



НАЦИОНАЛЕН ВОЕНЕН УНИВЕРСИТЕТ „ВАСИЛ ЛЕВСКИ”

ФАКУЛТЕТ „АРТИЛЕРИЯ, ПВО И КИС”

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

КАТЕДРА „ВЪОРЪЖЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ”

старши лейтенант инж. **ЯНА ДИМИТРОВА ДИМИТРОВА**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд

за присъждане на образователната и научна степен „доктор”

на тема: **ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА
ТРИБОЛОГИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА
ШУМОЗАГЛУШИТЕЛЯ ВЪРХУ ГРУПИРАНОСТТА
ПРИ СТРЕЛБА СЪС СТРЕЛКОВО ОРЪЖИЕ**

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. Цоню Григоров Цонев

ШУМЕН 2021

Дисертационния труд е обсъден на катедрен съвет на катедра „Въоръжение и технологии за проектиране“ при Факултет „Артилерия, ПВО и КИС“ на Национален военен университет „Васил Левски“ на 05.01.2021 г. и е насрочен за защита пред научно жури на Факултет „Артилерия, ПВО и КИС“, по научната специалност „Динамика, балистика и управление на полета на летателни апарати“.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 15.03.2021 г. от 11:00 ч. в в брифинг зала № 7302 в Департамент „Чуждоезиково обучение“ при Факултет „Артилерия, ПВО и КИС“ на Национален военен университет „Васил Левски“.

Докторантът заема академична длъжност „асистент“ в катедра „Въоръжение и технологии за проектиране“ при Факултет „Артилерия, ПВО и КИС“ на Национален военен университет „Васил 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 трибологичните характеристики на шумозаглушителя върху групираността при стрелба със стрелково оръжие”

Автор: ст. лейт. инж. Яна Димитрова Димитрова

Брой на страниците: 133 листа.

Брой на таблиците – 10.

Брой на фигурите – 38.

Брой на литературните източници – 117.

Брой на публикациите по дисертацията – 3.

Приложения – 92 страници (21 приложения).

Тираж – 5 бр.

Излиза от печат на 15.02.2021 г.

Печатна база: издателски комплекс на Факултет „Артилерия, ПВО и КИС“ гр. Шумен при Национален военен университет „Васил Левски“.

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност на дисертационния труд

Нарастването на икономическите, политическите и културните връзки между държавите извежда на преден план нови заплахи за международния мир и сигурност. Понастоящем една от най-големите заплахи за сигурността в национален и международен план е тероризмът, който има за цел налагане на политически и икономически идеи, чрез насилие върху цивилното население.

Повишаването на терористичната дейност доведе до разширяване на кръга от задачи, изпълнявани от въоръжените сили на Република България. Част от новите задачи поставени за изпълнение пред военните формирования са свързани с неутрализирането на терористични групировки и пара военни формирования.

С развитието на информационните технологии терористичните организации умело децентрализират структурите си, инфилтрират се в обществото и прилагат разнообразни методи на действия, което затруднява тяхното неутрализиране.

Това от своя страна налага промяна в традиционните схващания за военни действия и тактическо използване на въоръжението на военните формирования и в частност на стрелковото оръжие.

В значителна част от случаите, поради спецификата на антитерористичната дейност, е необходимо да бъде прикрит звука от изстрела. Това налага използването на специално оборудване за стрелковото оръжие на военните формирования, изпълняващи антитерористични задачи. Част от това специално оборудване са шумозаглушителите, предназначени за намаляване на звука предизвикан от изстрела.

Шумозаглушителите, както и всяко допълнително техническо устройство, което се монтира на стрелковото оръжие оказват влияние и променят балистичните характеристики на стрелковите системи. В резултат от техните габаритно-масови параметри се изменя честота на трептене на стрелковите цев и се измества центъра на масата на стрелковата система, което от своя страна променя устойчивостта на оръжието. Това оказва съществено влияние върху ъгъла на излитане на куршума, поради което са извършени множество изследвания свързани с този проблем и за отстраняване на влиянието му са внедрени различни методи.

