носа да се повдига, опашката да пада и определя дали последващата траектория се обръща нагоре или надолу.

По този начин относителното количество усилие, което трябва да бъде отделено за осигуряване на правилното движение във въздуха и правилното движение във вода, варира в зависимост от конкретната челна част на куршума.

### 2.1. Влияние на формата на куршума при движението му във въздушна среда.

За изследване на поставения проблем е разгледана формата на куршума, която оказва съществено влияние на скоростта му на движение и е дефинирана чрез коефициента на формата на куршума, който е обратно пропорционален на балистическия коефициент.

Обобщеният балистичен коефициент има вида [92]

$$BC_j = \left( \frac{m}{i_j d^2} \right) \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad (2.1)$$

където:

$BC_j$  - балистичен коефициент, спрямо функцията на съпротивление “ $j$ ”

$i_j$  - коефициент на формата на куршума, спрямо функцията на съпротивление “ $j$ ”

$j$  – стандартни форми на куршума ING, 1, 2, 5, 6, 7, 8 или SP [92]

$m$  - маса на куршума [kg]

$d$  - референтен диаметър на куршума [m]

$\rho$  - локална плътност на въздуха [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_0$  - стандартна плътност на въздуха на морското равнище ( $\rho_0 = 1,3$  kg/m<sup>3</sup>)

Корекцията на плътността на въздуха се използва за изчисляване на траектории на различни височини над морското равнище. Ако  $\rho = \rho_0$  балистичният коефициент за стандартната плътност на въздуха на морското равнище намалява до класическата форма:

$$BC_j = \left( \frac{m}{i_j d^2} \right) \quad (2.2)$$

Обикновено производителите на бойни припаси дават стойностите на балистичните коефициенти за собственото си производство. Поради фирмена конфиденциалност на техническата информация не се откриват в достъпните източници конкретни данни за балистични коефициент за куршуми с изработени радиални канали. За да се определят съответните балистични характеристики



на куршумите с променена форма на оживалната част се прилага емпиричен подход, който се базира на формулата: [53]

$$BC_i = \frac{0,0052834 \cdot x}{\sqrt{V_0} - \sqrt{V_{x_i}}} \quad (2.3)$$

където:

$V_0$  - е скоростта на началното разстояние [m/s];

$V_{x_i}$  - е скоростта на крайното разстояние за съответния модел куршум [m/s];

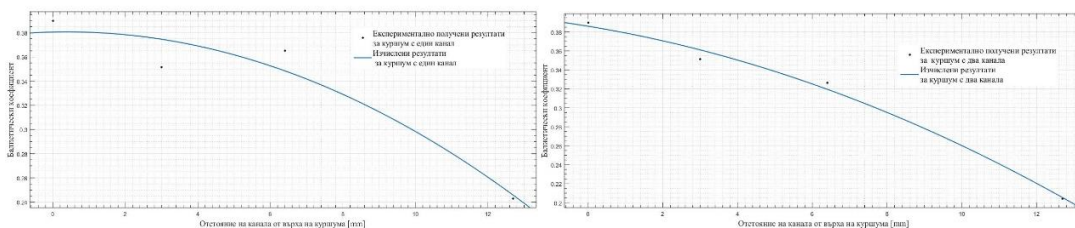
$x$  - е разстоянието между двете точки на измерване [m].

След заместване на получените и усреднени стойности от измерванията, се получава стойността на балистичния коефициент  $BC_i$  за конкретния куршум. Експериментът се извършва при условия съгласно Методика за провеждане на експериментални стрелби. [Приложение 1].

Таблица 2.1 Изчислените балистични коефициенти на моделите куршуми, използвани в експериментите

Модел на куршума	BC
Фабричен	0,39
Модел 1	0,35
Модел 2	0,32
Модел 3	0,37
Модел 4	0,24
Модел 5	0,21

Определяйки балистичните коефициенти на куршумите на всеки един от моделите може да се изчисли съответния коефициент на формата на куршума.



Фиг. 2.2 Изменение на балистичните коефициенти на куршумите с един и два радиални канала изработени върху оживалната част.

Изчислените балистични коефициенти на моделите куршуми, използвани в експериментите са показани в Таблица 2.1.

Посредством стойността на балистичния коефициент на стандартния куршум може да се изчисли балистичния коефициент на всеки отделен модел куршум.

Съпоставяйки графиката на функцията на закона за промяна на балистичния коефициент на куршумите с един канал с графиката на функцията на закона за промяна на балистичния коефициент на куршумите с два канала се установи, че функцията по която се изменя балистичния коефициент в зависимост от изработените

канали върху оживалната му част е еднаква за куршуми с един и два канала, като само коефициентите са различни.

## **2.2. Рикошетно действие на куршума във водна среда.**

### **2.2.1. Хидробалистично моделиране на процесите във водна среда.**

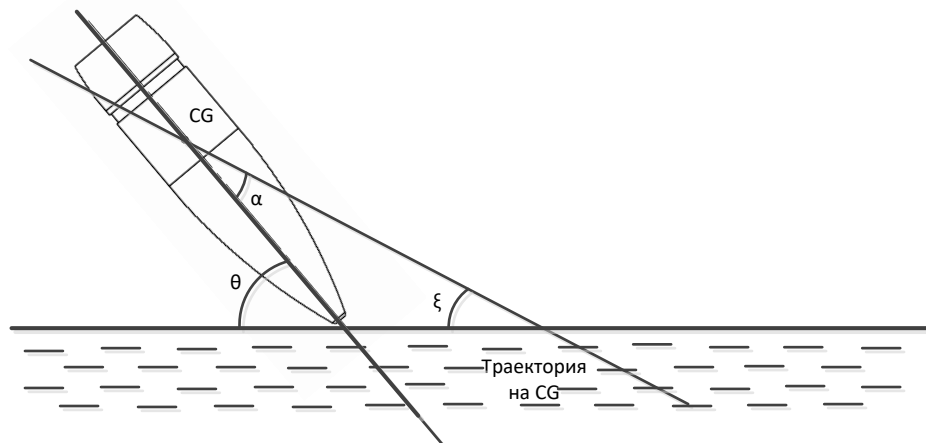
При среща с водната среда челната част на куршума създава кухина с приблизително конична форма, така че само върхът на куршума е в контакт с водата. Това продължава, докато куршумът е на няколко дължини под повърхността на водната среда и през това време куршумът е подложен на забавяща сила, която има тенденция да насочи куршума в посока надолу, ако куршумът е с върха надолу към своята траектория, и следователно има тенденция да преодолее първоначалната създадената при удара ъглова скорост на върха нагоре. Ако върхът на куршума не се е отклонил от траекторията си, силата на съпротивление добавя въртящ момент към първоначално произведения ъглов момент от възходяща ъглова скорост. В следствие на това задната част на куршума ще има съприкосновение или с горната, или с долната част на кухината. Ако удари горната част на кухината, куршумът ще се движи по приблизително кръгова траектория, извита надолу. Ако удари долната част на кухината, ще се движи по траектория, вдлъбната нагоре. Наклонът и ъглите на траекторията при влизане, големината на първоначално придобитата ъглова скорост и полученото по-късно ъглово ускорение, определят посоката на отклонение.

Силите, създаващи при удара във водната повърхност ъглова скорост и зависимостта на тези сили от условията на влизане във вода, зависят от форма на върха на куршума. Повечето форми на носа дават на куршума импулс нагоре, но достатъчно тъпи носове му дават импулс надолу.

Тъй като ъгловата скорост, придобита при удар, зависи от формата на носа, критичният ъгъл на наклон варира в зависимост от формата на носа.

Идентифицирането на възникващите сили, които влияят върху движението на куршума е комплексна задача. При хидробалистичните явления с най-голяма практическа сила са инерционните, гравитационните и вискозните сили. Поради това, че инерцията винаги е важна в диапазона на скоростите, които трябва да се вземат предвид, другите сили се сравняват с нея.

Движението на куршум в две среди не следва да се разглежда само като период на движение във въздуха и период на движение във вода, а е необходимо да се разгледа и преходът при навлизане от въздух във вода. През този период съществува реална възможност за механични повреди на куршума. Освен това силите на флуида, които действат на куршума през периода на преход, могат да накарат куршума да излезе от водата, да промени рязко посоката му или да излезе извън контрол и да се отклони от желаната траектория.



Фигура 2.3. Ъгли на атака, наклона и траектория.  
 $\alpha$ -Ъгъл на атака на куршума [deg];  $\theta$ -Ъгъл на наклон на куршума [deg];  
 $\xi$ -Ъгъл на траекторията на куршума, [deg]

Високоскоростното кавитационно движение на кавитирацията куршум във вода се съпровожда с образуването на естествена каверна, разширяваща се след кавитираща издатина в носовата част, и продължава до тогава докато размерите на каверната превишават размерите на куршума [47][48][49][50][51].

Началните размери на каверната многократно превишават размерите на куршума. Устойчивостта на куршума в каверната се осигурява от неговата задна част за сметка на периодичното плъзгане на глисиращата повърхност на куршума в стените на каверната, заради което най-големият диаметър на напречното сечение на задната част определя калибъра на куршума.

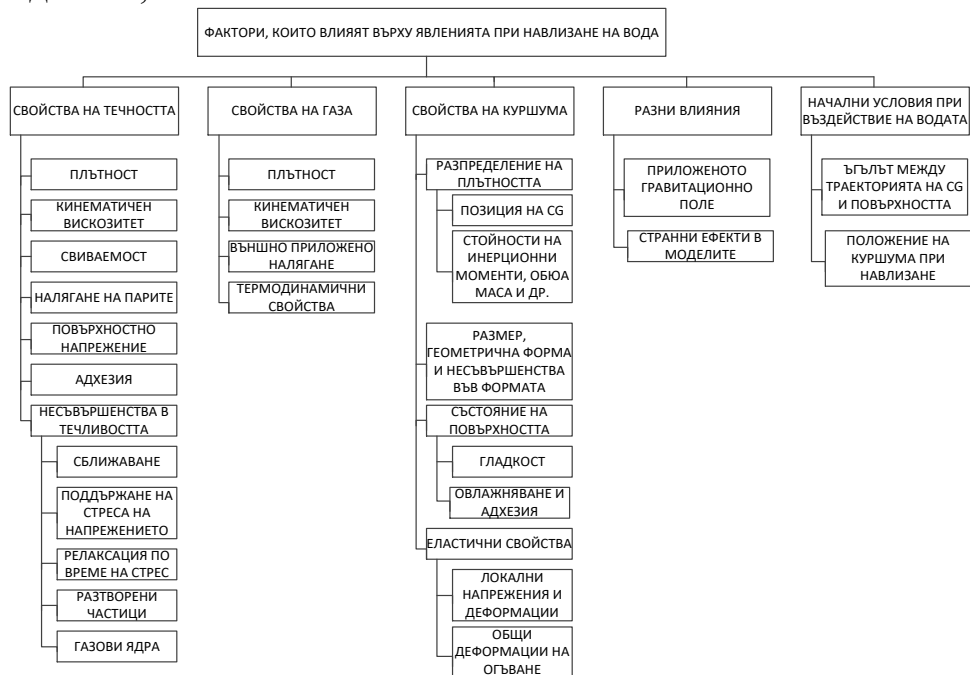
Амплитудата на ъгловите колебания на куршума в каверната зависи от разстоянието между неговата глисираща повърхност и контура на каверната, а техническото разсейване на подводната траектория зависи от дълбочината на инерционното изместване на глисиращата повърхност на кърмовата част и нейната геометрия, която определя величината на едностранното съпротивление при глисиране.

При промяна/загуба/ на очертанията на каверната в средната или предната ѝ част, куршумът губи устойчивост, преобръща се и се движи забавително със страничната си повърхност напред.

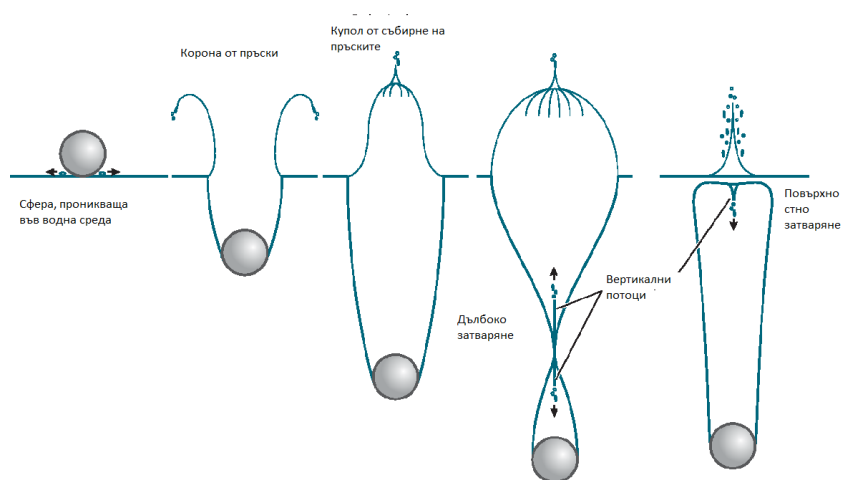
За получаване на каверна при влитане на куршума под малки ъгли спрямо водата, за предпочитане е в челната част на куршума да бъде изработен околоръстен канал с най-малък диаметър равен на 1,2-1,6 от диаметъра на кавитационната издатина. Този вариант позволява при влитането на куршума под малки ъгли във водата да се създаде временна кавитационна зона, а след навлизането на кавитационната издатина във водата кавитационната каверна ще се създава от издатината. [48]

## 2.2.2. Моделиране на процеса на влизане на куршума във водна среда.

При навлизане във вода образуването на кухини зависи от характеристиките на куршумите. Физическите свойства на куршума, газа и течността заедно установяват силата, която комбинирана с гравитацията и инерцията, определя вида на навлизане на куршума във водна среда. Силата, упражнявана от върха на куршума върху водата, отваря кухина, която продължава да се разширява по силата на собствената си инерция, докато гравитацията не накара водата да се върне в своето равновесно положение на покой. Механизмите, влияещи върху поведението на кухината, са били широко наблюдавани, но не са напълно описани математически.



Фиг. 2.4 Фактори, влияещи върху явленията при навлизане на куршума във вода



Фигура 2.5. Явления при навлизане във вода.

Явленията на навлизане във вода традиционно са разделени на четири фази:

1. Удар (Въздействие)

2. Формиране на потока
3. Отворена кухня
4. Затворена кухня

Тези фактори са изследвани поотделно, въпреки че нито една фаза от траекторията на куршума не е независима от предходните.

Когато куршумът при полета си от въздушна среда удари водна среда, той създава кухня, която расте и по време на подводната траектория. Първоначално кухнята се развива до повърхността на водата. После кухнята става по-дълга и по-тънка докато най-накрая се затваря или като повърхността се затваря над кухнята, или кухнята слиза надолу и се откъсва в някакъв момент под повърхността. След затварянето куршумът продължава да се движи в останалата кухня докато кухнята не се размие във водата. Навлизането във вода е поредица от явления след квази-стационарен въздушен полет.

Линейните и ъгловите скорости на куршума, установени по време на въздушния полет оказват голямо влияние на явленията при навлизане във водна среда, тъй като тези скорости, съчетани с физическите свойства на куршума определят както инерцията на куршума, така и ориентацията му по отношение на повърхността на водата. Ориентацията на куршума спрямо повърхността на водната среда определя специфичната форма на куршума, която първа контактува с водата.

#### **2.2.2.1. Удар.**

Ударът инициира краткотрайна високоскоростна ударна вълна, движеща се приблизително със скоростта на звука във водата. Силата на удара е много голяма и може да причини деформации на куршума при навлизане на вода. Кратката продължителност (част от милисекунда) изключва силното ѝ влияние върху последващите хидродинамични потоци при затваряне на кухнята с ниска скорост. Свиваемостта на флуидната среда оказва малък ефект върху динамичното поведение на куршума. Извивката на обвивката на кухнята не е формирана от пътя на отделните частици, а по-скоро от интегрираните пътища на много частици.

След удар на куршума се наблюдава леко покачване на повърхността на течността отвъд короната от пръски, което се дължи на входната ударна вълна.

#### **2.2.2.2. Формиране на поток**

Непосредствено след удара водата се задвижва от куршума и започва процес на образуване на поток, по време на който налягането на флуида върху куршума е значително по-ниско, отколкото в процеса на удара, но значително по-голямо от режима на късния квази-стабилен поток. Този режим на формиране на потоци е изключително сложен и не е описан все още в литературата.

След удара водата изтича от куршума и започва да се образува кухня. Намокрената повърхност на куршума се увеличава, докато се установи относително стабилна линия на разделяне на кухините.

Тази разделителна линия може да бъде рязко открояваща се, неравномерна, деформирана или колебаеща се, което води до появата съответно на ясни, неясни, неправилни или изкривени кухни.

Неравномерното разделяне е свързано с нестабилното поведение на траекторията. Когато куршумът е с гладка, опростена конфигурация, флуидният поток почти съответства на формата на куршума и само тънък слой газ отделя куршума от водата. Понякога този газов филм се измества от вода, което изкривява линията на отделяне на кухни. Ако куршумът има тъп връх се създават големи разстояния между куршума и кухнята, с ясна и рязка разделителна линия.

По време на фазата на образуване на потока се извършва голям обмен на енергия. Промяната в ъгловата скорост (камшик) се случва, когато резултантната компонента на хидродинамичната сила, приложена върху носа на куршума не премине през центъра на масите на куршума. Камшикът също възниква и от явлението подналягане.

Хидродинамичен камшик възниква при косо влизане на куршума във водна среда, тъй като първо контактува долната страна на куршума. Хидродинамичното налягане е по нормалата на повърхността на куршума, която се намира под повърхността на водата и получената сила създава момент около центъра на тежестта на куршума. Камшикът от този момент създава плоска зона под носа на куршума и изпъкнала като полукълбо нагоре. Когато носът на куршума влезе целият във водата, моментът на накланяне от тази сила, създадена от хидродинамичното налягане става нула.

Забавянето на отделянето създава възможност за ефект на потискане, когато разстоянието между куршума и стената на кухнята стане толкова малко, че водата отвежда газа намиращ се в слоя между куршума и кухнята по-бързо, отколкото може да бъде заменен от газа в кухнята. Такива малки разстояния се образуват при обтекаемо тяло, но могат да възникнат и при удар при малки наклони, когато куршумът е ориентиран асиметрично в кухнята.

### **2.2.2.3. Отворената кухня.**

Пълно математическо описание на преходното поведение при влизане на вода в кухнята все още не е налично. [128]

По време на третата или отворената фаза на влизане във вода кухнята остава отворена към атмосферата на повърхността и се удължава, докато куршумът се движи по траекторията си. Газът влиза отгоре, за да се запълни кухнята зад куршума, което води до смесване на атмосферния въздух с водни пари. Ширината на кухнята се определя от скоростта, с която енергията се предава на

водата, като по-широката кухня се свързва с по-голямо внасяне на енергия. Растежът на кухнята се определя основно от формата и скоростта на куршума, от плътността и налягането на атмосферния газ и от положението на куршума в кухнята. Повърхностното напрежение на течността, вискозитетът на течността и газа и състоянието на повърхността на куршума обикновено са от второстепенно значение.

Ориентацията на куршума в кухнята влияе върху формата на траекторията. Права траектория, сближаваща продължаването на траекторията от въздуха, възниква когато куршумът се движи, като контактува с водата само с носа си или задния му край осцилира между горната и долната повърхност на кухнята. Ако задният край остане в контакт само с горната или само с долната част на кухнята се получава извита траектория (или гмуркане надолу, или излизане нагоре).

#### **2.2.2.4. Затваряне на кухините.**

Затваряне на кухнята може да се получи на повърхността, на някоя точка по-надолу или и двете. Характерът на затварянето се определя от условията за изстрелване и от физическите свойства на куршума, течността и газа. Затварянето прекратява потока на атмосферен въздух в кухнята, въпреки че е възможно инерцията на флуидния поток да доведе до леко уголемяване на кухнята след затваряне.

Условията, които определят затварянето на дълбоките кухни са инерцията на водата и гравитацията. Импулсът, предаден от куршума на водата кара кухнята да се отвори. Хидростатичната сила върху кухнята и повърхностното напрежение на течността, действаща в стените на кухнята са склонни да затварят кухнята. Когато силите на затваряне станат доминиращи, кухнята ще започне да се стеснява, да образува шийка и най-накрая да се затвори.

По-сложното явление на затваряне на повърхността се наблюдава, без да може да бъде обяснено изчерпателно. Силовата система на входа на кухнята възниква както от водните, така и от газовите потоци. В кавитационната кухня заради намиращите се в нея водни маси може да възникне голяма хидродинамична сила. Хидродинамичните сили в разпръскването са малки, защото участва малко вода. Пръскането обаче не може да бъде пренебрегвано, тъй като по този начин влияе значително на газовия поток в кухнята. Така три отделни потока - вход на кухнята, пръски и газ взаимодействат за да предизвикат затваряне на кухнята.

Основният хидродинамичен поток в кавитационната кухня първоначално е насочен навън, когато водата тече далеч от удара. Тогава повърхностното напрежение на течността и хидростатичните сили заедно ще се стремят да възстановят нарушената повърхност до нормалното ѝ състояние на покой. Силите на налягане създадени от

инерцията на потока на газа, който навлиза в кухнята, създават област с ниско налягане от долната страна на входа на кухнята. Повисокото атмосферно налягане, действащо отгоре, кара кухнята да се затвори.

Газовият поток произвежда налягане, пропорционално на атмосферната плътност. След това кавитационната кухня продължава да се разширява, докато хидростатичните сили и силите на повърхностно напрежение не възстановят повърхността до нормалното ѝ състояние на покой. При тези обстоятелства растежът на кухнята се прекратява чрез дълбоко затваряне.

Над повърхността бързо се издига пръстен от пръски. С течение на времето пръскането пада назад, уплътнява се към основата и силите на напрежение действат, за да затворят кухнята. На известна височина обвивката се затваря напълно и образува купол. По-горе силите на повърхностното напрежение оформят останалия воден пръстен в кръг от капчици. Куполът, затварящ кухнята, не е устойчив и може да бъде разрушен от потока газ в кухнята или може да се разнесе от струята, образувана от затварянето на „устните“ на кухнята. Неправилната повърхност на обвивката за пръскане след вертикално влизане показва, че пръскането е с променлива дебелина.

Косото влизане по своята същност предизвиква асиметрично изпръскване. По принцип затварянето на повърхността следва дълбоко затваряне по време на такива навлизания във водната среда.

Многобройни сили влияят върху затварянето на повърхността и затрудняват моделирането. Сред тези сили са повърхностното напрежение, вискозитетът на течността, вискозитетът на атмосферния газ, адхезивните сили между куршума и течността (определя се от състоянието на повърхността на куршума), газовите ядра в течността и чистотата на повърхността на течността.

При затваряне на кухнята се произвеждат водни струи насочени нагоре или надолу. Възходящите струи, образувани при дълбоко затваряне на кухнята са почти или точно вертикални, дори и за невертикални влизания, защото изходящата струя се причинява от сблъскване на водни маси при дълбоко затваряне в резултат на възстановяващото действие на хидростатичното налягане. Поради тази причина възходящи струи не се образуват при наклонено влизане под малък ъгъл. Спускащите се струи се появяват при затваряне на кухнята и на повърхността и в дълбочина.

#### **2.2.2.5. Затворена кухня.**

Крайните преходни ефекти от навлизането на вода се появяват по време на фазата на затворената кухня, когато системата куршум-кухия не е в пряк контакт с атмосферата. Кухията бавно се намалява, докато не се разпръсне изцяло от увеличащото действие на водата или докато не се изплъзне от куршума. Внезапното асиметрично изхвърляне понякога причинява груби промени в



посоката на движение на куршума. Четвъртата фаза приключва с изчезването на кухнята. Тогава възникват напълно омокрените или чисто кавитиращи потоци, които обикновено се срещат в хидродинамиката. В редки случаи не настъпва четвъртата фаза на навлизане на вода. Куршумът може да пробие, докато все още е обвит в кухня или отворената кухня може внезапно да се отдели от куршума скоро след нейното формиране, причинявайки значителна промяна в траекторията на куршума. [128]

Реакцията на водата и закъснителното ускорение зависят от условията на навлизане на вода и от формата и динамичните параметри на куршума.

Крайната траектория на куршум, преминаващ през вода, се влияе значително от нейното поведение в етапа на кухня. Камшикът,  $\Delta\theta$ , промяната в скоростта на наклона на куршума, докато върхът на носа навлиза във водата, може да се дължи на силния удар при воден удар и на силите, свързани с установяването на поток.

Два отделни механизма допринасят за камшик по време на наклонено влизане. По-важният е резултат от това, че долната част на носа се намокри първо, което води до небалансирани сили, които може да са доста големи. Силите идват не само от налягането на течността, но и от пониженото налягане в носната кухня (ефект на подналягане). Така определеният момент, приложен върху CG води до промяна в скоростта на терена, известна като камшик. Другият механизъм за производство на камшик възниква, когато куршумът навлезе във водата с ъгъл на атака,  $\alpha$ . Тогава силите на съпротивление, произвеждащи промяната в аксиалната скорост, допринасят за ударен момент около CG.

Камшикът е линейно зависим от скоростта на навлизане на водата,  $v$ , тъй като силите върху главата са пропорционални на  $v^2$ , и на времето, през което тези сили са небалансирани (действащи само на долната страна на главата) варира като  $1/v$ . По този начин импулсът ще варира като  $v$ . За глави със сферична форма (при малки ъгли на атака) трябва да има линейна зависимост на камшика от ъгъла на атака. Изчисляването на камшика изисква познаване на моментното разпределение на налягането над носа на куршума по време на навлизане на вода; в момента няма данни за това. [128]

След удара на водата и установяването на поток, куршумът обикновено изминава няколко дължини под повърхността на водата само с носа си в контакт с водата. През това време силата на съпротивление обикновено не действа през CG; моментът, в зависимост от конфигурацията на главата и размера на ъгъла на атака, е насочен към увеличаване или намаляване на наклона на куршума. По този начин ъгловото ускорение, произведено от момента на съпротивление, или добавя, или се изважда от камшика. [128]

При движението на куршума от момента на срещане на водната преграда са възможни два случая:

- куршумът продължава движението си във водата и под действие на силите на реакция на средата върху оживалната му част напуска водната повърхност и извършва рикошетно действие.

- увеличаването на силите на триене във водата в следствие на изменение хидродинамичните параметри на средата в резултат на навлизането на челната част на куршума и възникване на турбулентни потоци води до това, че куршумът има закъснително ускорение. При това значително се намалява енергията на куршума и тя не е достатъчна същият да бъде изтласкан в посока към повърхността на водната среда, при което движението му продължава под водната повърхност.

Нашата задача е да изследваме изменението на ускорението на куршума след среща с водната повърхност и да установим при какви негови стойности куршумът няма да извърши рикошетно действие. За тази цел нека разгледаме кинематиката на хидробалистичната задача за изследване на процеса на движението на куршума под водната повърхност.

Използвайки принципите на механиката нека приемем, че движението на куршума се извършва в правоъгълната координатна система и представим куршума като материална точка, то това движение може да бъде описано по следния начин. В момента на удара при време  $t$ , куршумът има координати  $(x; y)$ , а при излизането от водната повърхност при време  $t_2$ , координатите му са  $(x_2; y_2)$ , а радиусът на кривината на траекторията е  $r = f(R_{ог})$ . Тогава  $\Delta x = x_2 - x$ ,  $\Delta y = y_2 - y$  и  $\Delta t = t_2 - t$ . Следователно средната скорост по  $x$  ще бъде  $v_{срх} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ , а по  $y$  ще бъде  $v_{сру} = \frac{\Delta y}{\Delta t}$ . Средната скорост е

$$\vec{v}_{ср.} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (2.16),$$

Тя е векторна величина и има същата посока както преместването. Така въведената средна скорост не зависи от изминатия път, тъй като е пропорционална на преместването и се определя само от началната и крайна точка на движението.

Средната скорост като скаларна величина се определя чрез дължината на изминатия по траекторията път  $\Delta s$ , разделен на интервала от време  $\Delta t$ , за което той е изминат.

$$v_{ср.} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2.17)$$

Скоростта на една материална точка може да се изменя с течение на времето както по големина, така и по посока. Ако  $\Delta \vec{v}$  е изменението на скоростта за интервал от време  $\Delta t$ , то векторът

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (2.18)$$

е средното ускорение на куршума, което е физичната величина, характеризираща изменението на скоростта от  $t$  до  $t_2$ .

Тангенциалното ускорение на куршума, навлизащ във водна среда има вида:

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau} \quad (2.19)$$

и се определя от първата производна  $dv/dt$  на големината на скоростта  $v$  по времето  $t$ , т.е. то характеризира бързината, с която се изменя големината на скоростта. Когато скоростта нараства, тангенциалното ускорение е насочено по посока на единичния вектор  $\vec{\tau}$ , т.е. по посока на скоростта. Ако скоростта намалява, векторите  $\vec{a}_\tau$  и  $\vec{\tau}$  имат противоположни посоки – тангенциалното ускорение е насочено обратно на вектора на скоростта.

Нормалното ускорение на куршума, навлизащ във водна среда има вида:

$$\vec{a}_n = \frac{v_e^2}{R} \vec{n} \quad (2.20)$$

Нормалното ускорение е насочено по посока на единичния вектор  $\vec{n}$ , т.е. по нормалата към кривата на траекторията във водната среда.

Тъй като движението е криволинейно, следователно то може да се представи с две скорости - по тангентата и по нормалата към траекторията на куршума. Съответно това движение ще се характеризира и от две ускорения. За нуждите на изследването интерес представлява нормалното ускорение, което е закъснително и трябва да заема по-малки стойности за да има по-малка промяна на траекторията и по този начин да не позволява излизането на куршума от водната повърхност.

В изследването се предлага изменение на оживалната част на куршума чрез нарязване на пръстени, които предизвикват допълнително турболентно завихряне във водния слой, обтичащ куршума и по този начин значително се намалява ускорението на куршума и същият няма достатъчно енергия за да напусне водната среда.

Целта на изследването е чрез нарязване на пръстени по оживалната част на куршума, нормалното ускорение на куршума при движението му във вода да клони към нула и по този начин да бъде сведена до минимум кривината на траекторията на куршума, която би могла да създаде условия за възникване на рикошетно движение.

След проучване на въпроса относно отстоянието на радиалните пръстени от върха на куршума при анализа на достъпната литература [48][51], пръстенът следва да бъде изработен на разстояние  $L = 0,4 \cdot d$ , където:

$L$  – разстоянието на пръстена от върха на куршума [mm];

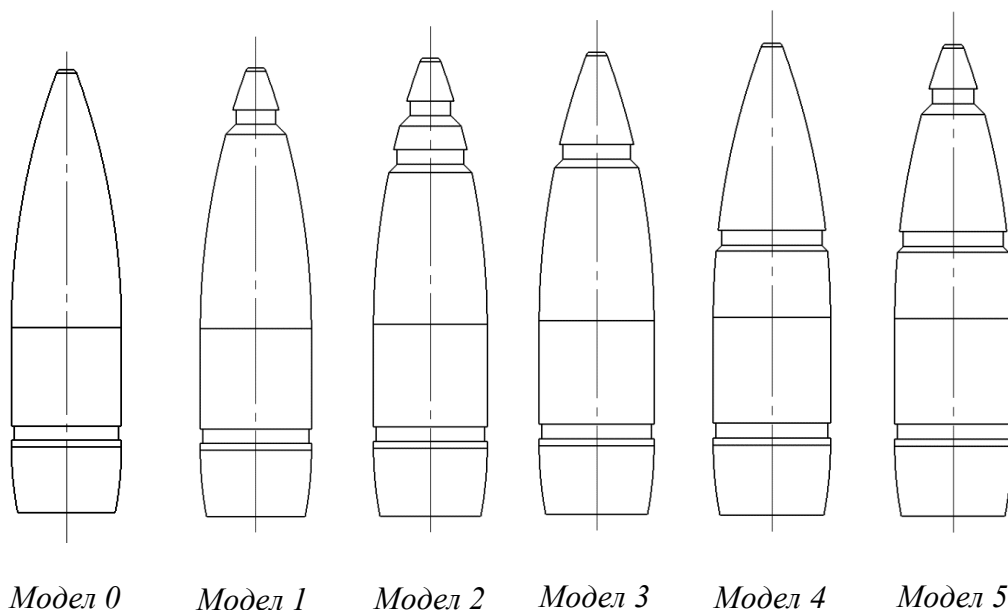
$d$  – калибър на куршума [mm].

За избрания боеприпас  $L=3,05$  мм.

Поради формата на куршума този пръстен при удар с водната повърхност при ъгли близки до  $0^\circ$  няма да контактува с водната среда и следователно не би бил ефективен. За да се изследва

влиянието на пръстените се прие да бъдат изработени още два пръстена по оживалната част на куршума и да се изследва влиянието на пръстените върху рикошетното действие на куршума при среща с водна среда. Отстоянието на пръстените от върха на носа се определи на база размерите на оживалната част. Тъй като на разстояние от 12,8 mm от върха на носа на куршума тялото на куршума става с цилиндрична форма, бяха приети разстоянията:

- 3 mm – на база на извършените изчисления;
- 6,4 mm – съответстващ на средата на оживалната част на куршума;
- 12,7 mm – съответстващ на края на оживалната крива.



Фиг. 2.6 Схема на моделите куршуми, използвани за експеримента.

Бяха изработени пет модела куршуми с един и два канала по оживалната им част (фиг. 2.6):

Модел 1: с един канал, разположен на 3 mm от върха на куршума.

Модел 2: с два канала, разположени на 3 mm и на 6,4 mm от върха на куршума.

Модел 3: с един канал, разположен на 6,4 mm от върха на куршума.

Модел 4: с един канал, разположен на 12,7 mm от върха на куршума.

Модел 5: с два канала, разположени на 3 mm и на 12,7 mm от върха на куршума.

Контролната серия е с фабричен куршум, определен като Модел 0.

Тъй като при навлизане във водата в резултат на високото съпротивление на триене между куршума и водата, ъгловата скорост на въртене рязко пада, при което жирокопичния ефект намалява до

пренебрежимо малки стойности и не оказва влияние на следващото движение на куршума.

Тъй като това е ускорение на куршума по кривината на траекторията.

$$a = \frac{v_e^2}{R} \quad (2.21)$$

където:

$v_e^2$  – квадрат на скоростта на куршума при влизане във водата.

$R$  – радиус на кривата на траекторията.

От формулата за  $BC_i$  (2.3) изразяваме стойността на скоростта на влизане  $v_{e_i}$ :

$$\sqrt{v_{e_i}} = \left( \sqrt{v_0} - \frac{K \cdot L}{BC_i} \right) \quad (2.22)$$

където:

$K$  – е константа на стойност 0,0052834

$v_0$  – начална скорост на куршума  $\left(\frac{m}{s}\right)$ ;

$BC_i$  – балистически коефициент за съответния модел куршуми;

$L$  – разстоянието от дулния срез до повърхността на водата (м),

$$L = \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right) \quad (2.23);$$

където

$h$  – височина на положението на дулния срез, спрямо водната повърхност [m];

$\alpha$  – ъгъл на наклона на цевта, спрямо водната повърхност [deg].

Замествайки в уравнение (2.21) получаваме:

$$\begin{aligned} a &= \frac{v_e^2}{R} = \frac{1}{R} \left( \sqrt{v_0} - \frac{K \cdot \frac{h}{\tan \alpha}}{BC_i} \right)^4 = \\ &= \frac{1}{R} \cdot \left[ \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right)^4 \cdot \left( \frac{K}{BC_i} \right)^4 - 4 \cdot \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right)^3 \cdot \left( \frac{K}{BC_i} \right)^3 \cdot v_0^{\frac{1}{2}} \right. \\ &\quad \left. + 6 \cdot \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right)^2 \cdot \left( \frac{K}{BC_i} \right)^2 \cdot v_0 + 4 \cdot \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right) \cdot \left( \frac{K}{BC_i} \right) \cdot v_0^{\frac{3}{2}} + v_0^2 \right] \end{aligned} \quad (2.24)$$

Извършвайки рационализиране на многочлена, получаваме:

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{R \cdot \tan^4 \alpha \cdot BC_i^4} \left( \tan^4 \alpha \cdot v_0^2 \cdot BC_i^4 - \tan^3 \alpha \cdot 4hK \cdot v_0^{\frac{3}{2}} \cdot BC_i^3 + \tan^2 \alpha \cdot 6h^2 K^2 \cdot v_0 \cdot BC_i^2 \right. \\ &\quad \left. - \tan \alpha \cdot 4h^3 K^3 \cdot v_0^{\frac{1}{2}} \cdot BC_i + h^4 K^4 \right) \end{aligned} \quad (2.25)$$

Физико-математически анализ на изведеното уравнение:

- С намаляването на стойността на балистичния коефициент (по-неблагоприятна аеродинамична форма), стойността на ускорението расте.

- При среща с водната повърхност при наклон равен на граничния ъгъл  $8,7^\circ$  стойността на ускорението на щатния куршум е  $720,4534 \text{ м/с}^2$ , при куршум с един канал, разположен на  $6.4 \text{ мм}$  е

717,6378 м/с<sup>2</sup>, при два канала, разположени на 3 и 12,7 мм е 709,186 м/с<sup>2</sup>.

- При среща с водната повърхност при наклон равен на граничния ъгъл 10,5 ° ускорението на щатния куршум стойността на ускорението е 722,2884 м/с<sup>2</sup>, при куршум с един канал, разположен на 6,4 мм е 719,9588 м/с<sup>2</sup>, при два канала, разположени на 3 и 12,7 мм е 712,9583 м/с<sup>2</sup>.

- При среща с водната повърхност при наклон равен на ъгъл 14 ° ускорението на щатния куршум стойността на ускорението е 724,523 м/с<sup>2</sup>, при куршум с един канал, разположен на 6,4 мм е 722,7867 м/с<sup>2</sup>, при два канала, разположени на 3 и 12,7 мм е 717,5626 м/с<sup>2</sup>.

### 2.3. Статистическо моделиране на рикошетното действие на куршум среден калибър за стрелково оръжие при среща с водна среда.

#### 2.3.1. Методи за математическо моделиране на рикошетното действие.

Статистическият анализ на получените в резултат на обработването на експерименталните данни математически модели от вида

$$\hat{y} = \sum_{i=0}^k b_i f_i(z) \quad (2.26)$$

представлява изключително важна страна на статистическите методи. Без задълбочен статистически анализ на основните междинни и крайни резултати не могат да се правят никакви изводи за изследвания обект, а още повече – да се използват тези резултати за изучаване, упражнение и оптимизация на обекта.

Необходимостта от провеждането на статистическия анализ се обуславя от факта, че при всяко реално изследване се използва ограничен брой експериментални данни (N-комплекта), които представляват извадка от генералната съвкупност на данни. Получените по тази извадка оценки  $b_0, b_1, \dots, b_k$  на коефициентите  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  на модела

$$\eta = \sum_{i=0}^k \beta_i f_i(z) \quad (2.27)$$

и на по-горния модел притежават някаква степен на достоверност, която трябва да се установи и съпостави с изискванията към модела. Възможна е и обратна постановка на задачата: да се определят условията (преди всичко броят N на наблюденията и тяхното разположение във факторното пространство), които осигуряват постигането на зададената точност при фиксирана степен на довереност. [2]

Предложения в т. 2.2.2 аналитичен модел на процеса на навлизане на куршума във водна среда описва процесът на навлизане

и движение във водна среда на куршум с модифицирана челна част. Потвърждаването на извършения анализ и получените изводи може да бъде извършено чрез прилагане на статистическо моделиране на процеса на навлизането и движението на куршума във водна среда като се използват статистическите наблюдения, получени от проведения физически експеримент чрез полигонни изпитания.

Моделирането на процесите на навлизането на куршума във водна среда дава възможност да се изследва влиянието на промяната на формата на куршума с цел намаляване на рикошетите на куршума от водна среда при запазване на балистичните му характеристики.

Математичните модели имат за цел да прогнозират поведението на изследвания обект (куршум от патрон с номенклатурен индекс 7,62 x 54 mm) в момента на удара му с водната повърхност. Физичната същност на разглеждания процес с характерните особености трябва да се опише математично с подходящия метод и изчислителни процедури. Съществуват различни видове математични описания, като най-разпространени са детерминиранияте и статистическите.

Детерминиранияте модели се строят на базата фундаментални теоретични закономерности, като законите на механиката, физиката, термодинамиката и др.

Статистическите модели се основават на обработката на експериментални данни.

Поради сложността на процеса на навлизане на куршума във водна среда, в анализираната литература не бе открит детерминиран модел, който да описва точно протичащите физикобалистични и механични процеси във функция от формата, скоростта и траекторията спрямо водната повърхност на куршума. В настоящия труд е приложен статистическият метод на моделиране, който позволява да се получи зависимост между факторите и параметрите независимо от физическата същност на навлизането на куршума във водна среда.

Изследвания обект (куршум на патрон 7,62x54 mm) се характеризира със своите геометрични параметри. С помощта на събраните данни се определят коефициентите на зависимостта между входните и изходните параметри на процеса на навлизане и движение на куршума във водна среда. Дефинира се вектор на състоянията, чиито елементи определят реалния процес на навлизане и движение на куршума във водна среда. Получените зависимости да позволяват не само интерполация, но и екстраполация на резултатите въз основа на избрания модел. Разработеният модел да е адекватен на процеса на навлизане и движение на куршума във водна среда съгласно предварително избран критерий.

При съставянето на математичния модел са възможни следните варианти:

- 1) Математичният модел е съставен като структурни

отношения на физичните величини, но не са известни стойностите на коефициентите. Тогава е необходимо да се извършват експерименти за тяхното определяне.

2) Моделът може да бъде създаден от една от функциите

$$J_i(x, \theta) (i = 1, 2, \dots, I)$$

където:  $\theta$  – е параметър на процеса;

$x$  – е фактор на процеса.

Необходимо да се проведат експерименти за уточняване на модела и се определят неизвестните параметри.

3) Аналитичният вид на модела е неизвестен.

Движението на куршума във водна среда има случаен характер [109] Поради сложността на протичащия процес на движение на куршума от водна среда в достъпната литература не е известна точна зависимост между ъгъла склучен между траекторията на куршума и водната повърхност, скоростта на куршума в момента на удара с водната повърхност и формата на куршума. Взаимодействието на атмосферно налягане, плътност на водата, ъгъл на наклона на траекторията на куршума към повърхността, допълнително движение (течение) на флуида, скорост на куршума, форма на куршума и др., които съпровождат процеса на движение на куршума от водна среда очертават сложна схема на движение. Ако се отчете и влиянието на външните фактори (като: абразивно износване на ризницата на куршума при движението си в канала на цевта, деформация на куршума при удар с водната повърхност, висока влажност с повишено съдържание на соли във въздуха и т.н.), то процесът на навлизане ще има още по-неопределен характер. Поради изложените причини не може да бъде съставен точен аналитичен модел, който да отразява сложната зависимост на рикошет на куршума от водна среда.

### **2.3.2. Избор на модел за статистическо моделиране**

На базата на направения анализ в глава първа и възможностите на математичния апарат на статистическото моделиране в настоящия дисертационен труд се предлага моделирането да се извърши в съответствие с втория вариант. При този вариант статистическият модел отразява взаимодействието между изследваните случайни величини, тъй като не е възможно да се елиминират външните фактори или да се поддържат постоянни.

За да се реализира процесът на статистическо моделиране съобразно избрания вариант, е създадена база от данни посредством провеждане на експеримент на територията на Централен артилерийски технически изпитателен полигон - Змейово. Статистическите данни са събрани от проведени експерименти с балистична цев, монтирана на станок „Баринов“ при стрелба с различните модели куршуми по мишени за проверка на групираността на стрелбата, разположени на 100 метра и по водна



повърхност при различни ъгли на склонение и регистриране на рикоширалите куршуми от плаваща мишена.

За съставянето на математичния модел са използвани метода на регресионния анализ и метода за статистическа оценка на неизвестните параметрите на моделите, чрез намиране на съответните точкови оценки.

Променливи величини са: Ускорението на куршума при влизане във водната среда –  $Y$  и ъгълът на склонение към водната повърхност  $X$  (ъгълът, сключен между допирателната към траекторията на куршума и водната повърхност). Те са статистически зависими по между си, тъй като изменението на едната води до изменение на другата. Основни величини за определяне в регресионния анализ са видът на регресионното уравнение и неговите коефициенти  $\beta_{1,2}$ . Регресионната зависимост между  $x$  и условното математично очакване  $M(Y|X=x)$  [2][9][10][20]

$$M(Y|X = x) = \int_{-\infty}^{+\infty} yf(y|x)dy \quad (2.28)$$

позволява да се изследва статистическата зависимост между големината на износването и количеството произведени изстрели.

Условното математично очакване  $M(Y|X=x)$  зависи от избрания теоретично-вероятностен модел.

Моделът на регресията във вида

$$M(Y|X = x) = \varphi(x) \quad (2.29)$$

позволява да се прогнозира стойностите на условното математично очакване на  $Y$  по значенията на  $X=x$ . За да се изпълни процедурите регресионния анализ и прогнозира изменението на износването е необходимо да се познава разпределението на случайната величина  $(X, Y)$ . От анализа на литературата [39][87][89][128] показва, че процесът на навлизане на куршума във водна среда или статистическата зависимост между величините  $X, Y$  е непрекъсната и параметърът  $Y$  е нормално разпределена случайна величина за всяка стойност на  $X$ .

В дисертационния труд е разгледана база от данни с обем  $n$  измервания от направения експеримент. Изразяват се резултатите от експеримент  $(x_i, y_{ij})$ , където  $i=1, 2, 3, \dots, n$  и  $j=1, 2, 3, \dots, t$  във вид на точки в декартова координатна система, и се получава графичната форма на систематизация на статистическите данни (корелационно поле). На базата обема  $n$  на извадката от статистически данни е необходимо да се оцени функцията на регресионния модел и прогнозира условното математично очакване на случайната величина  $Y$  съответстваща на определени стойности на случайната величина  $X=x$ . Величината  $X$  може да приема и неслучайни стойности [83][109]. За оценка на функцията на модела се използва приблизителната емпирична функция на регресия или уравнение на регресия от втори род която по най-подходящия начин в смисъла

на избран критерий, да се приближава до неизвестния модел на регресия  $M(Y|X = x) = \varphi(x)$ . В общия случай регресионната зависимост може да бъде записана във вид на полином

$$\hat{y} = af_1(x_1) + bf_2(x_2) + cf_3(x_3) \quad (2.30)$$

където  $a, b, c \dots$  - са параметри на модела или оценки на регресионните коефициенти.

За да се подбере класа на емпиричните функции на регресия описващи процесът на износване е необходимо да се изпълни следната последователност от операции:

- 1) анализ на опита и изследванията на известни автори;
- 2) анализ на топлофизичните, химичните и механични процеси съпътстващи процесите на изстрела и рикошета на куршума от водната среда;
- 3) визуална оценка на координатите на статистическите резултати от измерванията в корелационното поле;
- 4) анализ на получените при  $n$  независими опита резултати  $(x_i; y_{ij})$  с отчитане на конкретните условия на експеримента.

Като се има предвид натрупания опит в анализираната литература и физико-балистическата същност на процеса на навлизане на куршума във водна среда, графичната интерпретация на зависимостта “брой канали и отстояние от върха на куршума-количество нерикоширали куршуми” има вид на параболична или степенна крива. Математичното моделиране на ускорението на куршума чрез уравнения на функции от по-висок ред, в частност чрез еднофакторни модели на нелинейна регресия, се оказва значително по-адекватно в сравнение с линейното апроксимиране на процеса.

Необходимо е да се избере най-подходящия тип крива, която най-точно да опише изследваната зависимост, тъй като разнообразието от нелинейните зависимости е твърде голямо. В настоящия труд се разглеждат няколко вида полиноми. Оценките на коефициентите на тези полиноми в регресионния анализ се определят чрез метода на най-малките квадрати (МНК) [2]. С МНК се получават оценки, които са състоятелни, неизместени и ефективни.

- Първо функционално уравнение

$$\hat{y}_{x_1} = ax \quad (2.31)$$

За определяне на коефициентите на регресионното уравнение (2.36) е съставено нормално линейно уравнение

$$\sum_{i=1}^n y_i = a \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.32)$$

- Второ функционално уравнение

$$\hat{y}_{x_2} = ax^2 + bx + c \quad (2.33)$$

За определяне на коефициентите на регресионното уравнение (2.38) е съставена система от двенормални уравнения.

$$\left| \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n y_i x_i = b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 = b \sum_{i=1}^n x_i^2 + a \sum_{i=1}^n x_i^3 \end{array} \right. \quad (2.34)$$

- Трето функционално уравнение

$$\hat{y}_{x_3} = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (2.35)$$

За определяне на коефициентите на регресионното уравнение (2.40) е съставена система от тринормални уравнения

$$\left| \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n y_i x_i = b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 = b \sum_{i=1}^n x_i^2 + a \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^3 = c \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + a \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{array} \right. \quad (2.36)$$

- Четвърто функционално уравнение

$$\hat{y}_{x_4} = ae^{bx} \quad (2.37)$$

За определяне на коефициентите на регресионното уравнение (2.42) е съставена система от двенормални уравнения

$$\left| \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n x_i \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 \end{array} \right. \quad (2.38)$$

- Пето функционално уравнение

$$\hat{y}_{x_5} = ae^{bx} + ce^{dx} \quad (2.39)$$

За определяне на коефициентите на регресионното уравнение (2.44) е съставена система от четири нормални уравнения

$$\begin{cases}
 \sum_{i=1}^n x_i \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + \ln c \sum_{i=1}^n x_i + d \sum_{i=1}^n x_i^2 \\
 \sum_{i=1}^n x_i^2 \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + \ln c \sum_{i=1}^n x_i^2 + d \sum_{i=1}^n x_i^3 \\
 \sum_{i=1}^n x_i^3 \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^4 + \ln c \sum_{i=1}^n x_i^3 + d \sum_{i=1}^n x_i^4 \\
 \sum_{i=1}^n x_i^4 \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^5 + \ln c \sum_{i=1}^n x_i^4 + d \sum_{i=1}^n x_i^5
 \end{cases} \quad (2.40)$$

Тези системи винаги са определени и несъвместими и позволяват да се определят коефициентите на полинома на процеса на рикошет. Решаването на системите нормални уравнения е свързано с изчислителни трудности, поради което резултатите се получават чрез прилагането на софтуерен продукт „Matlab 7.0”.