Друг недостатък се явява преминаването на куршумът през обтюратор, при конструктивно проектираните шумозаглушители с гумени обтюратори. Контактът на куршума с обтюратора е свързан с проявяване на сили на триене, възникващи в резултат на трибологичните характеристики на двата детайла. Тези сили на триене изменят стойността на постъпателната и ъглова скорости

на куршума, което довежда до изменение на траекторията, описвана от същите по време на техния полет, което оказва съществено влияние върху бойната ефективност на стрелковото оръжие.

От друга страна развитието на технологиите за изработването на средствата за индивидуална балистична защита и все по-широкото им използване налага необходимостта стрелковите системи да имат висока бойна ефективност, дори и в случаите, когато на тях са монтирани допълнителни устройства.

Два от основните показатели за оценка на бойната ефективност на стрелковото оръжие са: групираността и точността при стрелбата.

Анализирането на достъпната литература показва, че монтирането на шумозаглушител на стрелковото оръжие води до промяна на тези показатели.

Понижената бойна ефективност на оръжията, снабдени с шумозаглушители може да доведе до неизпълнение на поставените задачи и да увеличи количеството на загубите на собствен личен състав.

Групираността и точността на стрелбата се влияят от множество фактори, голяма част от които са щателно проучени и са разработени методи за отстраняване на влиянието им.

Анализът на достъпната литература показва, че в Република България проучвания, изследващи влиянието на трибологичните характеристики на шумозаглушителя върху групираността и точността на стрелбата не са извършвани.

Не могат да бъдат открити и данни от извършвани изследвания, свързани с определяне изменението на групираността и точността на стрелковото оръжие с монтиран шумозаглушител от камерен тип с гумен обтюратор.

В световен мащаб за разрешаването на този проблем се наблюдава тенденция за разработване на нови специални бойни припаси или нови конструкции шумозаглушители без гумен обтюратор.

На основание описаното дотук, **целта на дисертационния труд** е да се изследва влиянието на трибологичните характеристики на шумозаглушител от камерен тип с гумен обтюратор върху групираността при единична стрелба със стрелково оръжие.

За постигане на поставената цел е необходимо да се решат следните комплексни задачи:

- да се анализират факторите, оказващи влияние на групираността при стрелба с шумозаглушител и съвременното състояние на изследванията в това направление;

- да се създаде аналитичен модел за подобряване на групираността като се отчита влиянието на трибологичните характеристики на шумозаглушителя;

- да се извърши експериментално изследване на влиянието на трибологичните характеристики на шумозаглушителя върху групираността при единична стрелба;

- да се извърши оценка на адекватността на разработения аналитичен модел за подобряване на групираността.

Обект на изследването е шумозаглушител камерен тип с гумен обтюратор – ПБС-1.

Предмет на изследването са възникващите сили на триене в резултат от трибологичните характеристики, проявяващи се при контакта на куршума с гумения обтюратор на шумозаглушителя при единична стрелба.

Работната хипотеза на представената разработка се гради на възможността да се постигне подобряване на групираността при единична стрелба чрез намаляване влиянието на силите на триене възникнали при преминаването на куршум през гумен обтюратор на шумозаглушител, посредством изработване на цилиндричен отвор с определен диаметър в гумения обтюратор, без да се окаже съществено влияние върху нивото на шумоподтискането.

2. Методи на изследването

При разработването на дисертационния труд са използвани: анализ на факторите, системния подход и математическо моделиране при изследване на процесите, описващи преминаването на куршум през гумен обтюратор на шумозаглушител.

Математическият апарат, приложен за разработването на аналитичните модели, използва: математична алгебра, инженерна трибология, балистика и динамика на движението на твърдо тяло.

С цел реализиране на поставените задачи се налага въвеждането на следните **ограничения**:

- ще бъде изследвано само влиянието на силите на триене възникнали при контакта на куршума с гумения обтюратор на шумозаглушителя, в резултат от трибологичните характеристики, върху групираността при единична стрелба;

- като конструктивна схема на шумозаглушител камерен тип с гумен обтюратор се разглежда тази, на която е реализиран шумозаглушителя ПБС-1;

- няма да се отчита влиянието на други фактори, оказващи влияние върху групираността при единична стрелба;

- няма да се разглежда първия изстрел, при който се пробива обтюратора;

- няма да се отчитат трептенията на цевта;

- няма да се отчита влиянието на последствието на газовете;
- групираността при единична стрелба ще се определя на стандартното за проверка боя на автомат „Калашников“ – АК-47 разстояние от 100 m, като се използват 7,62x39 „УС“ патрони, предназначени за стрелба с шумозаглушител ПБС-1.