След определяне на оценките на коефициентите се извършва статистически анализ на регресионното уравнение. Изпълняват се редица процедури за проверка на хипотези, като проверка на хипотезата за адекватност на регресионното уравнение, проверка на хипотезата за значимост на коефициентите в регресионното уравнение, определяне на доверителни интервали и др. [2][20][45].

#### **Изводи:**

1. Броят на каналите, изработени върху оживалната част на куршума, не оказва съществено влияние върху балистическия коефициент. Големината на балистическия коефициент зависи в по-голяма степен от отстоянието на по-отдалечения канал от върха на куршума.

2. Позицията на куршума във водната кухня се влияе съществено от камшика, което определя дали подводната траектория ще бъде насочена нагоре към повърхността, надолу или по права линия.

3. Ударът на куршума във водната повърхност и движението в кавитационната кухня не само влияе върху подводната траектория и ъгловия импулс, но е възможно да причини повреди по корпуса на куршума.

4. Изведеното уравнение (2.25) описва връзката между ускорението на куршума при удар с водната повърхност в зависимост от ъгъла на наклона на траекторията в момента на удара и балистическия коефициент на съответния модел куршум.

5. Предложените функционални уравнения 2.31; 2.33; 2.35; 2.37 и 2.39, получени в резултат на обработените статистически данни от приложния софтуерен продукт описват функцията на изменение на ускорението на куршума при удар във водната

повърхност в зависимост от ъгъла на наклона на траекторията на куршума спрямо водната повърхност в момента на удара.

### **Глава III ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ФОРМАТА НА КУРШУМА ВЪРХУ РИКОШЕТНОТО МУ ДЕЙСТВИЕ ПРИ СРЕЩА С ВОДНА СРЕДА**

**3.1. Изследване на влиянието на формата на куршума върху групираността на стрелбата, изменението на скоростта и рикошетното действие във водна среда.**

#### **3.1.1. Определяне на групираността на 7,62x54 mm патрони**

Изпитването е извършено с цел проверка функциониране на 7,62x54 mm патрони след промяна на формата на куршума им с цел намаляване на рикошетното му действие. При изпитването се контролира изменението групираността на попаденията по хоризонталната и вертикалната оси на мишената.

Изпитването се извършва с по 20 изстрела с боеприпаси от всяка модификация на куршума.

#### **3.1.2. Изследване на изменението на скоростта на 7,62x54 mm патрони**

Изпитването се извършва с цел проверка функциониране на 7,62x54 mm патрони след промяна на формата на куршума им с цел намаляване на рикошетното му действие. При изпитването се контролира изменението на скоростта на куршума на разстояние 25 метра от дулния срез.

Измерването се извършва с измервателна апаратура, осигурена от ЦАТИП чрез 20 изстрела с боеприпаси от всяка модификация на куршума.

#### **3.1.3. Изследване на рикошетното действие на 7,62x54 mm патрони**

Изпитването е извършено с цел проверка на рикошетното действие на 7,62x54 mm патрони след промяна на формата на куршума им. При изпитването се контролира броят куршуми рикоширали от водната повърхност при различни ъгли на падане от 1° до 15° спрямо хоризонталната равнина. Установяват се по броя пробойни върху щита за съответната серия;

Изпитването се извършва с по 20 изстрела с боеприпаси от всяка модификация на куршума.

#### **3.2. Постановка на експеримента.**

За осигуряване на изпълнението на експеримента е необходимо да се решат следните задачи:

1. Избор на боеприпас.
2. Изработване на технологично оборудване за обработка на куршумите - проектиране и изработване на нестандартен режещ инструмент и нестандартно приспособление за захващане на опитния образец.
3. Изработване на канали.

4. Изработване на мишена.
5. Изработване на стойка за стрелба от брега на водния басейн.
6. Осигуряване с измервателни средства.

### **3.2.1. Общи положения**

**Целта на изследването** е да се установят зависимостите:

- влиянието на формата на куршума върху рикошетното му действие във водна среда,
- групираността на попаденията на куршумите на 7,62x54 mm патрони със стоманен сърдечник при единична стрелба.
- промяната на скоростта на куршума на 7,62x54 mm патрон със стоманен сърдечник, измерена на 25 метра от дулния срез при единична стрелба.

Необходимо е да се вземе предвид следното:

- изследването е проведено на Централен артилерийски технически изпитателен полигон (под. 26940 – Стара Загора) – резултатите са отчетени с протоколи с рег. № 3–18/04.01.2021 г. и рег. № 3–2280/13.12.2021 г.;
- в изследването са взели участие специалисти от НВУ „В.Левски” и в.ф. 26940 – Стара Загора.

### **Задачи на изследването:**

- експериментално да се изследва зависимостта влиянието на формата на куршума върху рикошетното му действие във водна среда при различни ъгли на влизане във водата при единична стрелбата;
- експериментално да се изследва групираността на попаденията на 7,62x54 mm патрони със стоманен сърдечник при единична стрелба;
- експериментално да се изследва скоростта на куршума на 7,62x54 mm патрони със стоманен сърдечник на 25 метра след напускане на цевта при единична стрелба;

**Мястото за провеждане на изследването** – полигон и воден басейн във в.ф. 26940 – Стара Загора.

### **3.2.2. Условия, при които се провежда изследването**

Условията, при които се провежда изследването, е необходимо да осигуряват:

- Стрелбата да се извършва при благоприятни метеорологични условия (нормални атмосферни условия) – ясно и безветрено време или в закрити стрелбища; температура на околния въздух  $15^{\circ} \div 20^{\circ}$ ; относителна влажност на въздуха  $65 \pm 5\%$  в съответствие с ISO 554-1976. Ако условията, при които се провежда изследването са различни, същите да бъдат записани в протокола;
- стрелбата по водна повърхност да се извърши от станок за балистични цеви „Баринов“, монтиран върху специално изработена за експеримента стойка с четири регулируеми опори, поставена на брега на водния басейн в непосредствена близост до водата;

- стрелбата за изследване промяната на скоростта на куршума на 25 м от дулния срез да се извърши от станок за балистични цеви „Баринов“, монтиран върху бетонен фундамент;
- стрелбата за изследване на групираността да се извърши от станок за балистични цеви „Баринов“, монтиран върху бетонен фундамент;
- бойните припаси да са основните за образца въоръжение, нови, изправни, от една партия и година на производство, с цел да се намали влиянието на причините, предизвикващи разлика в началните скорости на излитане на куршумите;
- темперирването на бойните припаси да се извърши в помещение с постоянна температура в продължение на 24 часа преди извършване на стрелбата, като боеприпасите не се изваждат от стандартната им опаковка;
- изпитанието да се извърши чрез стрелба със 7,62 мм балистична цев, предназначена за патрони и 7,62x54 mm;
- разстояние на стрелбата – 100 m (мерено от дулния срез на цевта до щита с мишената);
- ъгъл на наклон на цевта – 0° спрямо хоризонталната равнина;
- да се извършва охлаждане на цевта след произвеждането на всеки 40 изстрела.

### **3.2.3. Ред за извършване на експеримента за влиянието на формата на куршума върху рикошетното му действие във водна среда.**

#### **3.2.3.1. Подготовка на оръжието и боеприпасите.**

#### **3.2.3.2. Извършване на експериментална стрелба.**

Резултатите от регистрираните рикошети се записват в дневника на ръководителя на стрелбата, а след приключване на експеримента се описват в Протокол от проведени полигонни изпитвания.

### **3.2.4. Ред за извършване на експеримента за скоростта на куршума на 7,62x54 мм патрони със стоманен сърдечник на 25 метра от дулния срез при единична стрелба.**

#### **3.2.4.1. Подготовка на оръжието и боеприпасите**

#### **3.2.4.2. Извършване на експериментална стрелба**

Резултатите от попаденията се записват в дневника на ръководителя на стрелбата, а след приключване на експеримента се описват в Протокол от проведени полигонни изпитвания и са представени в Таблица 3.1

Таблица 3.1.

Боеприпас /вид/, партида	7,62 x 54 мм патрони Г 13-80-10					
Температура на въздуха	15°C					
Температура на заряда, темперирани в продължение на 24 часа	18°C					
Номер на модела на групата изстрели	0	1	2	3	4	5
Изстреляни боеприпаси	20	20	20	20	20	20
Измерена скорост на 25 м $V_{25}$ [m/s]	828	826	824	827	816	811

**3.2.5. Ред за извършване на експеримента за групираността на попаденията на 7,62x54 мм патрони със стоманен сърдечник при единична стрелба.**

**3.2.5.1. Подготовка на оръжието и боеприпасите**

**3.2.5.2. Извършване на експериментална стрелба**

Резултатите от попаденията се записват в дневника на ръководителя на стрелбата, а след приключване на експеримента се описват в Протокол от проведени полигонни изпитвания.

**3.3. Изработване на физически модел на куршум, формиращ минимално рикошетно действие във водна среда.**

**3.3.1. Описание на физическите модели.**

В изпълнение на целите, поставени в дисертационния труд за провеждане на експеримента са изработени пет модела куршуми от патрон 7,62X54 с радиални канали разположени на определени отстояния от върха на куршума по оживалната част на носа както следва:



Модел 0    Модел 1    Модел 2    Модел 3    Модел 4    Модел 5

*Фиг. 3.1. Модели куршуми. Модел 1: с един канал, разположен на 3 мм от върха на куршума, Модел 2: с два канала, разположени на 3 мм и на 6,4 мм от върха на куршума, Модел 3: с един канал, разположен на 6,4 мм от върха на куршума, Модел 4: с един канал, разположен на 12,7 мм от върха на куршума, Модел 5: с два канала, разположени на 3 мм и на 12,7 мм от върха на куршума.*

Заедно с модифицираните куршуми се стреля контролна серия с фабричен куршум, определена като Модел 0.

За изработване на радиалните канали с определен профил по оживалната част на куршума се използва стругарски нож с твърдосплавна пластина, върхът на който е заточен с форма като профила на канала.

Дълбочината на канала е определена на 0,25 мм, предвид дебелината на ризницата на куршума от 1 мм, за да не се получи разрушаване на ризницата при изстрел в следствие на големите сили,



действащи на куршума при движението му в канала на цевта и при удар в целта.

### **3.3.2. Определяне на режими на рязане.**

### **3.3.3. Технологично оборудване**

За изработване на каналите, формиращи кавитационна кухина при удар с водна повърхност е използвана универсална металорежеща машина. Проектиран е и е изработен специално заточен по формата на канала нож. Проектирано е и е изработено нестандартно приспособление - цангов дорник по размерите на гилзата на боеприпаса с устойчиво фиксиране на патрона за дулцето на гилзата, като венецът опира в задния край на дорника.

### **3.3.4. Масова характеристика на куршум с променена оживална част.**

Изчисленията показват, че най-голямата разлика в масата, която се получава, е по-малка от половината на допуската в разликите на масите на куршума и при усреднена стойност на масите на фабричните куршуми, масата на преработените куршуми остава в допуските за маса на боеприпаса с номенклатурен индекс 7,62x54 mm.

### **3.4. Изработване на плаваща мишена за регистриране на рикошети на куршуми от водна среда.**

За отчитане на рикошетите от водна среда е проектирана и изработена плаваща мишена с щит със закрепен на него фазер с размери 1,7 m x 1,5 m.

### **3.5. Изработване на регулираща стойка за закрепване на станок „Баринов“.**

За устойчивото закрепване на станок „Баринов“ е изработена стойка, която позволява устойчиво фиксиране на станок, хоризонтирането му и стабилното му състояние на брега на водния басейн.

### **3.6. Резултати от експерименталното изследване.**

#### **3.6.1. Определяне на резултатите на групираността на стрелбата във функция на формата на куршума.**

Стрелбата се извършва от балистична цев, монтирана на станок „Баринов“.

Определя се групираността на 100 m от дулния срез за използваната партия боеприпаси и използваната балистична цев чрез произвеждането на 20 изстрела с всеки модел куршуми.

За стойност на групирането се приема по-голямата стойност от двете измерванията по хоризонталната и вертикалната оси.

#### **3.6.2. Определяне на резултатите на изменението на скоростта във функция на формата на куршума.**

Стрелбата се извършва от балистична цев, монтирана на станок „Баринов“.

Определя се скоростта куршума на 25 m от дулния срез за използваната партия боеприпаси и използваната балистична цев чрез

произвеждането на 20 изстрела с всеки модел куршуми, с апаратура за измерване скоростта на куршума Drello Bal 4040 и WEIBEL SCIENTIFIC WinDopp 1.5.50.29.

### **3.6.3. Определяне на резултатите на рикошетното действие във водна среда във функция на формата на куршума.**

Регистрирането на резултатите се извършва след преброяване на броя на попаденията по мишенните листи, поставени върху щита на плаващата мишена.

#### **Изводи:**

1. На базата на проведени теоретични изследвания и опита от полигонната практика е съставена методика за полигонни изпитвания за изследване на влиянието на формата на куршума върху групираността на стрелбата, изменението на скоростта и рикошетното действие във водна среда.

2. Проектираните и изработени технологични приспособления за изработване на канали за изменение на геометричната форма на куршума, мишена за регистриране на рикошети на куршумите от водна среда, стойка с приспособления за устойчиво закрепване на станок „Баринов“ на брега на воден басейн осигуряват успешното изпълнение на експеримента.

3. Изработените канали върху оживалната част на преработените куршуми оказват влияние на скоростта на движението им, измерена на 25 метра от дулния срез, като каналите по оживалната част, най-отдалечени от върха на куршума (модел 4 и 5) намаляват в най-голяма степен скоростта.

4. При ъгъл на удара  $2^\circ$  се наблюдава увеличаване на височината на рикошетите на преработените куршуми в сравнение с тези, получени при стрелба със стандартен боеприпас, което показва, че преработените куршуми не отскачат от водната повърхност, а навлизат във водната среда, след което рикошират с ъгли на рикошет, по-големи от ъгълът на среща с водната повърхност.

5. При ъгли на склонение между  $2^\circ$  и  $8,8^\circ$  за щатните куршуми и между  $1^\circ$  и  $8,7^\circ$  за модифицираните куршуми се наблюдава рикошетно действие след навлизане във водната среда.

6. При ъгли на склонение от  $8,8^\circ$  за щатните куршуми и от  $8,7^\circ$  за модифицираните куршуми рикошетите започват да намаляват и куршумите остават под водната повърхност.

7. При ъгли на склонение над  $15^\circ$  за щатните куршуми и над  $14^\circ$  за модифицираните куршуми, отсъстват рикошети и всички куршуми остават под водната повърхност.

## **Глава IV ОБРАБОТКА НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ОЦЕНКА НА АДЕКВАТНОСТТА НА МОДЕЛА**

### **4.1. Определяне на необходимият минимален брой опитни данни.**

След извършване на изчисленията, за минимален брой опитни данни получихме  $b=12,665$ . Избраните брой изстрели в сериите е 20

патрона за модел за серия, което удовлетворява необходимия минимален брой опитни данни.

#### 4.2. Критерий за оценка на адекватността на моделите.

При моделирането на многофакторните обекти голямо значение имат две оценки, които по време се получават преди или паралелно с основния експеримент и предхождат математическото обработване на експерименталните данни: оценката на дисперсията на еквивалентното смущаващо въздействие  $\varepsilon$  и оценката на управляемостта на обекта. Първата от тези оценки играе значителна роля при провеждането на цялостния статистически анализ на модела, а втората се използва за оценяване целесъобразността от моделирането.

#### 4.3. Статистически модел на процеса на навлизане на куршума във водна среда.

Статистическия модел на процеса на навлизане на куршума във водна среда представлява многофакторен регресионен модел, в сравнение с приетия статистически модел при нормални условия на стрелба. Но поради сложността на количественото отчитане поотделно влиянието на всеки един от факторите от класа *климатични и други природни* е приложен еднофакторен модел, в който целия процес на навлизане на куршума във водна среда е представен комплексно като един фактор.

Направени са експерименти, отчитащи броя на рикошетите на куршумите от водна среда при стрелба под различни ъгли на склонение към водната повърхност с различни модели куршуми, върху оживалната част на които има изработени радиални канали. Статистическите данни от експеримента са представени в табл. 4.1, Приложение 4.

При моделирането на процеса на навлизане на куршума във водна среда са използвани същите емпиричните зависимости като в т. 2.2, които имат вида

$$\hat{y}_{x_1} = ax \quad (4.20)$$

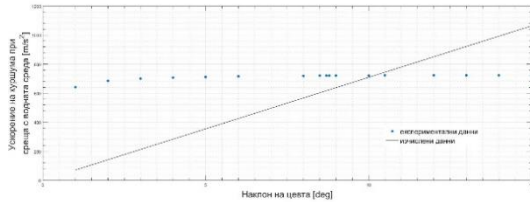
$$\hat{y}_{x_2} = ax^2 + bx + c \quad (4.21)$$

$$\hat{y}_{x_3} = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (4.22)$$

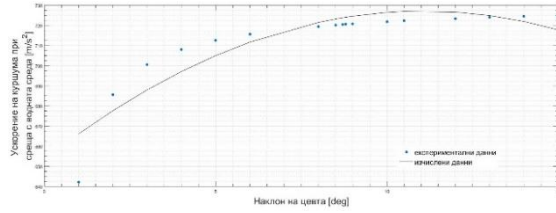
$$\hat{y}_{x_4} = ae^{bx} \quad (4.23)$$

$$\hat{y}_{x_5} = ae^{bx} + ce^{dx} \quad (4.24)$$

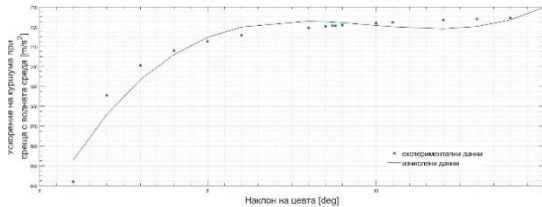
За обработване на данните е използван софтуерния продукт “Matlab - version 7.0”. Приложената процедура за регресионен анализ на статистическите данни и избор на най-подходящия модел е описана подробно в глава II, т. 2.2. Получените резултати за оценките на коефициенти на регресионните уравнения (4.20, 4.21, 4.22, 4.23 и 4.24) са посочени в таблици (4.1, 4.2, 4.3, 4.4 и 4.5) и графиките им са посочени на фигури (фиг. 4.1, фиг. 4.2, фиг. 4.3, фиг. 4.4 и фиг. 4.5).



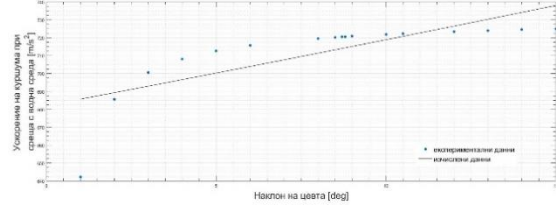
Фиг. 4.1. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по първо регресионно уравнение  $\hat{y}_{x_1} = 70,92x$  данни.



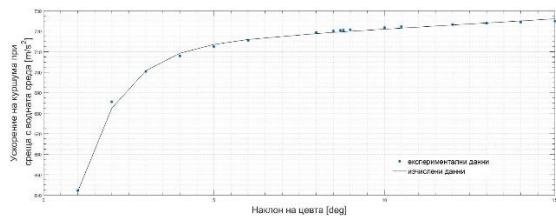
Фиг. 4.2. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по второ регресионно уравнение  $\hat{y}_{x_2} = -0,6023x^2 + 13,3x + 653,4$  данни.



Фиг. 4.3. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по трето регресионно уравнение  $\hat{y}_{x_3} = 0,1178x^3 + (-3,471)x^2 + 32,65x + 623,5$  данни.



Фиг. 4.4. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по четвърто регресионно уравнение  $\hat{y}_{x_4} = 682,1e^{0,005266x}$  данни.



Фиг. 4.5. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по пето регресионно уравнение  $\hat{y}_{x_5} = 711,2e^{0,001387x} + (-162)e^{(-0,847)x}$  данни.

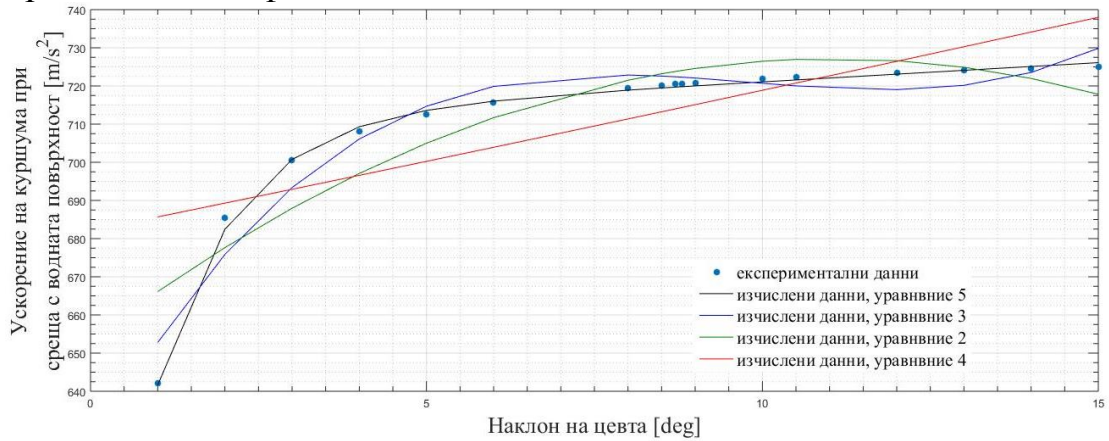
#### 4.4. Модел на рикошетното действие на обикновен куршум среден калибър за стрелково оръжие.

Направеният експеримент и установената интензивност на рикошетите на куршума от водна среда при различни ъгли на среща с водната повърхност ни дава основание да се извърши статистическо моделиране на процеса на навлизане на куршума във водна среда. Чрез прилагане теорията на статистическия анализ може да се установи точността на оценките получавани от модела. Оценка на получените модели се осъществява на базата на показателите дадени в таблица 4.6

Таблица 4.6

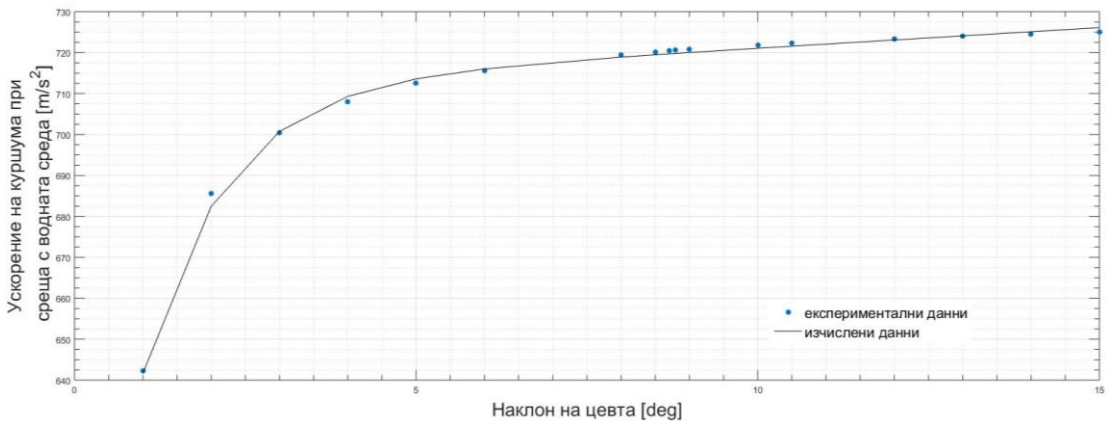
Вид на модела	SSE	R-square	DFE	Adj R- sg	RMSE
$\hat{y}_{x_1} = ax$	$1,559 \cdot 10^6$	-225,5501	16	-225,5501	312,1502
$\hat{y}_{x_2} = ax^2 + bx + c$	$1,1475 \cdot 10^3$	0,8332	14	0,8094	9,0534
$\hat{y}_{x_3} = ax^3 + bx^2 + cx + d$	372,6916	0,9458	13	0,9333	5,3543
$\hat{y}_{x_4} = ae^{bx}$	$2,9343 \cdot 10^3$	0,5736	15	0,5452	13,9863
$\hat{y}_{x_4} = ae^{bx} + ce^{dx}$	15,3713	0,9978	13	0,9973	1,0874

Сравнените експериментирани регресионни уравнения са представени на фиг. 4.6.



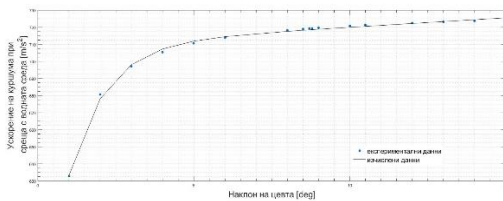
Фиг. 4.6. Графично сравнение на моделите в зависимост от експерименталните данни.

На основание на изчислените оценки, регресионното уравнение (4.24) се приема за математически модел, описващ връзката на ускорението на влизането на куршума във вода и ъгъла на среща с водната повърхност.

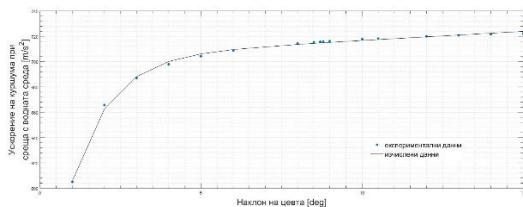


Фиг. 4.7. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по регресионното уравнение  $\hat{y}_{x_5} = 711,2 \cdot e^{0,001387x} + (-162)e^{(-0,847)x}$  данни за стандартен боеприпас.

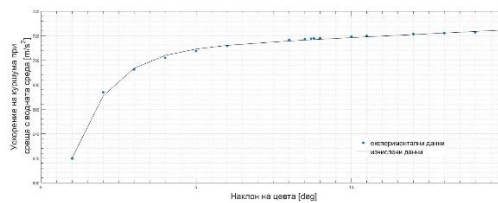
#### 4.5. Модел на рикошетното действие на куршум среден калибър за стрелково оръжие с изменена геометрия на оживалната част



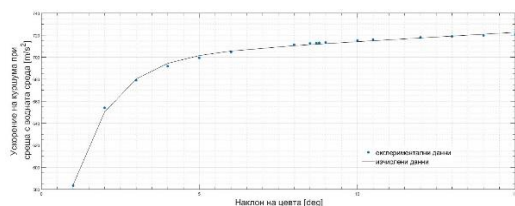
Фиг. 4.8. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по регресионното уравнение  $\hat{y}_{x_5} = 709,1 \cdot e^{0,001536x} + (-178,2)e^{(-0,8438)x}$  данни за боеприпас, Модел 1, с изменена геометрия на оживалната част с канал на 3 мм от върха на куришума.



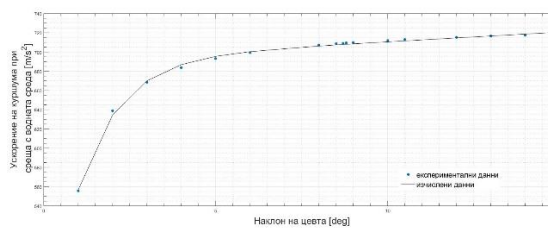
Фиг. 4.9. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по регресионното уравнение  $\hat{y}_{x_5} = 702,7 \cdot e^{0,001992 \cdot x} + (-226,3)e^{(-0,8339)x}$  данни за боеприпас, Модел 2, с изменена геометрия на оживалната част с канали на 3 мм и 6,4 мм от върха на куршума.



Фиг. 4.10. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по регресионното уравнение  $\hat{y}_{x_5} = 706,1 \cdot e^{0,001748 \cdot x} + (-200,9)e^{(-0,8392)x}$  данни за боеприпас, Модел 3, с изменена геометрия на оживалната част с канал на 6,4 мм от върха на куршума.



Фиг. 4.11. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по регресионното уравнение  $\hat{y}_{x_5} = 697,6 \cdot e^{0,002352 \cdot x} + (-262,8)e^{(-0,8261)x}$  данни за боеприпас, Модел 4, с изменена геометрия на оживалната част с канал на 12,7 мм от върха на куршума.



Фиг. 4.12. Сравняване на експерименталните данни с изчислените по регресионното уравнение  $\hat{y}_{x_5} = 691 \cdot e^{0,002813 \cdot x} + (-308,6)e^{(-0,8158)x}$  данни за боеприпас, Модел 5, с изменена геометрия на оживалната част с канали на 3 мм и 12,7 мм от върха на куршума.

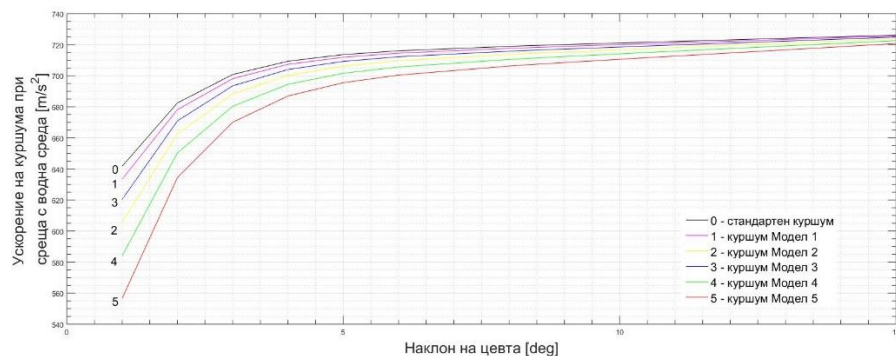
#### 4.6. Сравнителен анализ на изследваните уравнения на процеса на навлизане във водна среда.

При извършване на сравнителен анализ на изследваните уравнения на изменението на ускорението се наблюдават следните зависимости:

- При един градус наклон на цевта стойностите на ускорението при среща с водна среда на различните модели куршуми с променена геометрия на оживалната част са различни, като най-висока е стойността на ускорението на стандартните куршуми.

- При наличие на един канал стойността на ускорението е по-голяма от тази на куршума с два канала (ускорението на куршум с канали на 3 и 6,4 мм от върха на куршума Модел 2, е по-малко от ускорението на куршуми Модел 1 и Модел 3 с един канал на указаните отстояния от върха на куршума. Същото се отнася и за куршум с канали на 3 мм и на 12,7 мм, Модел 5).

- С увеличаване на ъгъла на среща с водната повърхност, разликата в ускоренията на моделите намалява.

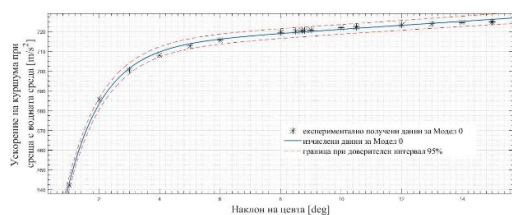


Фиг. 4.13. Сравняване на изчислените данни за различните модели боеприпаси, с изменена геометрия на оживалната част на куришума, с изчислените данни за стандартен куришум.

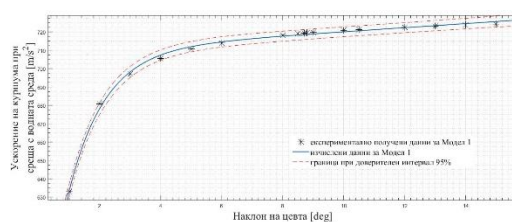
#### 4.7. Оценка на адекватността на модела на изменение на ускорението във функция на формата на куришума.

Предвид получаването на коректни резултати и съкращаване на времето за решаване на задачите са реализирани следните процедури чрез “Statistics Toolbox” на “Matlab - version 7.0”:

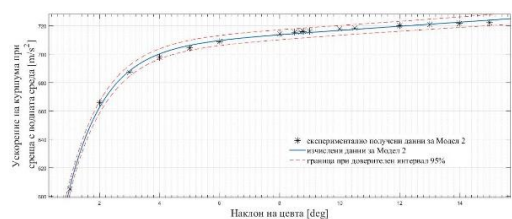
Резултатите след изпълняване на изчислителната процедура за статистически анализ на уравненията за различните модели и при доверителен интервал 95% са дадени в табл. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 и 6.6 от приложение 6.



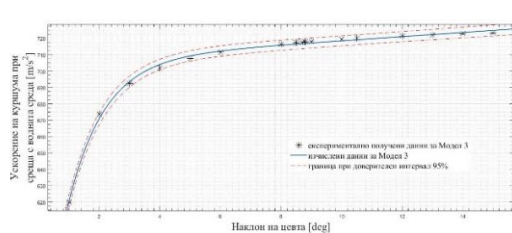
Фиг. 4.14. Резултати от обработката на статистическите данни за Модел 0 при доверителен интервал 95%.



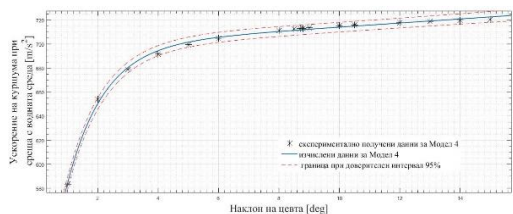
Фиг. 4.15. Резултати от обработката на статистическите данни за Модел 1 при доверителен интервал 95%.



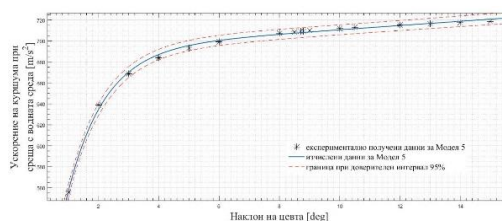
Фиг. 4.16. Резултати от обработката на статистическите данни за Модел 2 при доверителен интервал 95%.



Фиг. 4.17. Резултати от обработката на статистическите данни за Модел 3 при доверителен интервал 95%.



Фиг. 4.18. Резултати от обработката на статистическите данни за Модел 4 при доверителен интервал 95%.



Фиг. 4.19. Резултати от обработката на статистическите данни за Модел 5 при доверителен интервал 95%.

При разработването на статистическите модели на рикоширане е използвана базата от данни съставена от резултатите на експериментите, проведени в ЦАТИП при температура на околната среда +20°C.

Сравнителният анализ на резултатите от изследванията на навлизането във вода на стандартни и преработени куршуми, дава основание да се направят следните изводи:

1. Структурата на емпиричната зависимост, описваща процеса на навлизане, е една и съща, както за стандартни, така и за преработени куршуми.

2. Различието на избрания модел се състои в оценките на коефициентите на регресионните уравнения.

3. При навлизане във водна среда, куршумите с радиални канали по оживалната част предизвикват по-малък брой рикошети при по-малки ъгли и не създават рикошети при по-малки ъгли в сравнение със стандартните куршуми.

#### 4.8. Обработка на резултатите и оценка на групираността на попаденията при единична стрелба с куршум с изменена геометрия на оживалната част.

Съгласно Методика за полигонни изпитвания се определя групираността на 100 m от дулния срез за използваната партия боеприпаси и използваната балистична цев чрез произвеждането на 20 изстрела с всеки модел куршуми.

За оценяване стойността на групираността на стрелковото оръжие е прието същата да се разглежда, като кръг с диаметър –  $D_{100}$ , в който попадат 100 % от попаденията. С цел по-прецизно изследване на изменението на групираността, тя се разглежда, не като кръг, а като елипса на разсейване, която се състои от голяма и малка ос (фигура 2.10). За стойности на диаметъра на кръга на групираността ( $D_{100}$ ) се приема стойността на по-голямата от двете оси.

Необходимо е да се изчисли стойността на разстоянието между координатите на точките на попаденията. Това може да се постигне посредством формулите:

- за вертикалната равнина:

$$\Delta Y = Y_{max} - Y_{min} \quad [mm] \quad (4.37)$$

- за хоризонталната равнина:



$$\Delta X = X_{max} - X_{min} \quad [mm] \quad (4.38)$$

За по-прецизно определяне на стойностите на голямата и малката ос на елипсата на разсейването е необходимо да се проведат експериментални стрелби, при които ще се получат техните стойности за използваната партия бойни припаси.

След определяне на стойностите на голямата и малката ос на елипсата на разсейването, използвайки формули 4.37 и 4.38, се определя стойността на диаметъра на групираността ( $D_{100}$ ). За стойности на диаметъра на групираността се приема стойността на по-голямата от двете оси.

Измерените координати на попаденията на куршумите при проведените експерименти на групираност на попаденията са представени в таблица 8.1 на приложение 8.

Резултатите от извършените изчисления, съгласно формули 4.37 и 4.38 са дадени в Таблица 13.

Таблица 13

№ по ред	Вид на куршумите в серията	$\Delta X$	$\Delta Y$
1.	Модел 0	96	104
2.	Модел 1	93	196
3.	Модел 2	101	152
4.	Модел 3	124	145
5.	Модел 4	128	174
6.	Модел 5	105	130

### Изводи:

1. Избраният статистически модел на процеса на навлизане на куршума във водна среда (4.24) е адекватен и описва с достоверност  $R\text{-square}=0,9978$  за фабричния и за всички модели преработени куршуми, като разликата се заключава в коефициентите на регресионното уравнение.

2. Ускорението при удар с водната преграда зависи от разположението и броя на каналите изработени върху оживалната част на куршума, като каналите разположени по назад от върха на куршума оказват по-голямо влияние върху рикошетното действие.

3. Группираността на попаденията при стрелба във въздушна среда се влияе от броя и разположението на каналите, като отклонението от групираността на стандартния боеприпас е най-малко при моделите с два канала (модел 2 и 5) и групираността на модел 5 се отклонява в най-малка степен от групираността на стандартния боеприпас.

## Заклучение.

Факторите, оказващи влияние върху рикошетното действие на куршума във водна среда са: ускорението на куршума в момента на среща с водната повърхност, ъгълът, който се сключва между допирателната към траекторията на куршума и равнината на водната повърхност в момента на среща с водната повърхност, формата на челната част на куршума.

Изработените по оживалната част на куршума канали оказват влияние върху изменението на скоростта, групираността на попаденията във въздушна среда и рикошетното действие във водна среда, като куршумите с канали, разположени на оживалната част най-отдалечени от върха, показват най-близки резултати до желаните стойности на балистичните и хидробалистичните параметри.

Статистически определената емпирична зависимост, описваща процеса на навлизане във водна среда, структурно е една и съща, както за стандартни, така и за преработени куршуми, като различието се изразява в оценките на коефициентите на регресионното уравнение.

При навлизане във водна среда, куршумите с радиални канали по оживалната част предизвикват по-малък брой рикошети при по-малки ъгли и не създават рикошети при по-малки ъгли в сравнение със стандартните куршуми, което се дължи на влиянието на каналите върху рикошетното действие на куршума.

Съществуващите кавитиращи боеприпаси допускат минимален брой рикошети, но притежават влошени балистични качества във въздушна среда.

При ограничаване на рикошетното действие от водна среда на стандартен боеприпас чрез преработена челна част на куршума, се наблюдава минимално изменение на външно балистичните параметри, което показва по-успешно запазване на бойните характеристики на преработения стандартен куршум в сравнение с кавитирация.

Броят на каналите, изработени върху оживалната част на куршума, не оказва съществено влияние върху балистическия му коефициент, а зависи в по-голяма степен от разположението на по-отдалечения от върха на куршума канал.

Закъснителното движение на куршума в кавитационната кухината влияе върху подводната му траектория и ъгловия му импулс и води до възникването на деформационни напрежения в корпусните елементи на куршума.

Изведено е уравнение, описващо връзката между ускорението на куршума при удар с водната повърхност в зависимост от ъгъла на наклона на траекторията в момента на удара и балистическия коефициент на съответния модел куршум.

Съставени са уравнения на ускорението на куршума при удар във водната повърхност в резултат на обработените статистически данни, във функция на ъгъла на наклона на траекторията на куршума спрямо водната повърхност.

Определен е критичният ъгъл, който има стойност  $15^\circ$  за щатните куршуми и  $14^\circ$  за модифицираните куршуми, при които отсъстват рикошети и всички куршуми остават под водната повърхност.

Избран е статистически модел, който е адекватен и описва процеса на навлизане на куршума във водна среда за фабричния и за моделите на преработените куршуми, като разликата се заключава в коефициентите на регресионното уравнение.

Групираността на попаденията при стрелба във въздушна среда зависи от броя и разположението на каналите, като отклонението от групираността на стандартния боеприпас е най-малко при моделите с два канала.

### **Списък на публикациите по дисертацията**

1. Лазаров Р. Н., Analysis of the factors affecting on the stability of the bullet when it moves in a environment with different density, Сборник доклади от International scientific conference “Defense Technology Forum 2018”, Shumen 2018, с. 142-146, ISSN 2367-7902.

2. Лазаров Р. Н., Анализ на модела на проникване на куршума във водна преграда и методите за изменение на формата му с цел ограничаване на рикошетното му действие, Сборник доклади от научна конференция „Актуални проблеми на сигурността“, НВУ „В. Левски” – том 7, В.Търново, 2019 г. с. 124-129, ISSN 2367-7465.

3. Ганев В. В., Лазаров Р. Н., Експериментално изследване на влиянието на формата на куршума върху рикошетното му действие при среща с водна повърхност, Сборник доклади от научна конференция „Логистиката и обществените системи”, НВУ „В. Левски”, В.Търново, 2021 г. с. 175-182, ISSN 2738-8042.

Авторефератът не съдържа класифицирана информация.



**VASIL LEVSKI NATIONAL MILITARY UNIVERSITY**

**FACULTY OF ARTILLERY, AD AND CIS**

9713 g Shumen Str. 1 Karel Skorpil Str.

**DEPARTMENT OF ARMAMENTS AND DESIGN TECHNOLOGIES**

---

**Eng. ROSEN NEDKOV LAZAROV**

**EXAMINATION OF THE INFLUENCE OF THE SHAPE  
OF THE BULLET ON ITS RICOCHET ACTION**

**ABSTRACT**

**of dissertation**

**for the award of the educational and scientific degree PhD**

Field of Higher Education "Technical Sciences"

Professional department "General Engineering"

Doctoral Program "Dynamics, Ballistics and Flight Management of Aircraft"

**Scientific Supervisor**

**Col. Ass. Dr. Eng. Dr.S.C. Vanko Valchanov Ganey**

**Reviewers:**

**1. Prof. Dr.Sc.(Econ.) Eng. Nikolay Lychkov Georgiev**

**2. Assac. Dr. Eng. Andrey Iliev Bogdanov**

**SHUMEN 2022**

The dissertation work was discussed at the Department of Armaments and Design Technologies of the Faculty of Artillery, AD and CIS at The “Vasil Levski” National Military University on April 11, 2022 and is scheduled for protection before the Scientific Jury of the “Vasil Levski” National Military University, in the scientific specialty "Dynamics, ballistics and flight management of aircraft".

The protection of the dissertation work will take place on 30.06.2022 at 11.00 at the "Foreign Language Department" of “Vasil Levski” National Military University.

The PhD student holds an assistant position in the Department of Armaments and Design Technologies of the Faculty of "Artyleria, AP and CIS" at The “Vasil Levski” National Military University.

The main studies on the dissertation work were conducted on the Central Artillery Technical Test Field - Stara Zagora.

Dissertation work data:

*Topic:* "Study of the influence of the shape of the bullet on its ricochet action"

*Author:* Eng. Rosen Nedkov Lazarov

*Number of pages:* 164

*Tables:* 30

*Number of figures:* 35

*Number of literary sources:* 132

*Issuing note:* 3 pcs.

*Out of print:* .....2022

*Printing base of* the Faculty of Artillery, PVO and KIS at The "Vasil Levski" National Military University.

## FEATURE OF THE DISSERTATION WORK

### 1. Type of dissertation work

Research work printed in its essential part, covering a comprehensive scientific problem with the staging of objectives and tasks, proven by theoretical studies and experimental results. Models and methodologies have been developed, their own experiments have been conducted and relevant analyses and conclusions have been made.

### 2. Actuality and importance of the dissertation work

In many cases, the ricochet phenomenon has been used and managed to achieve better results, but in certain situations it can be dangerous and even deadly. The bullet loses some of its energy, changes its trajectory, and eventually its integrity is compromised. For these reasons, it is necessary to limit the occurrence of unwanted ricochet, and for this purpose it is necessary to study the conditions for ricochet from different types of surfaces and to bring out dependencies describing the conditions of its occurrence, the way in which it is managed or prevented.

In artillery firing, ricochet firing is used to obtain an air rift after encountering the projectile with the ground (water) barrier. The rift of ricochet by living force and fire remedies in the open air and in open trenches is much more effective than earth's, as the area of action of the oscillas increases.

Ricochet shooting is used in combat aviation to inflict significant damage on overwater ships during a ricochet bomb.

Despite the long-standing practice of using ricochet, its appearance in contact with a water surface is not sufficiently studied and the existing mathematical models do not fully clarify the process. Partial studies and experimental results have been published in some specialised publications[107][108][128], but do not affect in detail the entry of the bullet into water, its movement and the departure of the aquatic environment as a result of ricochet. **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

The study of phenomena arising from ricochet from the aquatic environment helps in the analysis of factors that affect the stability of the bullet when moving in different environments. The analysis of factors can be used to define requirements for the shape of the bullet to improve its movement in environments of different density and limit to the maximum extent the receipt of ricochets. Obtaining a bullet with a shape that meets the required striking action in environments of different density is a problem of extreme theoretical complexity. It requires solving three tasks at the same time – the task of the external ballistics, the task of meeting the bullet with the aquatic environment, determining its shape to limit the ricochet and the task of its stable movement in the water under cavitation conditions. [108] [128] **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

In the development of the dissertation work, the following scientific approaches are used: analysis and synthesis, systematic approach, mathematical modeling, etc.

The mathematical apparatus applied for the development of analytical models uses: matrix algebra, differential algebra and statistical analysis.

### **3. Subject and subject of the dissertation work**

**The subject of** the study is a bullet of a ammunition with a nomenclature index of 7.62x54 mm.

**Subject of the study:** assessment of the influence of radial ducts made on the ogive of the bullet on its ricochet action when hit in the aquatic environment.

### **4. Purpose and tasks of the dissertation work**

**The purpose of the** dissertation work is to study the influence of the shape of the bullet on its ricochet action in encountering an aquatic environment and to increase the anti-ricochet action of the bullet of an existing ammunition, the grouping of which is within the norms for grouping the hits for the respective shooting system.

#### **Tasks of the dissertation work:**

1. Create a theoretical model of the shape of the bullet in order to increase its anti-ricochet action when shooting on a water surface.

2. Perform an experimental study of the influence of the shape of the bullet on its ricochet action when shooting on a water surface.

3. Assessment of the adequacy of the theoretical model of the shape of the bullet developed in order to increase its anti-ricochet action when shooting on a water surface.

### **5. Methods of study**

In the development of the dissertation work, the following scientific approaches are used: analysis and synthesis, systematic approach, mathematical modeling, etc.

The mathematical apparatus applied for the development of analytical models uses: matrix algebra, differential algebra and statistical analysis.

### **6. Contributions**

On the basis of the analysis carried out and the models synthesized, the experimental studies carried out, the results obtained and the conclusions drawn from them, the following contributions may be defined:

#### **Scientific and applied contributions:**

1. Further developed the theory of determining the ballistic coefficient, in the presence of radial ducts along the ogive of the bullet.



2. The theory for determining the acceleration of the bullet when entering the aquatic environment is further developed, taking into account the influence of the ballistic coefficient and the angle of encounter with the water surface.

3. A statistical model has been developed to study the change in the acceleration of the bullet when entering an aquatic environment, taking into account the influence of the angle of encounter with the water surface.

4. A methodology for polygon tests has been developed to study the influence of the shape of the bullet on the grouping of the shooting, the change in the speed of the bullet and its ricochet action in the aquatic environment.

### **Applied contributions:**

1. It has been experimentally found that the presence of radial ducts along the ogive of the bullet leads to a decrease in ricochet activity in the aquatic environment.

2. A procedure for testing the ricochet action in the aquatic environment, the grouping of hits and the change of the speed in the air environment of an ammunition bullet with nomenclature index 7.62x54 mm has been developed.

3. Physical models of a 7,62x54 mm bullet have been created with an altered shape of the ogive in order to reduce ricochet action in the aquatic environment.

4. Technological equipment has been designed and constructed to provide an experimental examination inane and to produce physical models of bullets on a 7,62x54 mm nomenclature index, with an altered shape of the ogive.

### **8. Approbation**

The results of the theoretical and experimental research were reported and discussed at the Scientific Session of the Faculty of Artillery, Air Defense and CIS at the “Vasil Levski” National Military University in the town of Shumen, Department of Armaments and Equipment in 2018, Annual University Conference with International Participation „Current security issues“ in 2019 of the “Vasil Levski” National Military University - Veliko Tarnovo, , X Scientific Conference Logistics and Public Systems ”in 2021 of the “Vasil Levski” National Military University - Veliko Tarnovo“

### **9. Structure and volume of thesis work**

The dissertation work consists of: introduction, four chapters, conclusion, list of scientific publications on the subject, list of literature used, annexes.

The dissertation work is in a volume of 142 pages, with 30 tables, 35 pieces of figures, 22 pages of applications. The literary reference includes 132 literary sources.