3. Научни и практико-приложни приноси

На основание извършения анализ, изведения аналитичен модел, експерименталните изследвания, получените резултати и направените изводи от тях, могат да бъдат посочени следните приноси:

1. Доразвита е теорията за определяне на силите на триене, при контактна схема метал-полимерен материал.
2. Доразвита е теорията за определяне на координатите на точките на попаденията във вертикалната и хоризонталната равнини на мишената в декартова координатна система.
3. Разработен е аналитичен модел за изследване изменението на постъпателната и въртеливата скорост на куршум при преминаването му през гумен obturator на шумозаглушител.
4. Разработен е аналитичен модел за изследване влиянието на силите на триене възникващи между куршума и гумения obturator върху групираността при единична стрелба със стрелково оръжие с монтиран шумозаглушител с гумен obturator.
5. Разработен е аналитичен модел за определяне на групираността при единична стрелба със стрелково оръжие с монтиран шумозаглушител от камерен тип с гумен obturator.
6. Експериментално е установен максималния диаметър ($d = 6,5 \text{ mm}$) на цилиндричния отвор в гумения obturator, който не оказва влияние върху правилната работа на автоматиката на оръжието.

4. Аprobация: резултатите от теоретичните и експерименталните изследвания са докладвани и обсъждани на: Международна научна конференция „Отбранителни технологии“ на Факултет „Артилерия, ПВО и КИС“ - гр. Шумен през 2017 г. и Международна научна конференция на Научно-техническия съюз по машиностроене - „Industry 4.0“ проведена в курортен комплекс Боровец през 2018 г.

II. СТРУКТУРА И ОБЕМ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

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 133 страници с 10 броя таблици, 38 броя фигури, 92 страници приложения. Литературната справка включва 117 литературни източника.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА ПЪРВА

АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ПРОБЛЕМА

1.1. Анализ на принципната схема на изследвания обект – шумозаглушител ПБС-1

Шумозаглушителя ПБС-1 спада към камерния тип на шумозаглушители, като конструктивната му схема е проектирана с гумен обтюратор.

Предимствата на шумозаглушителя ПБС-1 са: високата му надеждност, достатъчната му ефективност, лесното обслужване и лесната изработка на конструкцията, което го превръща в широко използван във въоръжените сили на редица държави, включително и Република България.

Недостатъците на шумозаглушителя ПБС-1 са: необходимостта на подмяната на стандартната мерна пластина с тази за стрелба с УС патрони; голямото количество барутен нагар отделяно от УС патроните; нестабилната балистика на УС патроните и спадът в началната скорост на куршума.

Анализирането на достъпната информация показва, че контакта на куршума с гумения обтюратор е една от причините пораждащи нестабилната балистика и спадът в началната скорост на куршума. При контакта на куршума с обтюратора възникват сили на триене, които понижават дулната енергия на куршума и от там се изменят постъпателната и ъгловата му скорост. Този процес води до промяна в траекторията описвана от куршума и от там до изменение на групираността и точността на стрелбата.

В достъпната литература, не се откриват данни и резултати от изследвания свързани с проблема насочени към подобряване на групираността на стрелбата чрез управление на силите на триене. Изследването на проблема, установяването и внедряването на метод за подобряване на групираността на стрелбата е необходимо от гледна точка на това, че подобряването на групираността ще повиши ефективността на шумозаглушителя, което ще подобри и бойната ефективност на стрелковото оръжие.

1.2. Анализ на факторите, които оказват влияние на групираността при стрелба с шумозаглушител

В дисертационния труд е извършен анализ на факторите оказващи влияние върху групираността при стрелба с шумозаглушител. Впредвид наложените **ограничения и целта** на дисертационния труд се изследва само изменението на скоростите на куршума, в резултат от трибологичните

характеристики, проявяващи се при контакта на куршума с гумения обтюратор на шумозаглушителя.