## SHORT CONTENT OF THE DISSERTATION WORK

### Chapter I ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE RICOCHET ACTION OF THE BULLET FROM A WATER SURFACE

#### 1.1. Ricochet action of the bullet.

The ricochet occurs when the speed vector of the center of the bullet mass [CG] at the time of encounter with the target is oriented in a direction other than that of the target and is characterized by small angles of the encounter (defined as the angle between the tangential surface vector and the vector of the speed of the center mass of the projectile). The angle of inclination of the trajectory of the centre of the bullet mass relative to the plane of the target at the time of impact and the mass of the bullet, as well as the geometry, inertia and properties of the target.

There is a threshold of the angle of impact (critical angle) beyond which the ricochet cannot occur. **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.** Then the bullet slams into the target or defragments.

When the bullet hits a surface, at an angle smaller than the critical one, the bullet will ricochet off the surface instead of penetrating it. After the ricochet, the bullet will lose a significant part of its speed and invariably lose its stability. The trajectory of the bullet becomes unpredictable, and it can cause damage in random directions. Predicting the value of the critical angle for each bullet/surface configuration is extremely difficult. Factors such as bullet shape, construction, speed and the properties of the surface from which the ricochet affects the result.

The parameters influencing the potential for ricochet are very varied. It is difficult to establish any rigid and rapid rules on the conditions for the occurrence of ricochet. Therefore, empirical studies should be carried out on a case-by-case basis. However, there are several summaries that can be applied.

1. In most cases of bullets ricocheting from a hard surface, the ricochet angle is significantly less than the angle of fall. In the case of hard-shell bullets, high-speed bullets hitting brittle material such as stone or concrete, the ricochet angle is not always less than the angle of fall. If there is enough cratering of the surface when a bullet hits, the exit plane of the crater will have a larger angle than the angle of fall. This is due to the fact that the bullet hits the surface at a larger angle of fall and therefore a larger ricochet angle.

2. The critical angle for a bullet with a soft or hollow point shall be lower than that for an equivalent bullet with a whole shell. In this case, the deforming nose of the bullet with a hollow point increases the angle of fall, thereby increasing the propensity to ricochet.

3. The critical angle for a type of bullet-mash environment depends on the speed at the moment of impact.

4. Bullets invariably lose their gyroscopic stability and will roll over after ricochet. This overturning produces a characteristic whistling or buzzing as the overturning bullet passes through the air.

5. Bullets ricocheted of glass, steel, concrete or wood shall have a distinctive feature characteristic of the material with which the contact is made. If the material is glass or polished steel, the mirror surface is characteristic. It's a completely different result when the bullet ricochets into an aquatic environment. In this case, no traces of the mechanical interaction between the bullet and water are observed on the bullet housing.

6. High-speed bullets with a thin shell usually break down before ricochet. This applies even to ricochet action in an aquatic environment.

## **1.2. Analysis of factors influencing the ricochet action of the bullet**

### **1.2.1. Factors depending on the characteristics of the bullet:**

#### **1.2.1.1. External ballistic parameters.**

External ballistic parameters affecting the ricochet action of the bullet are:

- caliber ( $d$ ) – affects the fore resistance ( $c_x$ ), the bullet shape coefficient ( $i$ ) and the ballistic coefficient ( $BC_i$ );
- mass ( $m$ ) – affects the inertia of the bullet, the ballistic coefficient and the action of the bullet in the target;
- initial speed of the bullet ( $v_0$ ) – determines the speed of the bullet during the flight on the trajectory depending on the ballistic coefficient of the model;
- bullet shape – determines the coefficient of shape ( $i$ ). It directly affects the speed of impact of the bullet in the target through its dependence on air resistance;
- bullet speed when encountered with the septum ( $v_e$ ) – the speed of the bullet when encountered with a water barrier is proportional to the delay of the bullet in the water, but affects by the cavitation number ( $\sigma$ ) of the formation of a cavitation cavity;
- angle of encounter ( $\xi$ ) – the angle of encounter with the septum at values less than the critical angle for the bullet-barrier pair, the conditions for ricocheting of the bullet.

#### **1.2.1.2. Mechanical parameters.**

The mechanical parameters affecting the ricochet action of the bullet are:

- mechanical strength – strength of the bullet - determines its condition after a blow to the septum. The bullet can severely deform, defragment or retain its geometric dimensions relatively unchanged depending on its mechanical qualities;
- deformability – property of the bullet, which allows changing the geometric parameters of the bullet without defragmentation.

### **1.2.2. Influence of the mechanical properties of the medium on the ricochet action of the bullet.**

The mechanical properties of the medium affecting the ricochet effect of the bullet are:

- hardness;
- density;
- roughness;
- coefficient of friction.

Due to the complexity of the impact of the properties of the environment, the ricochet action of a bullet in different types of environments has been analyzed.

#### **1.2.2.1. Ricochet in solid wood environment.**

The values of the ricochet angle in wood usually correspond to the ricochet of the bullet from susceptible surfaces, where the ricochet angle of the bullet is higher than the angle of encounter. When the critical angle is reached, the bullets pierce the wooden surfaces or get stuck in them. There is a link between the critical angle of the bullet and the hardness of the wood. The harder the wood, the larger the critical angle. The resulting phenomena could occur due to the combined effect of the shape, the speed of the bullet and, most importantly, variations in wood properties and unique surface reactions when ricocheting bullets.

Despite the different hardness values for each type of wood, the values of the critical angle are very close. The increase in the speed, energy and shape of bullets does not significantly affect the critical angles of bullets when hitting pine wood. [99]Грешка! Източникът на препратката не е намерен.

#### **1.2.2.2. Concrete ricochet**

Concrete surfaces have varying degrees of roughness, in which the ricochet surface and its reaction to bullet shocks are the factors influencing the ricochet action of the bullet. When the angle of inclination begins to approach the critical angle for the respective type of surface, the bullets begin to defragment and separate a cord from a heart, with the heart not breaking or deforming.

No perforation or even mere penetration of bullets is observed when the angle of inclination reaches the value of the critical angle for the respective surface, and the bullet fragments significantly.

Angles made of bullets ricocheting from concrete surfaces and concrete samples of different surface textures/compositions can vary greatly. Small differences in surface texture and composition for an impervious material, such as concrete, can lead to many different surface reactions when a bullet ricochets. [98]Грешка! Източникът на препратката не е намерен.

#### **1.2.2.3. Polymer plate ricochet.**

When an armored bullet hits an inclined plate, it can be deflected by the asymmetric forces that the target exerts on the bullet. This is a well-known phenomenon that has been studied when various metal targets are

hit with armor-piercing bullets. Analysis of the phenomenon shows that if the angle of fall is less than the critical one, the bullet can ricochet from any metal target, provided that the target is thick enough. Plexiglas targets exert the strongest asymmetric forces on an armored bullet. The important properties of the target that control the ricochet and deviation processes are the high pressure strength and low tensile strength of the target. The high fragility of the plexiglas is the cause of the large deviation.

The interaction of bullets at an angle with a plate is characterized by asymmetric forces that are exerted from the plate, diverting the bullet from its original trajectory. With the right combination of bullet speed, target strength and attack angle, these asymmetric forces can lead to bullet ricochet, preventing the target from perforating.

Oblique plexiglas and epoxy plates were found to exert a strong asymmetric force when hitting 0,300 armoured bullets. This interaction leads to a strong deviation and deviation of the bullet, which has not been proven by other inclined targets (either metals or polymers). [110] **Грешка!**  
**Източникът на препратката не е намерен.**

#### **1.2.2.4. Ricochet in sand.**

When the bullet hits the sand, its energy dissipates due to the destruction of the sand grains, accompanied by the observation of a very fine white powder due to the pulverization caused by the bullet. It is assumed that 8% of the energy of the bullet is lost for the atomization of the particles of the sand in case of hypersonic penetration. During sand compression, the drag point is associated with the onset of particle destruction. When applied load on the sand, it changes both its shape and shrinkability. Due to changes in the structures of the grains, the volume decreases. This is due to the friction forces between the particles of the sand leading to bending or rolling of the grains. When the load increases, the grains are crushed.

For water and sand, a ricochet angle is established, about 20% larger than the angle of impact. If the angle of the cone at the top of the bullet is less than 90°, the bullets become more unstable and the critical angle decreases. For the sand, it was also found that as the speed increases, the critical angle decreases.[95]

#### **1.2.2.5. Ricochet in water.**

It is known from the theory of impact in theoretical mechanics that every elastic body, when it encounters a rigid septum, is reflected. In this case, the angle of reflection is almost always greater than the angle of fall. A similar phenomenon is observed in the firing of projectiles to an earthly (water) surface. However, the barriers are not rigid here, so the conclusions of the impact theory cannot be fully used.

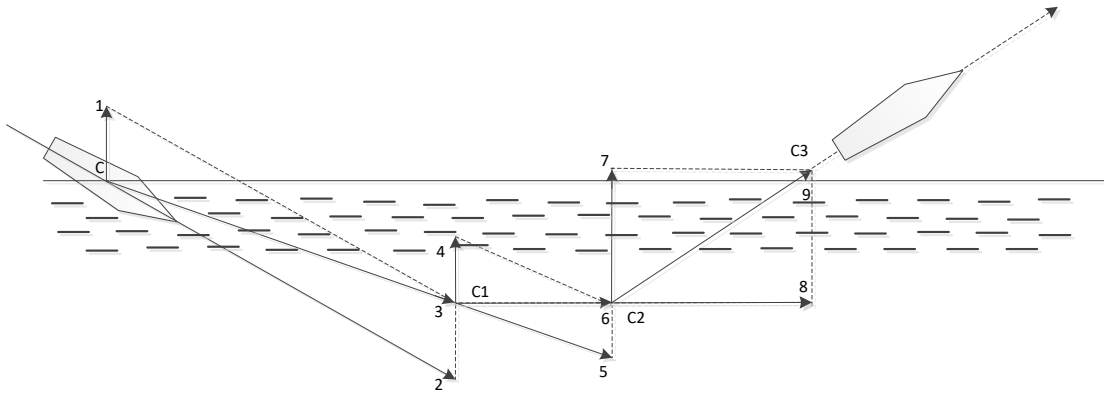


Figure 1.1. Scheme of ricochet of the bullet from an aquatic environment.

1.  $\vec{v}_{Qc}$  – water resistance force; 2  $\vec{v}_c$  – bullet speed; 3.  $\vec{v}_{Rc}$  – resultant speed of the bullet; 4.  $\vec{v}_{Qc_1}$  – water resistance force; 5.  $\vec{v}_{c_1}$  – bullet speed; 6.  $\vec{v}_{Rc_1}$  – resultant speed of the bullet; 7.  $\vec{v}_{Qc_2}$  – water resistance force; 8  $\vec{v}_{c_2}$  – bullet speed; 9 -  $\vec{v}_{Rc_2}$  resultant bullet velocity.

Ricochets from the aquatic environment vary depending on whether the bullet hits the water surface and bounces off it or enters the aquatic environment, then comes out of it.

In the first case, the angle of reflection of the bullet from the water surface is approximately equal to the angle of the encounter. The direction of movement of the bullet hardly changes.

In the second case, the angle of reflection measured in relation to the water surface is greater than the angle of meeting. At the moment of the bullet's impact into the water, its speed has two constituents: the final speed of the bullet  $\vec{v}_c$  and the strength of the water resistance  $\vec{v}_{Qc}$ . Therefore, the resultant speed is  $\vec{v}_{Rc}$ , which is why the bullet moves from item C to item C1. In item C1, the speed  $v$  also has two constituents, such as  $v_{c_1} < v_c$ . In this position, as can be seen from the figure, the direction of the bullet velocity  $\vec{v}_{Rc_2}$  is constantly changing and is directed towards the water surface. There comes a time when the bullet leaves the water and moves in the air.

When changing the angle of encounter, the number (percentage) of ricochets may change. [38] [34] **Грешка! Източникът на препратката не е намерен. Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

### 1.3. Analysis of existing bullet models for reduced ricochet action when encountered with a water surface.

#### 1.3.1. Supercavitation ammunition.

Ammunition for different environments, which are designed in two variants:

- be launched into the water from the surface or air, thereby allowing shooters on board vessels to take part in combat against adversaries' divers, unmanned underwater vehicles or underwater swimmers.

- be launched underwater to neutralize the adversary above the surface.

Due to the unconventional shape and significant mass, these bullets offer a great ability to penetrate against multilayer structures and spherical shapes.



*Fig. 1.2 Supercavitation bullet.*

The feature of the ammunition declared by the developers is the lack of ricochet when entering the water at almost any angle, up to 2 degrees in restless water, up to 7 degrees in normal water. The bullet of the ammunition does not leave the initial air trajectory when entering the water—the shooter only needs to take into account the optical refraction. **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

### **1.3.2. Ammunition with a cavitating core.**

Cavitational core cells can be used with a sawn-off and smooth weapon, using a shell casing and a meta-charge of standard ammunition. These ammunition is mainly designed to strike underwater targets when shooting underwater or from the air to the water. Shooting from an aerial environment to a target located underwater can be carried out by any standard weapon.

The requirement for cavitating core cells is to have a sustained movement in the air and aquatic environment, as well as to pass sustainably from one environment to the other. Stabilization of the flight of a cavitating core in the air is carried out by breast stabilization by means of a multilopathic stabilizer for non-rotating core cells, and when stabilized by rotation, the heart must have a conical cylindrical shape for greater gyroscopic resistance.

Reducing the angle at the tip of the bullet reduces the cavitation resistance factor  $c_x$  and the pulse load when the bullet enters water. To create a cavitation cavity, the value of the cavitation parameter value is required

$$\omega = c_x \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (1.1)$$

do not change. Therefore, when reducing  $c_x$  by reducing the angle of the tip of the bullet, the diameter of the nasal surface  $d$ . At taper angles less than  $60^\circ$ , the formation of a cavitation cavity with the required contour is unreliable. Therefore, if necessary, the use of a flat front surface is allowed.



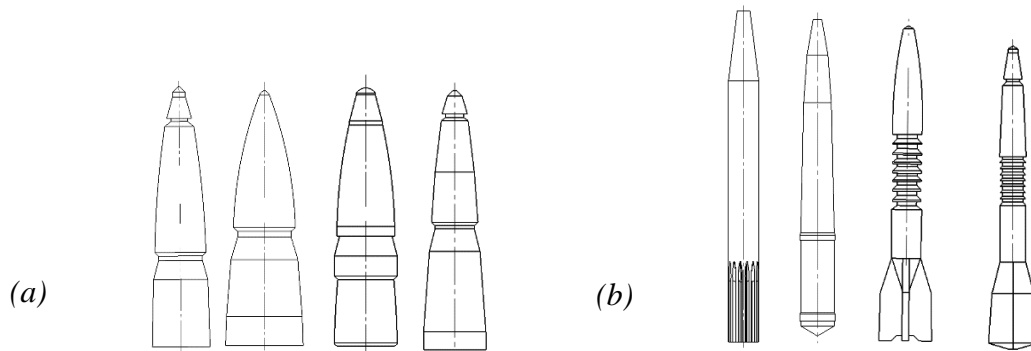


Figure 1.3. Different types of cavitation core.  
 (a) rotating; (b) non-rotating

The requirements applied to cavitating core are diametrically opposed. They must have good aerodynamic and hydrodynamic qualities. Aerodynamic qualities are defined by external ballistics, and hydrodynamic qualities – by hydroballistics. To have good aerodynamic qualities, bullets must be of a sharp tip and a small length. For good hydroballistic qualities, a blunt tip is required to create a cavitation cavity, a large mass of the bullet, in order to increase the long-range underwater and increase the frontal resistance  $c_x$ .

It follows from the above that in order to obtain good hydroballistic characteristics of the bullet, this will aggravate its aerodynamic characteristics, which in turn affect the long-range and grouping of hits.

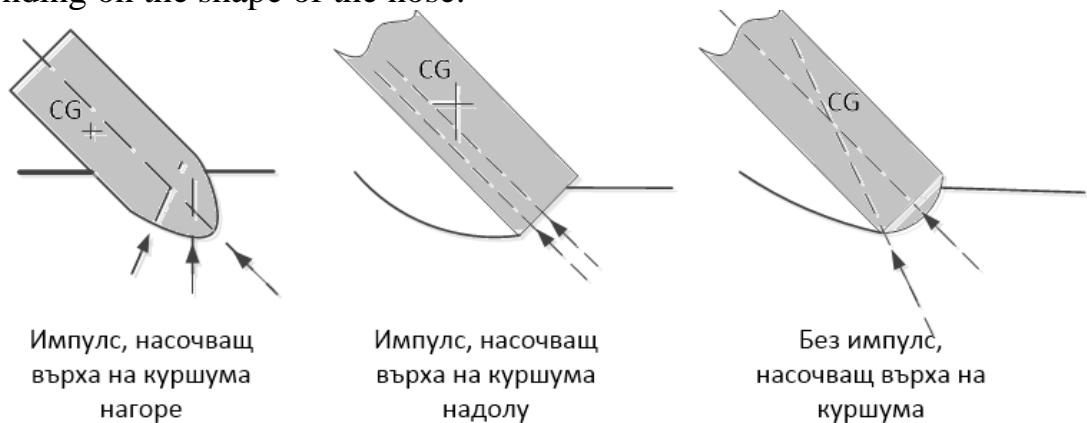
#### Conclusions:

1. On the basis of the analysis carried out, it was found that the factors affecting the ricochet action of the bullet in the aquatic environment were: the acceleration of the bullet in encounter with the water surface, the angle to be concluded between the tangent to the bullet's trajectory and the plane of the water surface at the time of encounter with the water surface, the shape of the front of the bullet.
2. Existing cavitating munitions, which are designed to fire to, from and into the aquatic environment, have inferable ballistic qualities in an aerial environment.
3. The hydroballistic models of objects with different frontal parts do not allow to analyze the modification of their external ballistic parameters.
4. One possible way to limit the ricochet action of the bullet from an aquatic environment and with minimal loss of kinetic energy in an aerial environment is to develop a bullet of standard ammunition with a processed frontal part.

## CHAPTER II MODELLING OF THE PROCESS OF PENETRATION AND MOVEMENT OF A BULLET WITH ALTERED GEOMETRY OF THE FRONTAL PART IN AN AQUATIC ENVIRONMENT

The forces creating the acquired angular speed and the dependence of these forces on the conditions of entry depend on the shape of the tip of the bullet. Most shapes at the top give the bullet an impulse upwards, but a

dull enough tip gives it momentum down. Dull peaks are rarely used due to the high resistance associated with them, so research deals with peaks of a finer shape. Since the angular speed acquired on impact depends on the shape of the tip of the bullet, the critical angle of inclination varies depending on the shape of the nose.



*Figure 2.1 Forces dependent on entry conditions and depending on the shape of the bullet creating acquired angular velocity*

The force of the impact causes both a sudden change in impact speed and an angular speed around a horizontal axis. The change in linear speed clearly does not play an essential role in determining the subsequent behavior, but the sudden occurrence of angular speed causes the nose to lift, the tail to fall and determines whether the subsequent trajectory turns up or down.

Thus, the relative amount of effort to be devoted to ensuring proper movement in the air and proper movement in water varies depending on the specific frontal part of the bullet.

### 2.1. Influence of the shape of the bullet in its movement in an air environment.

To study the problem posed, the shape of the bullet is considered, which has a significant influence on its speed of movement and is defined by the bullet shape coefficient, which is inversely proportional to the ballistic coefficient.

The aggregated ballistic coefficient has the type **Грешка!**  
**Източникът на препратката не е намерен.:**

$$BC_j = \left( \frac{m}{i_j d^2} \right) \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad (2.1)$$

where:

$BC_j$  - ballistic coefficient, relative to the resistance function "  $j$  "

$i_j$  - bullet shape factor relative to resistance function "  $j$  "

$j$  - standard bullet shapes ING, 1, 2, 5, 6, 7, 8 or SP**Грешка!**

**Източникът на препратката не е намерен..**

$m$  - bullet mass [kg]

$d$  - reference diameter of the bullet [m]

$\rho$  - local air density [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_0$ - standard air density at sea level ( $\rho_0=1,3 \text{ kg/m}^3$ )

The correction of air density is used to calculate trajectories at different altitudes above sea level. If  $\rho = \rho_0$  the ballistic coefficient for the standard density of air at sea level decreases to the classical form:

$$BC_j = \left( \frac{m}{i_j d^2} \right) \quad (2.2)$$

Typically, the manufacturers of combat supplies give the ballistic coefficients for their own production. No specific data on ballistics and bullet coefficient with radial ducts are found in the available sources. To determine the relevant ballistic characteristics of the bullets with a changed shape of the ogive, an empirical approach is applied, which is based on the formula: **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

$$BC_i = \frac{0,0052834 \cdot x}{\sqrt{V_0} - \sqrt{V_{x_i}}} \quad (2.3)$$

Where:

$V_0$  - is the initial distance speed [m/s];

$V_{x_i}$  - is the final distance speed for the corresponding bullet model [m/s];

$x$  - is the distance between the two measuring points [m].

After replacing the resulting and averaged values from the measurements, the ballistic value and the coefficient for the specific bullet  $BC_i$  are obtained. [Annex 1].

Table 2.1 The calculated ballistics and coefficients of bullet models used in the experiments

Bullet pattern	BC
Factory	0,39
Model 1	0,35
Model 2	0,32
Model 3	0,37
Model 4	0,24
Model 5	0,21

By determining the ballistic bullet coefficients of each of the models, the corresponding bullet shape factor can be calculated.

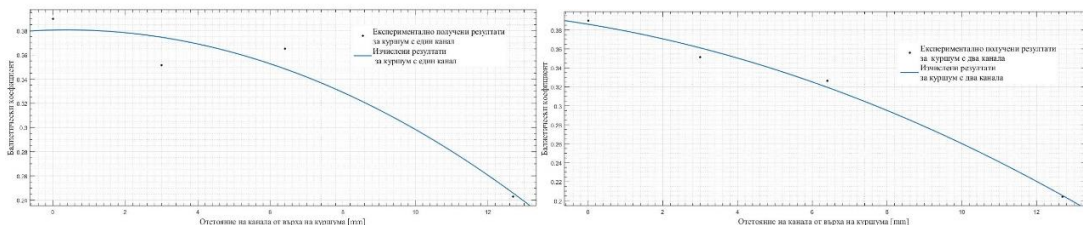


Fig. 2.2 Modification of ballistic bullet coefficients with one and two radial ducts made on the ogive.

The calculated ballistic coefficients of the bullet models used in the experiments are shown in Table 2.1.

Using the ballistic coefficient value of the standard bullet, the ballistic coefficient of each individual bullet model can be calculated.

By comparing the graph of the law's function of changing the ballistic factor of bullets with a single duct with the graph of the function of the law to change the ballistic coefficient of bullets with two ducts, it was found that the function by which the ballistic factor is modified depending on the ducts made on its ogive is the same for bullets with one and two ducts, with only the coefficients different.

## **2.2. Ricochet action of the bullet in an aquatic environment**

### **2.2.1. Hydroballistic modelling of processes in the aquatic environment.**

When meeting the aquatic environment, the frontal part of the bullet creates a cavity of approximately conical shape, so only the tip of the bullet is in contact with the water. This continues as long as the bullet is several lengths below the surface of the aquatic environment, and during this time the bullet is subjected to a slowing force that tends to point the bullet downwards if the bullet is upside down to its trajectory, and therefore tends to overcome the initial angle speed created on impact at the top upwards. If the tip of a bullet hasn't deviated from its trajectory, the resistance force adds torque to an initially produced angular moment of upward angular velocity. As a result, the bullet will have contact with either the upper or lower part of the cavity. If it hits the upper part of the cavity, the bullet will move along a roughly circle of a trajectory curved downwards. The slope and angles of the trajectory at entry, the magnitude of the initially acquired angular velocity and the subsequent angular acceleration, determine the direction of deviation.

The forces creating the angular velocity of the water surface and the dependence of these forces on the conditions of entry into water depend on the shape of the tip of the bullet. Most forms of the nose give the bullet an impulse upwards, but enough dull noses give it an impulse downwards.

Since the angular speed acquired on impact depends on the shape of the nose, the critical angle of inclination varies depending on the shape of the nose.

Identifying the emerging forces that affect the movement of the bullet is a complex task. In hydroballistic phenomena with the greatest practical power are inertia, gravitational and viscous forces. Because momentum is always important in the range of speeds to be taken into account, other forces are compared to it.

The movement of a bullet in two environments should not only be considered as a period of movement in the air and a period of movement in water, but it is also necessary to consider the transition from air into water. During this period, there is a real possibility of mechanical damage to the bullet. In addition, the forces of fluid that act on the bullet during the transition period can cause the bullet to get out of the water, change its direction sharply, or get out of control and deviate from the desired trajectory.