Б) Изменение на скоростите на куршума вследствие на трибологичните характеристики, проявяващи се при контакта на куршума с гумения обтюратор на шумозаглушителя

Загубата на част от скоростта на постъпателно и въртливо движение на куршума води до дестабилизирането му и изменение на времето, траекторията и разстоянието на полета на куршума, което оказва влияние върху точността и групираността на стрелбата.

Поради липсата на информация в достъпната литература, с цел придобиване на по-прецизна информация за същността на проблема и изменението на групираността на стрелбата, се обоснова необходимост от провеждането на експериментални стрелби.

При проведеното изследване са произведени 10 серии от по 20 изстрела. Получените резултати са изобразени графично на фигура 1.4.

От анализа на данните може да се направи извода, че вследствие влиянието на гумения обтюратор, изменението на групираността се описва по сложен математически закон, което не дава възможност за прогнозиране на очакваното попадение, в процеса на стрелбата. В резултат на това значително се намалява възможността стрелящият да внесе корекции по време на стрелбата, което затруднява изпълнението на поставените му задачи.



Фиг. 1.4. Графика на изменението на разстоянието между двете най-отдалечени попадения във вертикалната и хоризонталната равнина.

1.3. Анализ на моделите за определяне силите на триене в резултат на трибологичните характеристики между два детайла

Като се изключат специфичните условия на изследвания проблем и се разгледа движението на куршума през гумения обтюратор, като контактна схема, може да се заключи, че при този процес възникват следните сили:

- сила на триене при плъзгане;
- сила на триене при търкаляне;

- сила на триене от течението на газовете;
- адхезионна сила на триене.

1.3.1. Анализ на аналитичните модели за определяне силите на триене, в резултат на трибологичните характеристики между два детайла

Анализът на достъпната литература показва, че за контактната схема куршум-гумен обтюратор на шумозаглушител, трябва да се разглеждат силите на хидродинамичното триене, понеже има наличие на барутни газове, които се движат между двата детайла. Разглеждането на тези сили на хидродинамично триене е наложително поради факта, че присъствието и на минимално количество флуид значително променя характера на силите на триене.

В съответствие с това, при определянето на динамичната сила на триене при плъзгане, може да се използва широко приетата зависимост на Нютон за хидродинамичното триене [9, 36]:

$$F_{sl} = \eta \cdot S_a \cdot G \quad [\text{N}], \quad (1.1)$$

където: F_{sl} – сила на триене при плъзгане [N];

η – динамичен вискозитет на флуида [Pa.s];

S_a – номинална контактна площ [m²];

G – градиент на скоростта [s⁻¹].

Предимството на модела е, че същият най-много се доближава до схемата на изследвания в дисертацията проблем и описва натискът, който изпитва линейно движещото се тяло, в резултат от вътрешното вискозно триене на флуидните течения между два детайла.

За изчисляването на силата на триене при търкаляне, при проучването на литературните източници се стигна до извода, че лагерните детайли най-много се доближават по характер и същност до контактната схема на изследвания обект в дисертационния труд. В съответствие с това силата триене, може да се изчисли посредством моделът на руския учен Петров, по формулата [110]:

$$F_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r_{sh}^2 \cdot l_1 \cdot \omega_{sh}}{h_{sh}} \quad [\text{N}], \quad (1.3)$$

където: F_r – силата на триене при търкаляне (въртене) [N];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;

η – динамичен вискозитет на газа [Pa.s];

r_{sh} – радиус на въртящия се вал [m];

l_1 – дебелина на лагера [m];

ω_{sh} – ъглова скорост на въртящия се вал [s⁻¹];

h_{sh} – хлабина между въртящия се вал и лагера [m].

Този модел включва всички характеристики на участващите в контактната схема елементи и същата най-много се доближава до схемата на изследвания в дисертацията проблем.

Допълнително, в резултат от вискозитета на флуида се появява вискозната сила на триене. За изчисляване на тази сила е изведен модела [98]:

$$F_v = \frac{h_d^2 \cdot \eta}{t_s} \quad [\text{N}], \quad (1.4)$$

където: F_v – вискозна сила на триене [N];

h_d – хлабината между двете тела в контакт [m];

η – динамичен вискозитет на газа [Pa.s];

t_s – време за разделяне на двете контактни тела [s].

От друга страна анализът на трибологичните характеристики показва, че еластичните свойства на гумения обтюратор създават притискане на повърхностните слоеве на куршумът и обтюраторът. това води до поява на адхезионна сила на триене, която може да се изчисли с формулата [9, 98, 110]:

$$F_a = \tau_a \cdot S_r \quad [\text{N}], \quad (1.5)$$

където: F_a – адхезионна сила на триене [N];

τ_a – напрежение на срязване [N/m²];

S_r – реална контактна площ [m²].

Основно предимство на моделът, е че дава възможност за лесно изчисляване на адхезионната сила при различни експлоатационни условия и не налага използването на специални прибори.

Съгласно модела на Хертц при определяне на реалната площ на контакт на натовареното тяло, при еластични деформации, се използва формулата [98]:

$$S_w = \pi \cdot \mathcal{R} \cdot \delta_e \quad [\text{m}^2], \quad (1.9)$$

където: S_w – реалната контактна площ на натовареното тяло [m²];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;

$\mathcal{R}$ – комбинирана кривина [m];

δ_e – нормално приближение при еластични деформации [m].

Основното предимство на модела е, че посредством въвеждането на ефективния модул на еластичност и комбинираната кривина се отчитат характеристиките и на двата детайла. Недостатък тук е, че формулата за изчисляване на реалната контактна площ важи за тела проявяващи само еластични деформации.

С цел отстраняване на тези недостатъци за определянето на реалната контактна площ на полимерни материали, съгласно модела на Бартенева-Лаврентьева, се използва формулата [9]:

$$S_{rp} = S_a \cdot \left[1 - k_1 \cdot e^{-r_s \cdot \left(\frac{W}{S_a \cdot E} \right)^{\frac{2}{3}}} \right] \quad [\text{m}^2], \quad (1.13)$$

където: S_{rp} – реалната контактна площ на полимерни материали [m²];

S_a – номинална контактна площ [m²];

$k_1 = 0,8 \div 1$ – табличен коефициент;
 $e = 2,71$ – неперово число;
 r_s – коефициент отчитащ реалната контактна повърхнина;
 W – нормално натоварване [N];
 E – еластичен модул на гуменото съединение [N/m²].

Посредством модела Бартенева-Лаврентьева е възможно да се изчисли по-прецизно размера на контактната площ на полимерните съединения. Недостатък е, че важи само за единия детайл в контактната схема.

При изследването на силите на триене е формулиран извода, че за точно изчисляване силата на триене е необходимо да се съберат всички проявяващи в контакта на две тела сили на триене. Така например за да се изчисли пълната сила на триене при взаимодействие между процесите на адхезия и деформация по време на плъзгане се използва формулата [9, 36, 98]:

$$F_p = F_a + F_d \quad [\text{N}], \quad (1.16)$$

където: F_p – пълна сила на триене [N];
 F_a – адхезионна сила на триене [N];
 F_d – динамична сила на триене [N].

От друга страна, при присъствието на флуид, е изведена и следната формула за определяне на пълната сила на триене [9, 36, 98]:

$$F_p = \mu_p \cdot (W + F_d) + F_v \quad [\text{N}], \quad (1.17)$$

където: F_p – пълна сила на триене [N];
 μ_p – коефициент на триене;
 W – нормално натоварване [N];
 F_v – вискозна сила на триене [N].

Предимството на моделите за определяне пълната сила на триене е, че дават по-достоверен резултат.

Недостатък е, че двата модела не отчитат всички сили на триене, проявяващи се в контактната схема на изследвания в дисертационния труд проблем.

За изчисляването и определянето на коефициента на триене са изведени различни формули. В съответствие с това, при контакт на по-твърд детайл с помек, може да се използва формулата [98, 110]:

$$\mu_s = \frac{4}{3\pi} \frac{l}{r_{sp}}, \quad (1.18)$$

където: μ_s – коефициент на триене при контакт на по-твърд детайл с помек;

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;
 r – разстояние от осевата линия на плъзгащия се детайл до стената на контакта [m];

r_{sp} – радиус на плъзгащия се детайл [m].

Основното предимство на модела е, че дава възможност за прецизно изчисляване на коефициента на триене, като се отчита характеристиките на контактуващите детайли.

Недостатъкът на този модел е, че важи само за детайли, които се плъзгат при контакта си един спрямо друг.