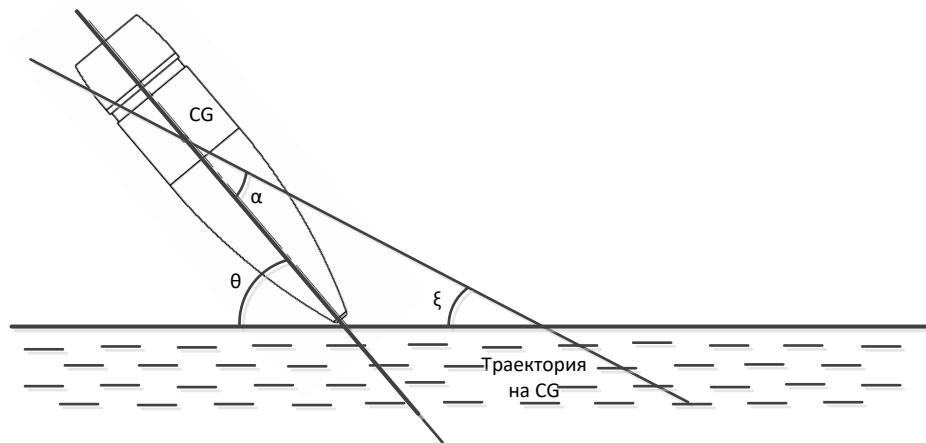


Figure 2.3. Angles of attack, inclination and trajectory.  
 $\alpha$ -Bullet attack angle [deg];  $\theta$ -Angle of inclination of the bullet [deg];  
 $\xi$ -Angle of bullet trajectory, [deg]

The high-speed cavitation movement of the cavitation bullet in water is accompanied by the formation of a natural caver expanding after a cavitation protrusion in the nasal part, and continues until the dimensions of the **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

The initial dimensions of the caver repeatedly exceed the size of the bullet. The resistance of the bullet in the caver is provided by its rear part at the expense of the periodic sliding of the bullet's lysing surface into the walls of the caver, so that the largest diameter of the cross-section of the rear part determines the calibre of the bullet.

The amplitude of the angular fluctuations of the bullet in the caver depends on the distance between its reclining surface and the contour of the caver, and the technical dissipation of the underwater trajectory depends on the depth of the inertia displacement of the clay surface of the lactating part and its geometry, which determines the magnitude of the unilateral resistance to lysing.

When changing/losing the outline of the caver in its middle or front, the bullet loses resistance, rolls over and moves slowly with its lateral surface forward.

In order to obtain a caver when the bullet comes in at small angles relative to the water, it is preferable to make a ring channel at the front of the bullet with a smallest diameter equal to 1,2-1,6 of the diameter of the cavitation protrusion. This option allows a temporary cavitation zone to be created when the bullet enters the water at small angles, and after the cavitation protrusion enters the water, the cavitation cave will be created from the protrusion. **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

## 2.2.2. Modelling of the bullet's entry process into an aquatic environment.

When entering water, the formation of cavities depends on the characteristics of bullets. The physical properties of the bullet, gas and liquid together establish the force that, combined with gravity and inertia, determines the type of bullet entering an aquatic environment. The force exerted by the tip of the bullet on the water opens up a cavity that continues to expand by virtue of its own inertia until gravity causes the water to return to its equilibrium position of rest. The mechanisms influencing the behavior of the cavity have been widely observed, but not fully described mathematically.

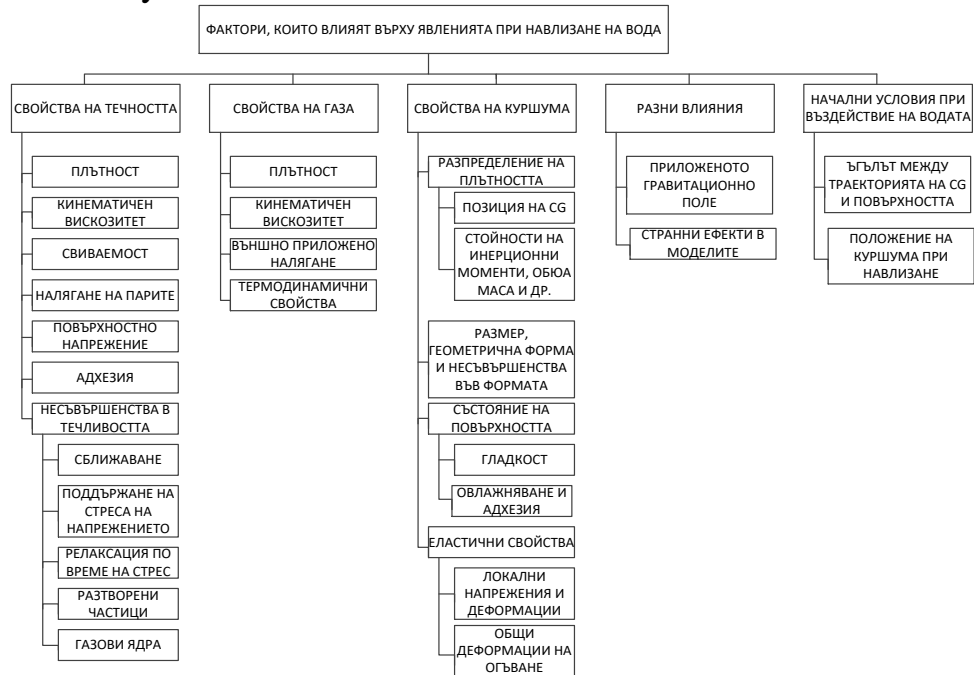


Fig. 2.4 Factors influencing the phenomena of the bullet entering water

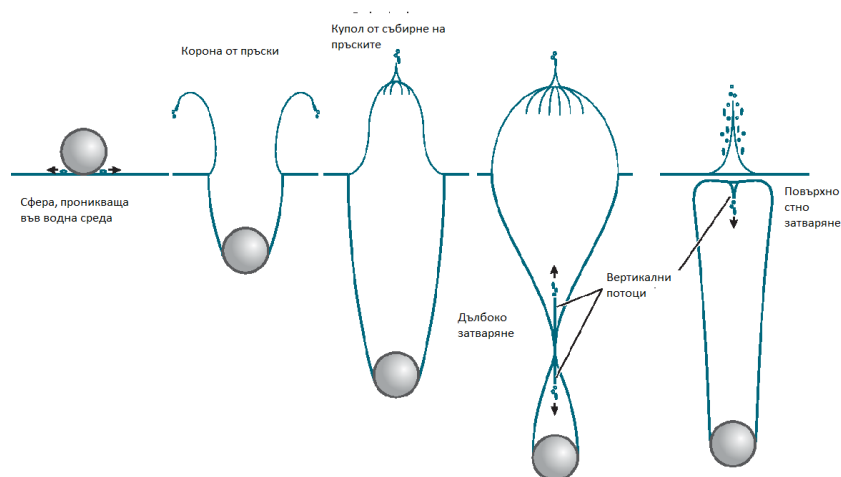


Figure 2. 5. Phenomena when entering water.

The phenomena of entering water are traditionally divided into four phases:

1. Impact
2. Flow formation
3. Open cavity

#### 4. Closed cavity

These factors were studied separately, although no phase of the bullet's trajectory was independent of the previous ones.

When the bullet in its flight from the air to the environment hits the water in an environment, it creates a cavity that also grows during the underwater trajectory. Initially, the cavity develops to the surface of the water. cavity until the cavity is blurred in the water. Getting into water is a series of phenomena after a quasi-stationary air flight.

The linear and angular speeds of the bullet detected during the air flight have a major impact on the phenomena of entering the water environment, as these speeds, combined with the physical properties of the bullet, determine both the inertia of the bullet and its orientation in relation to the surface of the water. determines the specific shape of the bullet that first comes into contact with the water.

##### 2.2.2.1. **Impact.**

The impact initiates a short-term high-speed shock wave, moving approximately at the speed of sound in the water. The force of the impact is very large and can cause deformations of the bullet when water enters. The short duration (part of a millisecond) excludes its strong influence on subsequent hydrodynamic flows when closing the cavity at low speed. The shrinkability of the fluid environment has little effect on the dynamic behavior of the bullet. The curve of the cavity shell is not formed by the path of individual particles, but rather by the integrated pathways of many particles.

After a stroke of the bullet, there is a slight rise in the surface of the liquid beyond the crown by splashes, which is due to the inlet shock wave.

##### 2.2.2.2. **Flow formation**

Immediately after the impact, the water is driven by the bullet and a process of formation of a flow begins, during which the pressure of the fluid on the bullet is significantly lower than in the process of impact, but significantly greater than the late quasi-stable flow mode. This flow formation mode is extremely complex and is not yet described in the literature.

After the impact, the water leaks from the bullet and begins to form a cavity. The wetted surface of the bullet increases until a relatively stable line of separation of the cavities is established.

This dividing line can be sharply prominent, uneven, deformed or hesitant, resulting in clear, vague, irregular or distorted cavities respectively.

Uneven separation is associated with unstable trajectory behavior. When the bullet has a smooth, simplified configuration, the fluid flow almost corresponds to the shape of the bullet, and only a thin layer of gas separates the bullet from the water. Sometimes this gas film is displaced by water, which distorts the line of separation of cavities. If the bullet has a blunt tip, large distances are created between the bullet and the cavity, with a clear and sharp dividing line.

During the flow formation phase, a large energy exchange takes place. The change in angular speed (whip) occurs when the resultant component of the hydrodynamic force applied to the nose of the bullet does not pass through the center of the bullet masses. The whip also arises from the phenomenon of pressure.

Hydrodynamic whip occurs when the bullet is obliquely entered an aquatic environment, as it first contacts the underside of the bullet. The hydrodynamic pressure is on the normal surface of the bullet, which is located below the surface of the water, and the resulting force creates a moment around the center of gravity of the bullet. The whip from this moment creates a flat zone under the nose of the bullet and protruding like a hemisphere upwards. When the nose of the bullet enters the water, the moment of tilting from this force created by hydrodynamic pressure becomes zero.

The delay in excretion creates the possibility of a suppression effect when the distance between the bullet and the wall of the cavity becomes so small that the water takes the gas located in the layer between the bullet and the cavity faster than can be replaced by the gas in the cavity. Such small distances are formed at a thique body, but can also occur when struck on small slopes, when the bullet is oriented asymmetrically in the cavity.

#### **2.2.2.3. The open cavity.**

A complete mathematical description of transient behavior when entering water into the cavity is not yet available. [128]**Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

During the third or open phase of entry into water, the cavity remains open to the atmosphere of the surface and is prolonged as the bullet moves along its trajectory. The gas enters from above to fill the cavity behind the bullet, which leads to the mixing of ambient air with water vapour. The width of the cavity is determined by the speed at which energy is transmitted to the water, with the wider cavity associated with a greater energy transfer. The growth of the cavity is determined mainly by the shape and speed of the bullet, by the density and pressure of the atmospheric gas and by the position of the bullet in the cavity. The surface tension of the liquid, the viscosity of the liquid and gas and the state of the bullet surface are usually of secondary importance.

The orientation of the bullet in the cavity affects the shape of the trajectory. A straight trajectory converging the continuation of the trajectory from the air occurs when the bullet moves, contacting the water only with its nose or its posterior end oscillating between the upper and lower surface of the cavity. If the posterior end remains in contact only with the upper or only the lower part of the cavity, a curved trajectory (either diving down, or going up).

#### **2.2.2.4. Closing the cavities.**

Closing the cavity can be obtained on the surface, at some point below or both. The nature of the closure is determined by the firing conditions and by the physical properties of the bullet, liquid and gas. The



closure stops the flow of atmospheric air into the cavity, although it is possible that the inertia of the fluid flow can lead to a slight enlargement of the cavity after closure.

The conditions that determine the closure of deep cavities are the inertia of water and gravity. The impulse transmitted by the bullet to the water causes the cavity to open. Hydrostatic force on the cavity and surface tension of the liquid acting in the walls of the cavity tend to close the cavity. When the closing forces become dominant, the cavity will begin to narrow, form a neck and finally close.

The more complex phenomenon of surface closure is observed without being able to be explained exhaustively. The power system at the entrance to the cavity arises from both water and gas flows. In the cavitation cavity due to the water masses located in it, a large hydrodynamic force can occur. The hydrodynamic forces in the dispersion are small because there is little water involved. However, spraying can not be ignored, since thereby significantly affects the gas flow in the cavity. So three separate streams - cavity input, splashes and gas - interact to cause cavity closure.

The main hydrodynamic flow in the cavitation cavity is initially directed outwards when the water flows away from the impact. Then the surface tension of the liquid and hydrostatic forces together will seek to restore the disturbed surface to its normal state of rest. The pressure forces created by the inertia of the gas flow, which enters the cavity, create an area of low pressure on the underside of the entrance to the cavity. The higher atmospheric pressure acting from above causes the cavity to close.

The gas flow produces pressure in proportion to atmospheric density. Then the cavitation cavity continues to expand until hydrostatic forces and surface tension forces restore the surface to its normal state of rest. In these circumstances, the growth of the cavity is terminated by deep closure.

Above the surface quickly rises a ring of splashes. Over time, spraying falls backwards, compacts to the base, and the forces of tension act to close the cavity. At some height, the shell closes completely and forms a dome. Above, the forces of surface tension form the remaining water ring in a circle of droplets. The dome closing the cavity is not resistant and can be destroyed by the flow of gas into the cavity or can spread from the jet formed by the closure of the "lips" of the cavity. The irregular surface of the spray shell after vertical entry indicates that the spraying is of variable thickness.

Hair entry by its very nature causes an asymmetric splash. In general, the closure of the surface follows a deep closure during such inflow into the aquatic environment.

Numerous forces affect the closure of the surface and make it difficult to model. Among these forces are the surface tension, the viscosity of the liquid, the viscosity of the atmospheric gas, the adhesive forces between the bullet and the liquid (determined by the state of the bullet

surface), the gas cores in the liquid and the purity of the surface of the liquid.

When closing the cavity, water jets are produced directed up or down. Ascending jets formed at deep closure of the cavity are almost or accurately vertical, even for non-vertical entries, because the outgoing jet is caused by collision of water masses at deep closure as a result of the restorative action of hydrostatic pressure. For this reason, ascending jets do not form at an inclined entry at a small angle. Descending jets appear when closing the cavity and on the surface and in depth.

#### **2.2.2.5. Closed cavity.**

The final transient effects of water ingress occur during the phase of the closed cavity, when the bullet-cavity system is not in direct contact with the atmosphere. The cavity is slowly reduced until it is completely dispersed by the engaging action of the water or until it slips away from the bullet. Sudden asymmetric discharge sometimes causes gross changes in the direction of movement of the bullet. The fourth phase ends with the disappearance of the cavity. Then the fully wetted or purely cavitating streams occur, which are usually found in hydrodynamics. In rare cases, the fourth phase of water ingress does not occur. The bullet can pierce while still wrapped in a cavity, or the open cavity can suddenly detach from the bullet soon after its formation, causing a significant change in the trajectory of the bullet. [128] **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

Water response and late acceleration depend on water ingress conditions and on the shape and dynamic parameters of the bullet.

The final trajectory of a bullet passing through water is significantly influenced by its behavior in the cavity stage. The whip,  $\Delta\delta$ , the change in the speed of the inclination of the bullet as the tip of the nose enters the water, may be due to the strong impact of a water strike and the forces associated with the detection of a flow.

Two separate mechanisms contribute to the whip during oblique entry. The more important result is that the lower part of the nose gets wet first, which leads to unbalanced forces, which can be quite large. The forces come not only from the pressure of the liquid, but also from the decreased pressure in the nasal cavity (pressure effect). The time thus applied to the CG results in a change in the speed of the pitch, known as whiplash. The other mechanism for the production of whip occurs when the bullet enters the water with an angle of attack,  $\alpha$ . Then the resistance forces producing the change in axial speed contribute to a shock moment around the CG.

The whip is linearly dependent on the rate of water ingress,  $v$ , since the forces on the head are proportional to  $v^2$ , and the time during which these forces are unbalanced (acting only on the lower side of the head) varies as  $1/v$ . Thus, the pulse will vary as  $v$ . For heads of spherical shape (at small angles of attack) there must be a linear dependence of the whip on the angle of attack. the instantoral distribution of pressure above the nose

of the bullet during water ingress; there is currently no data on this.  
[128]Грешка! Източникът на препратката не е намерен.

After hitting the water and establishing a stream, the bullet usually travels several lengths below the surface of the water only with its nose in contact with the water. During this time, the resistance force usually does not work through CG; the moment, depending on the configuration of the head and the size of the angle of attack, is aimed at increasing or reducing the inclination of the bullet. Thus, the angular acceleration produced from the moment of resistance either adds or is removed from the whip.  
[128]Грешка! Източникът на препратката не е намерен.

In the movement of the bullet from the moment of encounter of the water barrier, two cases are possible:

- the bullet continues its movement in the water and, under the action of the forces of reaction of the medium on its enliven part, leaves the water surface and performs ricochet action.

- the increase in friction forces in the water as a result of a change in the hydrodynamic parameters of the environment as a result of the entry of the frontal part of the bullet and the occurrence of turbulence flows leads to the result that the bullet has a late acceleration. This significantly reduces the energy of the bullet and it is not sufficient to push it in the direction of the surface of the aquatic environment, where its movement continues under the water surface.

Our task is to study the change in the acceleration of the bullet after encountering the water surface and to determine at what values the bullet will not perform a ricochet action. To this end, let's consider the kinematic of the hydroballistic task of examining the process of the movement of the bullet under the water surface.

Using the principles of mechanics, let's assume that the movement of the bullet takes place in the rectangular coordinate system and present the bullet as a material point, then this movement can be described as follows. At the moment of impact in time  $t$ , the bullet has coordinates  $(x; y)$ , and when exiting the water surface at a time  $t_2$ , its coordinates are  $(x_2; y_2)$ , and the radius of curvature of the trajectory is  $r = f(R_{or})$ . Then  $\Delta x = x_2 - x$ ,  $\Delta y = y_2 - y$  and  $\Delta t = t_2 - t$ . Therefore, the average  $x$  speed will be  $v_{cpx} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ , and more  $y$  will be  $v_{cpy} = \frac{\Delta y}{\Delta t}$ . The average speed is ,

$$\vec{v}_{cp.} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (2.16) ,$$

It is a vector dimension and has the same direction as moving. The average speed thus introduced does not depend on the distance travelled, since it is proportional to the movement and is determined only by the starting and end point of the movement.

The average speed as a scalar quantity is determined by the length of the path traveled along the trajectory  $\Delta s$ , divided by the time interval  $\Delta t$  for which it is traveled

$$\vec{v}_{cp.} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2.17)$$

The speed of a material point may change over time, both in size and in direction. If it is  $\Delta\vec{v}$  the change in the time interval rate  $\Delta t$ , then the vector

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad (2.18)$$

is the mean acceleration of the bullet, which is the physical magnitude characterizing the change in speed from up  $t$  to  $t_2$ .

The initial acceleration of the bullet entering the aquatic environment shall have the appearance:

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau} \quad (2.19)$$

and is determined by the first derivative  $dv/dt$  of the speed  $v$  at the time  $t$ , i.e. it characterises the speed at which the speed is changed. When the speed increases, the tangential acceleration is directed in the direction of the single vector  $\vec{\tau}$ , i.e. in the direction of speed. If the speed decreases, the vectors  $\vec{\tau}$  and  $\vec{a}_\tau$  have opposite directions – tangential acceleration is directed back to the speed vector.

The normal acceleration of the bullet entering an aquatic environment shall have the appearance:

$$\vec{a}_n = \frac{v_e^2}{R} \vec{n} \quad (2.20)$$

Normal acceleration is directed in the direction of the single vector  $\vec{n}$ , i.e. the normal to the trajectory curve in the aquatic environment.

Since the movement is curved, it can therefore be presented at two speeds - along the tangent and on the normal to the bullet's trajectory. Accordingly, this movement will also be characterised by two accelerations. For the purposes of the study, the interest is normal acceleration, which is time-delayed and must occupy smaller values in order to have a smaller change of trajectory and thus prevent the bullet from coming out of the water surface.

The study suggests modifying the surviving part of the bullet by cutting rings that cause additional turbulence in the water layer that surrounds the bullet, thereby significantly reducing the acceleration of the bullet and not enough energy to leave the aquatic environment.

The purpose of the study is by cutting ducts along the ogive of the bullet, the normal acceleration of the bullet when moving in water to zero and thus to minimize the curvature of the bullet's trajectory, which could create conditions for ricochet movement.

After examining the question of the distance of radial ducts from the tip of the bullet in the analysis of the available literature **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**  $L = 0,4 \cdot d$  a duct should be made at a distance where:

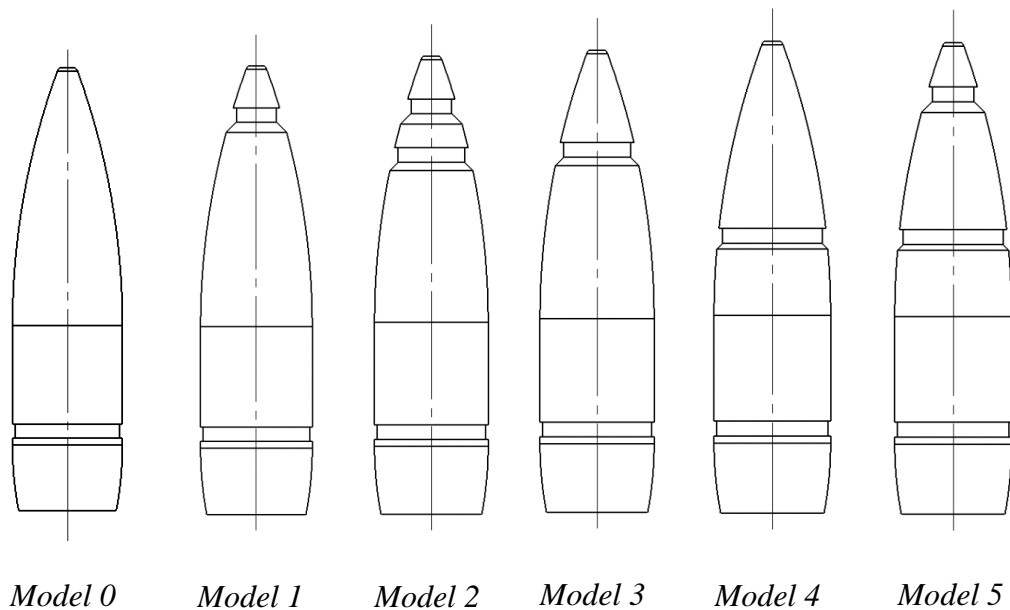
$L$  – the distance of the duct from the tip of the bullet [mm];

$d$  – caliber of the bullet [mm].

For the selected ammunition  $L = 3,05$  mm.

Due to the shape of the bullet, this duct, when hit with the water surface at angles close to  $0^\circ$  will not come into contact with the aquatic environment and would therefore not be effective. In order to examine the influence of the ducts, it was agreed to make two more ducts on the surviving part of the bullet and to examine the impact of the ducts on the ricochet action of the bullet in encountering an aquatic environment. Since at a distance of 12.8 mm from the tip of the nose of the bullet the body of the bullet becomes cylindrical, the distances were accepted:

- 3 mm – based on the calculations carried out;
- 6.4 mm – corresponding to the middle of the surviving part of the bullet;
- 12,7 mm – corresponding to the end of the surviving curve.



*Fig. 2.6 Diagram of the bullet models used for the experiment.*

Five bullet models were made with one and two ducts along their ogive (Fig. 2.6):

Model 1: with one duct located 3 mm from the tip of the bullet.

Model 2: with two ducts located 3 mm and 6.4 mm from the top of the bullet.

Model 3: with one duct located 6.4 mm from the top of the bullet.

Model 4: with one duct located 12.7 mm from the top of the bullet.

Model 5: with two ducts located at 3 mm and 12.7 mm from the top of the bullet.

The control series has a factory bullet, defined as model 0.

Since when entering the water as a result of the high friction resistance between the bullet and the water, the angular speed of rotation drops sharply, in which the gyroscopic effect decreases to negligible values and does not affect the next movement of the bullet.

Because it's an acceleration of the bullet along the curvature of the trajectory.

$$a = \frac{v_e^2}{R} \quad (2.21)$$

Where:

$v_e^2$  – квадрат на скоростта на куршума при влизане във водата.

$R$  – radius of trajectory curve.

From the formula for (2.3) we express the value of the entry speed:  $BCi v_{e_i}$

$$\sqrt{v_{e_i}} = \left( \sqrt{v_0} - \frac{K \cdot L}{BC_i} \right) \quad (2.22)$$

Where:

$K$  – is a constant worth 0.0052834

$v_0$  – initial speed of the bullet;  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$BC_i$  – ballistic ski coefficient for the respective bullet model;

$L$  – the distance from the dul cut to the surface of the water (m),

$$L = \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right) \quad (2.23);$$

Where

$h$  – height of the position of the double cut relative to the water surface [m];

$\alpha$  – angle of inclination of the barrel relative to the water surface [deg].

By replacing in equation (2.21) we get:

$$\begin{aligned} a = \frac{v_e^2}{R} &= \frac{1}{R} \left( \sqrt{v_0} - \frac{K \cdot \frac{h}{\tan \alpha}}{BC_i} \right)^4 = \\ &= \frac{1}{R} \cdot \left[ \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right)^4 \cdot \left( \frac{K}{BC_i} \right)^4 - 4 \cdot \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right)^3 \cdot \left( \frac{K}{BC_i} \right)^3 \cdot v_0^{\frac{1}{2}} \right. \\ &\quad \left. + 6 \cdot \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right)^2 \cdot \left( \frac{K}{BC_i} \right)^2 \cdot v_0 + 4 \cdot \left( \frac{h}{\tan \alpha} \right) \cdot \left( \frac{K}{BC_i} \right) \cdot v_0^{\frac{3}{2}} + v_0^2 \right] \end{aligned} \quad (2.24)$$

By streamlining the polynomial, we get:

$$\begin{aligned} a = \frac{1}{R \cdot \tan^4 \alpha \cdot BC_i^4} &\left( \tan^4 \alpha \cdot v_0^2 \cdot BC_i^4 - \tan^3 \alpha \cdot 4hK \cdot v_0^{\frac{3}{2}} \cdot BC_i^3 + \tan^2 \alpha \cdot 6h^2 K^2 \cdot v_0 \cdot BC_i^2 \right. \\ &\quad \left. - \tan \alpha \cdot 4h^3 K^3 \cdot v_0^{\frac{1}{2}} \cdot BC_i + h^4 K^4 \right) \end{aligned} \quad (2.25)$$

Physico-mathematical analysis of the equation derived:

- As the value of the ballistic coefficient decreases (less favourable aerodynamic form), the value of acceleration grows.

- When encountered with the water surface at a gradient equal to the limit angle of  $8,7^\circ$  the acceleration value of the establishment bullet is 720,4534 m/s<sup>2</sup>, in the case of a single duct bullet located at 6,4 mm is 717,6378 m/s<sup>2</sup>, at two ducts located on 3 and 12,7 mm is 709,186 m/s<sup>2</sup>.

- When encountered with the water surface at a gradient equal to the limit angle of  $10,5^\circ$  acceleration of the establishment bullet, the acceleration value shall be 722,2884 m/s<sup>2</sup>, in the case of a single- duct bullet situated at 6,4 mm is 719,9588 m/s<sup>2</sup>, for two ducts located on 3 and 12,7 mm is 712,9583 m/s<sup>2</sup>.

- When encountered with the water surface at a gradient equal to an angle of  $14^\circ$  the acceleration of the establishment bullet the acceleration value is  $724,523 \text{ m/s}^2$ , in the case of a single-duct bullet located at  $6,4 \text{ mm}$  is  $722,7867 \text{ m/s}^2$ , for two ducts located on  $3$  and  $12,7 \text{ mm}$  is  $717,5626 \text{ m/s}^2$ .

### 2.3. Statistical modeling of the ricochet action of a medium-caliber bullet for a shooting weapon in encounter with an aquatic environment.

#### 2.3.1. Methods of mathematical modelling of ricochet action.

The statistical analysis of the resulting mathematical models of the type

$$\hat{y} = \sum_{i=0}^k b_i f_i(z) \quad (2.26)$$

is an extremely important side of statistical methods. Without an in-depth statistical analysis of the main intermediate and final results, no conclusions can be drawn about the research site, but even more so – to use these results for the study, exercise and optimization of the site.

The need to carry out the statistical analysis is based on the fact that each actual study uses a limited number of experimental data (N-sets), which are a sample of the population of data. The estimates obtained from this sample  $b_0, b_1, \dots, b_k$  of the coefficients  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  of the model

$$\eta = \sum_{i=0}^k \beta_i f_i(z) \quad (2.27)$$

and the above model have some degree of credibility to be established and comparable to the requirements of the model. It is also possible to reverse the task: to determine the conditions (above all the number N of observations and their location in the factor space) that ensure that the set accuracy is achieved at a fixed degree of trust. **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

The analytical model of the bullet entry process in the aquatic environment describes the process of entry and movement into the aquatic environment of a bullet with a modified frontal part. physical experiment carried out by polygon tests.

Modeling the processes of the bullet's entry into an aquatic environment makes it possible to study the influence of the bullet shape prom in order to reduce the ricochet of the bullet from an aquatic environment while preserving its ballistic characteristics.

Mathematical models aim to predict the behaviour of the test object (bullet from a cartridge with a nomenclature index of  $7,62 \times 54 \text{ mm}$ ) at the time of its impact with the water surface. The physical nature of the process under consideration with the characteristics must be described mathematically by the appropriate method and calculation procedures. There are different types of mathematical descriptions, the most common being deterministic and statistical.

Deterministic models are built on the basis of fundamental theoretical patterns, such as the legal ones of mechanics, physics, thermodynamics, etc.

Statistical models are based on the processing of experimental data.

Due to the complexity of the bullet's process of entering an aquatic environment, no deterministic model has been found in the literature analysed to accurately describe the physico-ballistic and mechanical processes taking place in a function of the shape, speed and trajectory relative to the water surface of the bullet . the bullet's entry into an aquatic environment.

The research object (bullet on a cartridge 7,62x54 mm) is characterized by its geometric parameters. With the help of the collected data, the coefficients of dependence between the input and output parameters of the process of entry and movement of the bullet into the aquatic environment are determined. A vector of states whose elements determine the actual process of entry and movement of the bullet into an aquatic environment is defined. The developed model should be adequate to the process of entry and movement of the bullet into the aquatic environment according to a pre-selected criterion.

When compiling the mathematical model, the following options are possible:

1) The mathematical model is composed as a structural relationship of physical dimensions, but the coefficient values are not known. Then it is necessary to carry out experiments to determine them.

2) The model can be created from one of the functions

$$J_i(x, \theta) (i = 1, 2, \dots, I)$$

where:  $\varphi$  – is a parameter of the process;

$x$  – is a factor of the process.

It is necessary to conduct experiments to refine the model and determine the unknown parameters.

3) The analytical type of the model is unknown.

Due to the complexity of the **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.** of the bullet. water density, angle of inclination of the bullet's trajectory to the surface, additional fluid movement (current), bullet speed, bullet shape, etc., which accompany the bullet movement process from an aquatic environment outline a complex pattern of movement. If the influence of external factors (such as: abrasive wear of the bullet shirt when moving in the barrel canal, deformation of the bullet when hit with the water surface, high humidity with increased salt content in the air, etc.) is also taken into account, then the process of entry will be even more indeterminate. For the reasons set out, an accurate analytical model cannot be drawn up to reflect the complex dependence of the bullet ricochet on an aquatic environment.



### 2.3.2. Selection of statistical modelling model

On the basis of the analysis carried out in Chapter One and the possibilities of the mathematical apparatus of statistical modelling in this dissertation, it is proposed that the modelling be carried out in accordance with the second option. In this variant, the statistical model reflects the interaction between the random dimensions studied, since it is not possible to eliminate external factors or maintain a permanent one.

In order to realize the process of statistical modeling according to the chosen option, a database was created by conducting an experiment on the territory of the Central Artillery Technical Test Field - Zmeiovo. The statistics are collected from experiments with ballistic barrel mounted on stanok "Barinov" when firing the different models of bullets at targets to check the grouping of the shooting, located at 100 metres and on a water surface at different angles of inclination and recording ricocheted bullets from a floating target.

For the compilation of the mathematical model, the method of regression analysis and the method for statistical evaluation of unknown model parameters were used, by finding the relevant point estimates.

Variables are: The acceleration of the bullet when entering the aquatic environment –  $Y$  and the angle of inclination to the water surface  $X$  (the angle concluded between the tangent to the bullet trajectory and the water surface). They are statistically dependent on each other, as changing one leads to changing the other. The main values for determination in the regression analysis are the type of the regression equation and its coefficients  $\beta_{1,2}$ . The regression relationship between  $x$  and the conditional mathematical expectation  $M(Y|X=x)$  **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**

$$M(Y|X = x) = \int_{-\infty}^{+\infty} yf(y|x)dy \quad (2.28)$$

it makes it necessary to examine the statistical relationship between the size of the wear and the quantity of shots produced.

The conditional mathematical expectation  $M(Y|X=x)$  depends on the selected theoretical probability model.

The pattern of regression in the form of

$$M(Y|X = x) = \varphi(x) \quad (2.29)$$

in order to perform the regression analysis procedures and predict the change in wear, it is necessary to know the random magnitude distribution ( $X$ , **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен.** An analysis of the literature [38] [86] [88] [128] shows that the bullet's process of entering an aquatic environment or the statistical relationship between dimensions  $X$ ,  $Y$  is continuous and the  $Y$  parameter is a normally randomly assigned dimension for each  $X$  value.

In the dissertation work a database with volume  $n$  measurements from the performed experiment is considered. Express the results of an experiment  $(x_i, y_{ij})$ , where  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  and  $j = 1, 2, 3, \dots, m$  in the form of points in a Cartesian coordinate system, and the graphical form of systematization of statistical data (correlation field). Based on the volume  $n$  of the sample of statistical data it is necessary to estimate the function of the regression model and predict the conditional mathematical expectation of the random variable  $Y$  corresponding to certain values of the random variable  $X=x$ . **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.** The quantity  $X$  can also take non-random values [81] [108]. **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.** To assess the function of the model, the approximate empirical function of regression or equation of second-genus regression is used, which in the most appropriate way in the sense of a chosen criterion, to approach the unknown pattern of regression. In general,  $M(Y|X = x) = \varphi(x)$ . regression dependence can be recorded in the form of a polynomial

$$\hat{y} = af_1(x_1) + bf_2(x_2) + cf_3(x_3) \quad (2.30)$$

where  $a, b, c \dots$  - are model parameters or regression coefficient estimates.

In order to select the class of empirical functions of regression describing the wear and tear process, it is necessary to perform the following sequence of operations:

- (1) analysis of the experience and research of known authors;
- (2) analysis of the thermal, chemical and mechanical processes accompanying the processes of the shot and the ricochet of the bullet from the aquatic environment;
- (3) a visual assessment of the coordinates of the statistical results of the measurements in the correlation field;
- (4) analysis of the results obtained in  $n$  independent experience  $(x_i; y_{ij})$  taking into account the specific conditions of the experiment.

Given the experience gained in the literature analysed and the physico-ballistic nature of the bullet's entry into the aquatic environment, the graphical interpretation of the dependency of "number of ducts and distance from the top of the bullet-quantity unricoshed bullets" has the appearance of a parabolic or stage curve. Mathematical modeling of the acceleration of the bullet by equations of higher order functions, in particular, through single-factor models of non-linear regression, it proves significantly more adequate than linear process compression.

It is necessary to choose the most appropriate type of curve to most accurately describe the studied dependency, since the variety of non-linear dependencies is too great. The current work deals with several types of polinomias. The estimates of the coefficients of these poliomias in the regression analysis are determined by the smallest **Грешка! Източникът на препратката не е намерен..**

- First functional equation

$$\hat{y}_{x_1} = ax \quad (2.31)$$

For the determination of the regression equation coefficients (2.31) is the composition of a normal linear equation

$$\sum_{i=1}^n y_i = a \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.32)$$

- Second functional equation

$$\hat{y}_{x_2} = ax^2 + bx + c \quad (2.33)$$

For the determination of the regression equation coefficients (2.33) is the composition of a system of two normal equations.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i x_i = b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 = b \sum_{i=1}^n x_i^2 + a \sum_{i=1}^n x_i^3 \end{cases} \quad (2.34)$$

- Third functional equation

$$\hat{y}_{x_3} = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (2.35)$$

For the determination of the regression equation coefficients (2.35) is the composition of a system of three normal equations

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n y_i x_i = b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 = b \sum_{i=1}^n x_i^2 + a \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n y_i x_i^3 = c \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + a \sum_{i=1}^n x_i^4 \end{cases} \quad (2.36)$$

- Fourth functional equation

$$\hat{y}_{x_4} = ae^{bx} \quad (2.37)$$

To determine the regression equation coefficients (2.37) is the composition of a system of two normal equations

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 \end{cases} \quad (2.38)$$

- Fifth functional equation

$$\hat{y}_{x_5} = ae^{bx} + ce^{dx} \quad (2.39)$$

For the determination of the regression equation coefficients (2.39) is the composition of a system of four normal equations

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_i \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + \ln c \sum_{i=1}^n x_i + d \sum_{i=1}^n x_i^2 \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + \ln c \sum_{i=1}^n x_i^2 + d \sum_{i=1}^n x_i^3 \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i^3 + b \sum_{i=1}^n x_i^4 + \ln c \sum_{i=1}^n x_i^3 + d \sum_{i=1}^n x_i^4 \\ \sum_{i=1}^n x_i^4 \ln y_i = \ln a \sum_{i=1}^n x_i^4 + b \sum_{i=1}^n x_i^5 + \ln c \sum_{i=1}^n x_i^4 + d \sum_{i=1}^n x_i^5 \end{cases} \quad (2.40)$$

These systems are always defined and incompatible and make it possible to determine the coefficients of the ricochet process. Solving the systems normal equations is associated with computational difficulties, which is why the results are obtained by applying the software product "Matlab 7.0".

After determining the coefficients, a statistical analysis of the regression equation is performed. A number of procedures are performed for checking hypotheses, such as checking the hypothesis of adequacy of the regression equation, checking the hypothesis of the importance of the coefficients in the regression equation, determining confidence intervals, etc. **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.Грешка! Източникът на препратката не е намерен..**

#### Conclusions:

1. The number of ducts made on the surviving part of the bullet does not have a significant impact on the ballistic coefficient. The magnitude of the ballistic coefficient depends more on the distance of the more distant duct from the tip of the bullet.

2. The position of the bullet in the aqueous cavity is significantly influenced by the whip, which determines whether the underwater trajectory will be directed upwards to the surface, down or in a straight line.

3. The impact of the bullet into the water surface and movement in the cavitation cavity not only affects the underwater trajectory and angular impulse, but is possible to cause damage to the bullet's hull.

4. The equation derived (2.25) describes the relationship between the acceleration of the bullet when hit with the water surface, depending on the angle of inclination of the trajectory at the time of impact and the ballistic coefficient of the corresponding bullet model.

5. The proposed functional equations 2.31; 2.33; 2.35; 2.37 and 2.39 resulting from the statistics processed by the applied software product describe the function of changing the acceleration of the bullet when hit on

the water surface, depending on the angle of inclination of the bullet's trajectory relative to the water surface at the time of impact.

## **CHAPTER III EXPERIMENTAL STUDY OF THE IMPACT OF THE SHAPE OF THE BULLET ON ITS RICOCHET ACTION IN ENCOUNTER WITH AN AQUATIC ENVIRONMENT**

### **3.1. Examination of the impact of the bullet shape on shooting grouping, speed change and ricochet action in the aquatic environment.**

#### **3.1.1. Determination of grouping of 7,62x54 mm cartridges**

The test was carried out to check the functioning of 7.62x54 mm of cartridges after changing the shape of their bullet in order to reduce its ricochet action.

The test shall be carried out with 20 rounds of ammunition from each modification of the bullet.

#### **3.1.2. Examination of the speed change of 7,62x54 mm cartridges**

The test shall be carried out to check the functioning of 7,62x54 mm cartridges after changing the shape of their bullet in order to reduce its ricochet action. The test shall control the change in the speed of the bullet at a distance of 25 metres from the double cut.

The measurement shall be carried out with measuring apparatus provided by CATIP by 20 ammunition rounds from each modification of the bullet.

#### **3.1.3. Ricochet performance study of 7,62x54 mm cartridges**

The test was carried out to check the ricochet action of 7,62x54 mm of cartridges after changing the shape of their bullet.

The test shall be carried out with 20 rounds of ammunition from each modification of the bullet.

### **3.2. Staging of the experiment.**

In order to ensure the implementation of the experiment, it is necessary to decide on the following:

1. Selection of ammunition.
2. Manufacture of technological equipment for the processing of bullets - projection and manufacture of a non-standard cutting tool and non-standard device for gripping the test specimen.
3. Production of channels.
4. Making a target.
5. Making a shooting stand from the shore of the water pool.
6. Provision by measuring instruments.

#### **3.2.1. General**

**The purpose of the study** is to establish the dependencies:

- the impact of the bullet's shape on its ricochet action in an aquatic environment,
- the grouping of bullet hits of 7.62x54 mm cartridges with a steel core in a single shooting.

- the change in bullet speed to 7,62x54 mm of steel-cored cartridge measured 25 metres from the dual cut in a single shooting.

It is necessary to take into account the following:

- the survey was conducted on the Central Artillery Technical Test Field (sub. 26940 – Stara Zagora) – the results were reported with protocols with reg. No 3-18/04.01.2021 and Reg. No 3–2280/13.12.2021;

- specialists from V.Levski National University and 26940 – Stara Zagora university took part in the survey.

#### **Tasks of the study:**

- experimentally study the dependence of the shape of the bullet on its ricochet action in the aquatic environment at different angles of entry into the water in a single shooting;

- experimentally study the grouping of hits of 7,62x54 mm cartridges with a steel core in a single shooting;

- experimentally examine the bullet speed of 7.62x54 mm of steel-cored cartridges 25 meters after leaving the barrel in a single shooting;

**The place for conducting the study** – polygon and water basin in 26940 – Stara Zagora.

#### **3.2.2. Conditions under which the study is carried out**

The conditions under which the survey is carried out must ensure:

- shooting should be carried out in favourable weather conditions (normal weather conditions) – clear and windless weather or indoor shooting ranges; ambient air temperature  $15^{\circ}\div 20^{\circ}$ ; relative humidity of  $65 \pm 5\%$  in accordance with ISO 554-1976.

- the shooting on a water surface is carried out by Barinov ballistic barrel stand, mounted on a specially designed for the experiment stand with four adjustable supports placed on the shore of the water basin next to the water;

- the shooting for examination changes in the speed of the bullet 25 meters from the dual cut to be carried out by stand for ballistic barrel "Barinov", mounted on a concrete foundation;

- the shooting for the examination of grouping to be carried out by stand for ballistic barrel "Barinov", mounted on a concrete foundation;

- combat supplies shall be the main weapons, new, legal, one party and a year of production, in order to reduce the impact of the causes causing a difference in the initial take-off rates of the bullets;

- the temperament of combat supplies shall be carried out in a room with a constant temperature for 24 hours prior to the shooting, the ammunition not being removed from their standard packaging;

- the test is carried out by firing a 7,62 mm ballistic barrel intended for ammunition and 7,62x54 mm;

- shooting distance – 100 m from the barrel to the target shield);

- angle of inclination of the barrel –  $0^{\circ}$  relative to the horizontal plane;

- cool the barrel after producing every 40 shots.

### 3.2.3. Order for carrying out the experiment on the influence of the shape of the bullet on its ricochet action in an aquatic environment.

#### 3.2.3.1. Preparation of weapons and ammunition.

#### 3.2.3.2. Experimental shooting.

The results of the registered ricochet shall be recorded in the logbook of the leader of the fire, and after completion of the experiment shall be described in the Protocol of polygon tests carried out.

### 3.2.4. Order to perform the bullet speed experiment of 7.62x54 mm cartridges with a steel core 25 meters from the barrel in a single shooting.

#### 3.2.4.1. Preparation of weapons and ammunition

#### 3.2.4.2. Experimental shooting

The results of the hits are recorded in the journal of the fire manager, and after completion of the experiment are described in the Protocol of polygon tests conducted and presented in Table 3.1

Table 3.1.

Ammunition /type/, batch	7.62 x 54 mm cartridges D 13-80-10					
Air temperature	15°C					
Charge temperature tempered for 24 hours	18°C					
Model number of agroup of shots	0	1	2	3	4	5
Ammunition fired	20	20	20	20	20	20
Measured speed of 25 mV <sub>25</sub> [m/s]	828	826	824	827	816	811

### 3.2.5. Order for carrying out the experiment for the grouping of hits of 7,62x54 mm cartridges with a steel core on a single shooting.

#### 3.2.5.1. Preparation of weapons and ammunition

#### 3.2.5.2. Experimental shooting

The results of the hits are recorded in the journal of the firing leader, and after completion of the experiment are described in the Protocol of polygon tests conducted.

### 3.3. Development of a physical model of a bullet forming a minimal ricochet action in an aquatic environment.

#### 3.3.1. Description of physical models.

In order to carry out the dissertation work, five models of bullets from a 7.62X54 cartridge with radial ducts located at certain distances from the top of the bullet along the ogive of the nose as follows:



*Fig. 3.1. Bullets. Model 1: with one duct located 3 mm from the bullet tip, Model 2: with two ducts located 3 mm and 6.4 mm from the top of the bullet, Model 3: with one duct located 6.4 mm from the top of the bullet, Model 4: with one duct located 12.7 mm from the top of the bullet, Model 5: with two ducts located at 3 mm and 12.7 mm from the top of the bullet.*

Along with the modified bullets, a control series with a factory bullet, defined as model 0, is fired.

For the production of radial ducts with a certain profile along the ogive of the bullet, a string knife with a hard alloy plate is used, the tip of which is insused with a shape like the profile of the duct.

The depth of the duct is set at 0.25 mm, given the thickness of the bullet's shirt of 1 mm, so as not to result in the destruction of the shirt in the event of a shot due to the large forces acting on the bullet as it movements into the barrel canal and when it hits the target.

### **3.3.2. Determination of cutting modes.**

### **3.3.3. Technological equipment**

For the production of the ducts forming a cavitation cavity in case of impact with a water surface is used on a universal metal cutting machine. A knife sharpened in the shape of a channel was designed and made. A non-standard device has been designed and manufactured - a collet mandrel according to the dimensions of the ammunition cartridge case with a stable fixing of the cartridge for the barrel of the cartridge case, as the crown rests on the rear end of the mandrel.

### **3.3.4. Mass characteristic of a bullet with a modified ogive.**

The calculations show that the largest difference in mass obtained is less than half of the margin of error in the bullet mass differences, and at an average value of the masses of factory bullets, the mass of the processed bullets remains in the tolerances for mass of the ammunition with a nomenclature index of 7,62x54 mm.

## **3.4. Development of a floating target for registering ricochets of bullets from the aquatic environment.**

A floating target with a shield with a phaser of dimensions 1,7 m × 1,5 m shall be designed and constructed to read the ricochet of the aquatic environment.

## **3.5. Manufacture of an adjustable stand for fastening stand "Barinov".**

For the sustainable attachment of stand "Barinov" is made stand, which allows sustainable fixation of the stand, its horizontalization and its stable condition on the shore of the pool.

### **3.6. Results of the experimental study.**

#### **3.6.1. Determination of the results of the shooting grouping in the shape of the bullet.**

The firing is carried out by a ballistic barrel mounted on stand "Barinov".



The grouping of 100 m of the dual cut for the ammunition used and the ballistic barrel used by producing 20 shots with each model of bullets is determined.

The greater value of the two measurements on the horizontal and vertical axes shall be taken as the value of the grouping.

### **3.6.2. Determination of the results of the speed change in the shape of the bullet.**

The firing is carried out by a ballistic barrel mounted on stand "Barinov".

Determine the bullet speed of 25 m from the barrel for the ammunition party used and the ballistic barrel used by producing 20 shots with each bullet model, with bullet speed measuring equipment Drello Bal 4040 and WEIBEL SCIENTIFIC WinDopp 1.5.50.29.

### **3.6.3. Determination of the results of ricochet action in the aquatic environment in the shape of the bullet.**

The recording of the results shall be carried out after counting the number of hits on the target lists placed on the shield of the floating target.

#### **Conclusions:**

1. On the basis of theoretical studies conducted and the experience of polygon practice, a methodology for polygon tests has been drawn up to study the influence of the bullet shape on the grouping of shooting, speed change and ricochet action in the aquatic environment.

2. The designed and manufactured technological devices for the development of ducts for changing the geometric shape of the bullet, a target for registering ricochets of bullets from an aquatic environment, a stand with devices for the sustainable attachment of stand "Barinov" on the shore of a pool ensure the successful execution of the experiment.

3. The constructed ducts on the ogive of the processed bullets affect the speed of their movement, measured 25 meters from the barrel, with the ducts along the ogive furthest from the top of the bullet (model 4 and 5) reducing the speed the most.

4. At an angle of impact of  $2^\circ$  there is an increase in the height of the ricochet of the processed bullets compared to those obtained by firing standard ammunition, indicating that the processed bullets do not bounce off the water surface but enter the aquatic environment, then ricochet with ricochet angles greater than the angle of encounter with the water surface.

5. At angles between  $2^\circ$  and  $8,8^\circ$  for state bullets and between  $1^\circ$  and  $8,7^\circ$  for modified bullets, a ricochet action is observed after entering the aquatic environment.

6. At prone angles of  $8.8^\circ$  for state bullets and  $8.7^\circ$  for modified bullets, ricochets begin to decrease and bullets remain below the water surface.

7. At angles of inclination above  $15^\circ$  for state bullets and over  $14^\circ$  for modified bullets, ricochets are absent and all bullets remain below the water surface.

## Chapter IV PROCESSING OF RESULTS AND ASSESSMENT OF MODEL ADEQUACY

### 4.1. Determination of the required minimum number of experimental data.

After performing the calculations, for a minimum number of test data we received  $b=12,665$ . The selected number of shots in the series is 20 cartridges per series model, which satisfies the required minimum number of experienced data.

### 4.2. Criterion for assessing the adequacy of models.

In the modeling of multifactorial objects, two assessments are of great importance, which during the time are obtained before or in parallel with the main experiment and precede the mathematical processing of experimental data: the assessment of the dispersion of the equivalent disturbing impact  $\varepsilon$  and the assessment of the manageability of the site. The first of these evaluations plays a significant role in conducting the overall statistical analysis of the model and the second is used to assess the appropriateness of modelling.

### 4.3. Statistical model of the bullet entry process into the aquatic environment.

The statistical model of the bullet's process of entering the aquatic environment is a multifactorial regression model compared to the accepted statistical model under normal shooting conditions. But due to the complexity of quantitative reporting individually, the influence of each of the factors of the climate and other natural class is applied a one-factor model in which the whole process of entering the bullet into the aquatic environment is presented complexly as one factor.

Experiments have been carried out taking into account the number of ricochets of bullets from the aquatic environment when shooting at different angles of inclination to the water surface with different models of bullets, on the enliven part of which there are made radial channels. The statistical data from the experiment are presented in table 4.1, Appendix 4.

In modeling the process of entering the bullet into an aquatic environment, the same empirical dependencies as in item 2.2, which have the type of

$$\hat{y}_{x_1} = ax \quad (4.20)$$

$$\hat{y}_{x_2} = ax^2 + bx + c \quad (4.21)$$

$$\hat{y}_{x_3} = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (4.22)$$

$$\hat{y}_{x_4} = ae^{bx} \quad (4.23)$$

$$\hat{y}_{x_5} = ae^{bx} + ce^{dx} \quad (4.24)$$

The software product "Matlab - version 7.0" was used to process the data. The procedure applied for regression analysis of statistics and selection of the most appropriate model is described in detail in Chapter II, item 2.2. The results obtained for the assessments of regression equation coefficients (4.20, 4.21, 4.22, 4.23 and 4.24) are set out in tables (4.1, 4.2,

4.3, 4.4 and 4.5) and their graphs are indicated in figures (Fig. 4.1, Fig. 4.2, Fig. 4.3, Fig. 4.4 and Fig. 4.5).

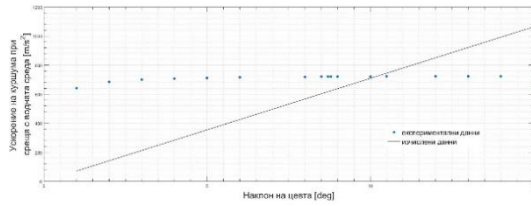


Fig. 4.1. Comparison of experimental data with the data calculated by the first regression equation.  $\hat{y}_{x_1} = 70,92x$

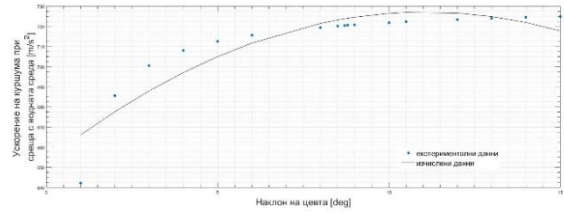


Fig. 4.2. Comparison of experimental data with the data calculated by the second regression equation.  $\hat{y}_{x_2} = -0,6023x^2 + 13,3x + 653,4$

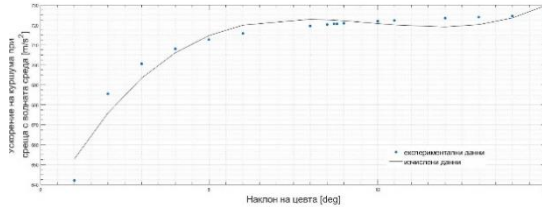


Fig. 4.3. Comparison of experimental data with third regression equation data.  $\hat{y}_{x_3} = 0,1178x^3 + (-3,471)x^2 + 32,65x + 623,5$

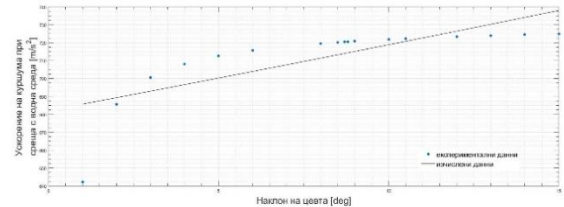


Fig. 4.4. Comparison of experimental data with the data calculated by the fourth regression equation.  $\hat{y}_{x_4} = 682,1e^{0,005266x}$

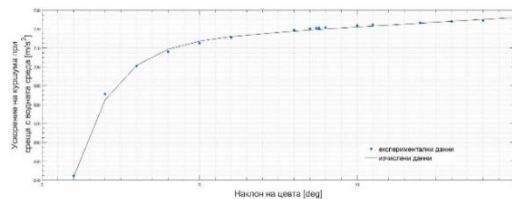


Fig. 4.5. Comparison of experimental data with the data calculated by the fifth regression equation.  $\hat{y}_{x_5} = 711,2e^{0,001387x} + (-162)e^{(-0,847)x}$

#### 4.4. Model of the ricochet action of a simple medium-caliber bullet for a firearm.

The experiment performed and the established intensity of the bullet ricochet from the aquatic environment at different angles of encounter with the water surface gives us reason to perform statistical modelling of the process of the bullet entering the aquatic environment. By applying the theory of statistical analysis, the accuracy of the assessments obtained by the model can be established. Evaluation of the resulting models is carried out on the basis of the indicators given in Table 4. 6

Table 4. 6

Model type	SSE	R-square	DFE	Adj R- sg	RMSE
$\hat{y}_{x_1} = ax$	$1,559 \cdot 10^6$	-225,5501	16	-225,5501	312,1502
$\hat{y}_{x_2} = ax^2 + bx + c$	$1,1475 \cdot 10^3$	0,8332	14	0,8094	9,0534
$\hat{y}_{x_3} = ax^3 + bx^2 + cx + d$	372,6916	0,9458	13	0,9333	5,3543
$\hat{y}_{x_4} = ae^{bx}$	$2,9343 \cdot 10^3$	0,5736	15	0,5452	13,9863
$\hat{y}_{x_4} = ae^{bx} + ce^{dx}$	15,3713	0,9978	13	0,9973	1,0874

Compared with experimented regression equations are presented in Fig . 3. 4.6.

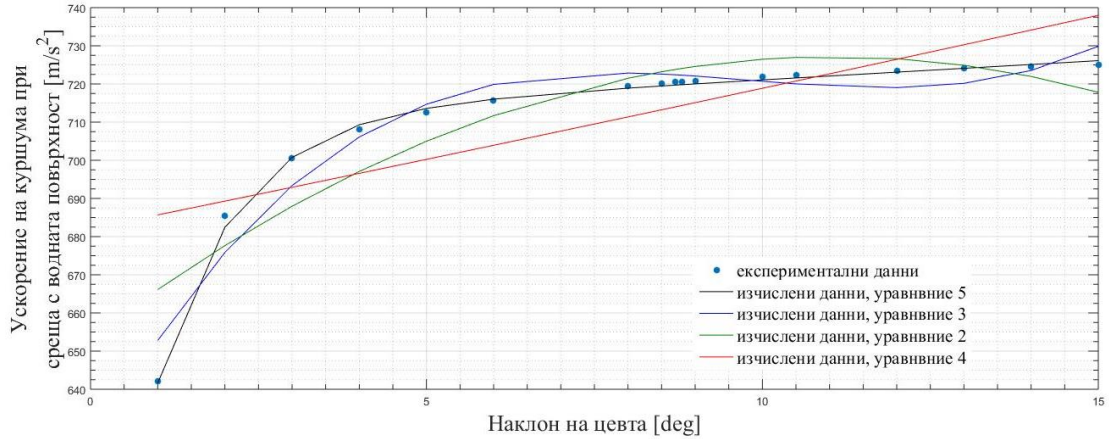


Fig. 4.6. Graphical comparison of models according to experimental data.

Based on the calculated estimates, the regression equation (4.24) is considered to be a mathematical model describing the relationship of the acceleration of the bullet's entry into water and the angle of encounter with the water surface.

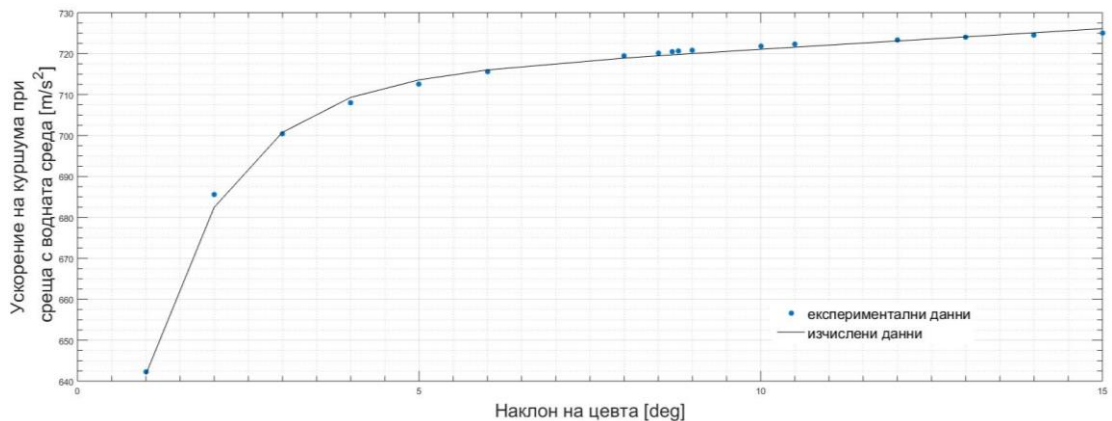


Fig. 4.7. Comparison of experimental data with the data calculated by the regression equation for standard boepripass.  $\hat{y}_{x_5} = 711,2 \cdot e^{0,001387 \cdot x} + (-162)e^{(-0,847)x}$

#### 4.5. Model of the ricochet action of a medium-caliber bullet for a firearm with altered geometry of the enliven part

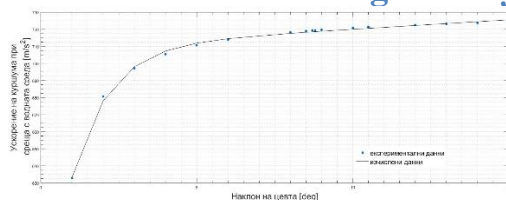


Fig. 4.8. Comparison of experimental data with regression-calculated vehicle data, Model 1, with modified ogive with a duct of 3 mm from the tip of the bullet.  $\hat{y}_{x_5} = 709,1 \cdot e^{0,001536x} + (-178,2)e^{(-0,8438)x}$

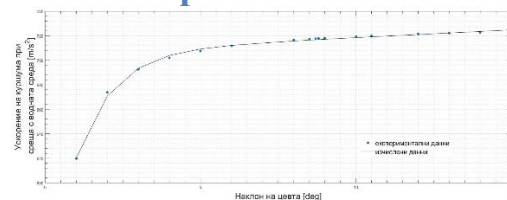


Fig. 4.10. Comparison of experimental data with regression regression data, Model 3, with modified ogive geometry with a duct of 6,4 mm from the tip of the bullet.  $\hat{y}_{x_5} = 706,1 \cdot e^{0,001748 \cdot x} + (-200,9)e^{(-0,8392)x}$

Fig. 4.11. Comparison of experimental data with regression data, Model 4, with modified ogive with a duct of 12,7 mm from the tip of the bullet.  $\hat{y}_{x_5} = 697,6 \cdot e^{0,002352 \cdot x} + (-262,8)e^{(-0,8261)x}$

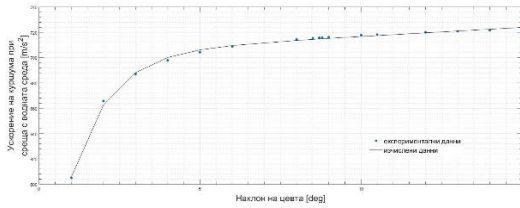


Fig. 4.9. Comparison of experimental data with the regression equation-calculated boepass data, Model 2, with modified ogive with ducts of 3 mm and 6,4 mm from the tip of the bullet.  $\hat{y}_{x_5} = 702,7 \cdot e^{0,001992 \cdot x} + (-226,3)e^{(-0,8339)x}$

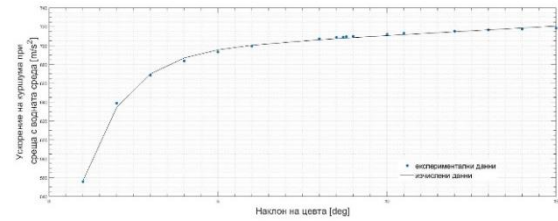
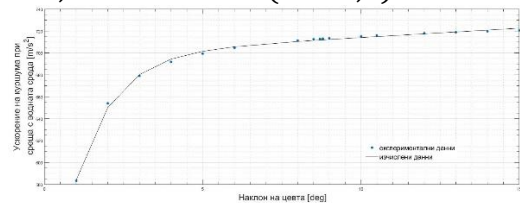


Fig. 4.12. Comparison of experimental data with regression-calculated vehicle data, Model 5, with modified ogive with ducts of 3 mm and 12,7 mm from the top of the bullet.  $\hat{y}_{x_5} = 691 \cdot e^{0,002813 \cdot x} + (-308,6)e^{(-0,8158)x}$

#### 4.6. Comparative analysis of the equations studied of the process of entering the aquatic environment.

The following dependencies shall be observed when carrying out a comparative analysis of the acceleration change equations studied:

- At one degree of gradient of the barrel, the acceleration values in encounter with the aquatic environment of the different bullet models with altered geometry of the ogive are different, the highest being the acceleration value of the standard bullets.
- In the presence of one duct, the acceleration value is greater than that of the bullet with two ducts (the acceleration of a bullet with ducts of 3 and 6,4 mm from the tip of the bullet of the Model 2 bullet is less than the acceleration of a bullet and the Model 1 and Model 3 with one duct of the specified distances from the top of the bullet. The same applies to a bullet with ducts of 3 mm and 12,7 mm, Model 5).
- By increasing the angle of encounter with the water surface, the difference in the accelerations of the models decreases.

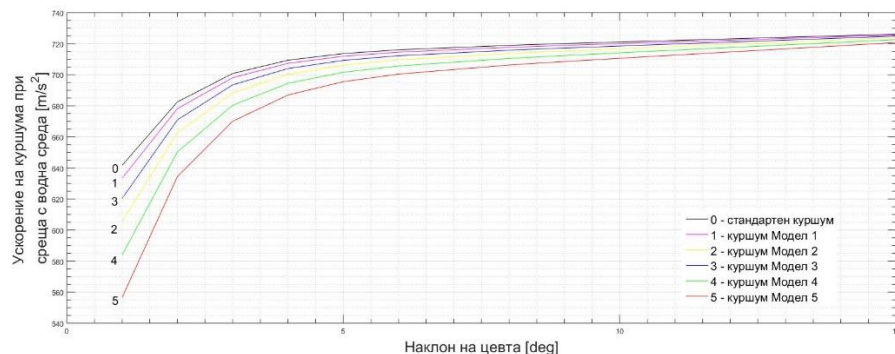


Fig. 4.13. Comparison of the calculated data for the different ammunition models, with a modified geometry of the ogive of the bullet, with the calculated data for a standard bullet.

#### 4.7. Assessment of the adequacy of the acceleration modification model in the shape of the bullet.

In view of getting correct results and shortening the task resolution time, the following procedures have been implemented through "Statistics Toolbox" of "Matlab - version 7.0":

The results after performing the calculation procedure for statistical analysis of equations for the different models and at a confidence interval 95% are given in table. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 and 6.6 of Annex 6.

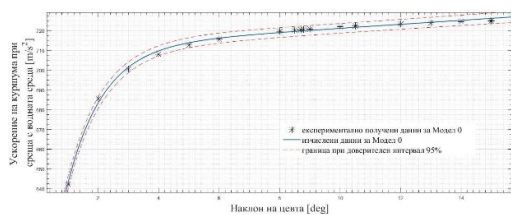


Fig. 4.14. Results of the processing of Model 0 statistics at a confidence interval of 95%.

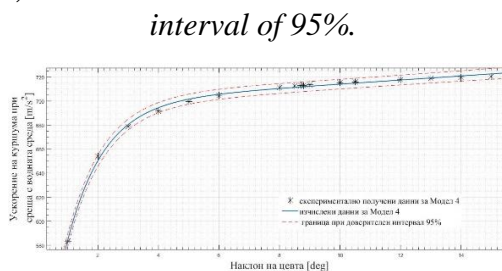


Fig. 4.18. Results of the processing of Model 4 statistics at a confidence interval of 95%.

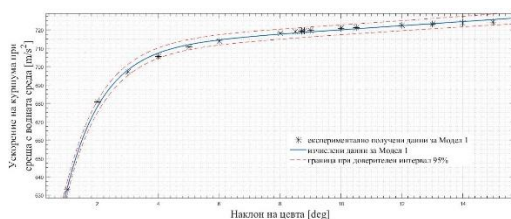


Fig. 4.15. Results of the processing of Model 1 statistics at a confidence interval of 95%.

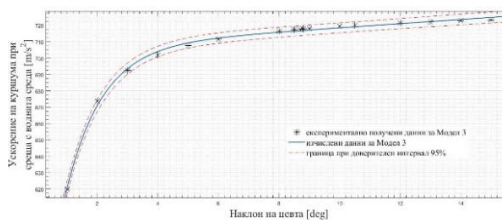


Fig. 4.17. Results of the processing of Model 3 statistics at a confidence interval of 95%.

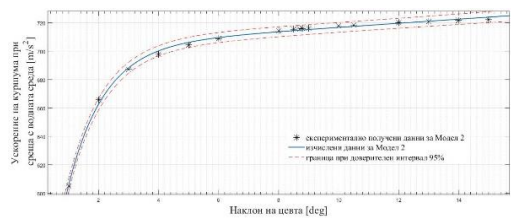


Fig. 4.16. Results of the processing of Model 2 statistics at a confidence interval of 95%.

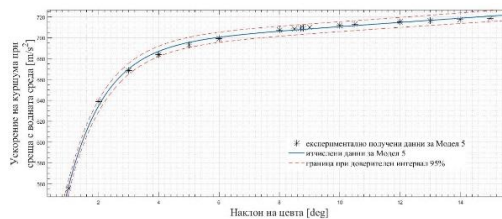


Fig. 4.19. Results of the processing of Model 5 statistics at a confidence interval of 95%.

In the development of the statistical ricocheting models, the database composed of the results of the experiments carried out in CTIP at an ambient temperature of +20 °C was used.

The comparative analysis of the results of the tests on the entry into water of standard and processed bullets shall give rise to the following conclusions:

1. The structure of empirical dependency describing the entry process is the same for both standard and processed bullets.
2. The difference between the selected model consists in the estimates of the regression equation coefficients.
3. When entering an environment, bullets with radial channels along the enliven part cause a smaller number of ricochets at smaller angles and do not create ricochets at less than standard bullets.

#### 4.8. Processing of results and assessment of the grouping of hits in single bullet shooting with altered geometry of the revitalized part.

According to the Polygon Test Methodology, the grouping of 100 m of the dual cut for the ammunition used and the ballistic barrel used by producing 20 shots with each model of bullets is determined.

For the assessment of the value of the grouping of the firearm, it is accepted that the same is to be regarded as a circle of diameter  $D_{100}$  in which 100 % of the hits fall. For the purpose of more precise examination of grouping change, it is considered not as a circle but as an ellipse of distraction consisting of a large and small axis (Figure 2.10). For the diameter values of the grouping circle ( $D_{100}$ ) the value of the larger of the two axes shall be taken.

It is necessary to calculate the value of the distance between the coordinates of the hit points. This can be achieved by means of the formulae:

- for the vertical plane:

$$\Delta Y = Y_{max} - Y_{min} \quad [mm] \quad (4.37)$$

- for the horizontal plane:

$$\Delta X = X_{max} - X_{min} \quad [mm] \quad (4.38)$$

In order to more precisely determine the values of the large and small axis of the distraction ellipse, it is necessary to conduct experimental shootings in which their values for the party of combat supplies used will be obtained.

After determining the values of the large and small axis of the ellipse of the scattering using formulas 4.37 and 4.38, the diameter value of the grouping ( $D_{100}$ ).

The measured coordinates of the bullet hits in the hit grouping experiments carried out are presented in Table 8.1 of Annex 8.

The results of the calculations carried out according to formulas 4.37 and 4.38 are given in Table 13.

Table 13

Line No.	Type of bullets in the series	$\Delta X$	$\Delta Y$
1.	Model 0	96	104
2.	Model 1	93	196
3.	Model 2	101	152
4.	Model 3	124	145
5.	Model 4	128	174

6.	Model 5	105	130
----	---------	-----	-----

### Conclusions:

1. The selected statistical model of the bullet's process of entering the aquatic environment (4.24) is adequate and describes with confidence  $R\text{-square}=0,9978$  for the factory and for all models of processed bullets, the difference being concluded in the regression equation coefficients.

2. The acceleration of impact with the water barrier depends on the position and number of channels made on the ogive of the bullet, with the ducts located backwards from the tip of the bullet having a greater impact on the ricochet action.

3. The grouping of aerial shooting hits is influenced by the number and position of the ducts, the deviation from the grouping of the standard battle pass being at least in the two-ducts models (model 2 and 5) and the grouping of the Model 5 deviating to the least extent from the grouping of the standard war pass.

### Conclusion.

The factors affecting the ricochet effect of the bullet in the aquatic environment are: the acceleration of the bullet at the moment of encounter with the water surface, the angle that is concluded between the tangent to the trajectory of the bullet and the plane of the water surface at the moment of encounter with the water surface, the shape of the frontal part of the bullet.

The channels made on the surviving part of the bullet affect the change in speed, the grouping of hits in the air environment and the ricochet action in the aquatic environment, and the bullets with ducts located on the ogive furthest from the top show the closest results to the desired values of the ballistic and hydroballistic parameters.

The statistically determined empirical dependence describing the process of entering the aquatic environment is structurally the same for both standard and processed bullets, the difference being expressed in the estimates of the regression equation coefficients.

When entering the aquatic environment, bullets with radial ducts along the ogive cause a smaller number of ricochets at smaller angles and do not create ricochets at smaller angles than standard bullets, which is due to the influence of the ducts on the ricochet action of the bullet.

Existing cavitating munitions allow for a minimum number of ricocheting, but have ingly-tested ballistic qualities in an aerial environment.

When limiting the ricochetaction from the aquatic environment to a standard combat fuel by a revised front of a bullet, there is a minimal change in external ballistic parameters, indicating a better preservation of the combat characteristics of the processed standard bullet than the cavitation.



The number of channels made on the surviving part of the bullet does not have a significant impact on its ballistic coefficient, but depends more on the location of the channel farther from the top of the bullet.

The bullet's late movement in the cavitation cavity affects its underwater trajectory and angular impulse and leads to deformation tensions in the bullet's hull elements.

An equation is derived describing the relationship between the acceleration of the bullet when hit with the water surface depending on the angle of inclination of the trajectory at the moment of impact and the ballistic coefficient of the corresponding bullet model.

Equations of the acceleration of the bullet on impact to the water surface as a result of the statistics processed are drawn, in a function of the angle of inclination of the bullet's trajectory relative to the water surface.

The critical angle, which has a value of  $15^\circ$  for the state bullets and  $14^\circ$  for modified bullets, with no ricochet and all bullets remaining under the water surface, has been determined.

A statistical model has been chosen that is adequate and describes the process of the bullet entering the aquatic environment for the factory environment and for models of processed bullets, the difference being in the regression equation coefficients.

The grouping of aerial shooting hits depends on the number and location of the channels, the deviation from the grouping of the standard battle stock being at least in the two-channel models.

### **List of thesis publications**

1. Lazarov R. N., Analysis of the factors affecting the stability of the bullet when it moves in an environment with different density, Collection of reports from international scientific conference "Defense Technology Forum 2018", Shumen 2018, p. 142-146, ISSN 2367-7902.

2. Lazarov R. N., Analysis of the pattern of penetration of the bullet into a water barrier and the methods for changing its shape in order to limit its ricochet action, Compendium of reports from scientific conference "Current security problems", NWU "Vev. Levski" – volume 7, Veliko Tarnovo, 2019 p. 124-129, ISSN 2367-7465.

3. Ganev B. C., Lazarov R. N., Experimental study of the influence of the shape of the bullet on its ricochet action in encounter with water surface, Collection of reports from scientific conference "Logistics and Public Systems", University of Transport "Vev. Levski", Veliko Tarnovo, 2021, p. 175-182, ISSN 2738-8042.

The author's report does not contain classified information.