От друга страна, при търкаляне, за изчисляване на коефициента на триене може да се използва формулата [98, 110]:

$$\mu_r = \frac{V_p}{V_r} \cdot \mu \quad (1.19)$$

където: μ_r – коефициент на триене при теглително търкаляне;

V_p – скорост на плъзгане [m/s];

V_r – скорост на търкаляне [m/s];

μ – коефициент на триене при плъзгане.

Общите недостатъци на анализирания аналитични модели за определяне силите на триене, в резултат на трибологичните характеристики, между два детайла са:

- моделите важат за конкретни контактни схеми, отнасящи се за определен характер на деформации;
- не могат да бъдат открити аналитични модели, отчитащи в пълен обем трибологичните характеристики, при преминаването на куршума през гумения обтюратор, за контактната им схема на метал-полимерен материал;
- не са изведени формули, с които да се определи изменението на скоростите на движещото се тяло при проявяване на силата на триене.

1.3.2. Анализ на числените модели за определяне силите на триене в резултат на трибологичните характеристики

Числените модели, които най-често се използват са базирани на: метода на крайните елементи - Finite element model – FEM; функция на Грeen за молекулярната динамика - Green's Function Molecular Dynamics – GFMD; модел на граничните елементи - Boundary Element Method – BEM; молекулярна динамика на интелигентните блокове - Smart Block Molecular Dynamics – SBMD.

Основното предимство на числените модели е бързо, лесно и прецизно решаване на трибологичната задача.

Общите недостатъци на числените модели са:

- не дават възможност за адаптиране към друга контактна схема, тъй като заложените блокове на числени модели в софтуерни продукти налагат конкретното им използване;
- изискват използването на скъпоструващи софтуерни продукти;

- необходимостта от специализирано и задълбочено обучение на потребителите за създаване на математическия модел, което е свързано с голям ресурс от време;
- повечето от числените модели важат за еластични деформации;
- основни теории за контактната схема и пренебрегване на същността и характера на повърхността на детайлите.

ИЗВОДИ:

1. От извършения анализ беше установено, че един от негативните фактори влияещи на групираността при стрелба с шумозаглушител са възникващите, при контакта на куршума с гумен обтюратор, сили на триене. Въздействието на тези сили води до намаляване на постъпателната и ъгловата скорост на куршума, което е една от причините за влошаване на групираността на стрелбата и съответно на бойната ефективност на стрелковото оръжие.

2. Анализът показва, че за подобряване групираността при стрелба с шумозаглушител, голяма част от факторите, оказващи влияние върху групираността, са изследвани и за разрешаване на проблема са внедрени редица методи. В същото време, не се откриват данни от проучвания и изследвания свързани с влиянието на трибологичните характеристики върху групираността на стрелбата.

3. В достъпните литературни източници не се откриват модели описващи силите на триене, възникващи при преминаването на куршум през гумен обтюратор. Анализирания модели за изчисляване на силите на триене между два детайла, неотговарят в пълен обем за трибологичните характеристики на контактната схема на изследвания в дисертационния труд проблем и използването им може да доведе до грешни резултати.

4. От извършеният анализ на данните от предварителните експериментални стрелби е установено, че изменението на групираността на стрелбата се влияе от промяната на диаметъра на отвора в гумения обтюратор.

5. Понастоящем в Република България не се откриват данни за разработен модел изследващ влиянието на трибологичните характеристики върху групираността, при стрелба с шумозаглушител, което налага създаване на такъв модел.

ГЛАВА ВТОРА

СЪЗДАВАНЕ НА АНАЛИТИЧЕН МОДЕЛ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ГРУПИРАНОСТТА КАТО СЕ ОТЧИТА ВЛИЯНИЕТО НА ТРИБОЛОГИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ШУМОЗАГЛУШИТЕЛЯ

2.1. Извеждане на зависимостта между силите на триене и постъпателната и ъгловата скорост при преминаване на куршума през гумен обтюратор

2.1.1. Извеждане на зависимостта за изменение на постъпателната скорост при преминаване на куршума през гумения обтюратор

Съгласно зависимостта за закъснително движение, изменението на постъпателната скорост на движещо се тяло се изчислява по формулата [30, 94]:

$$V_0 = V_d - (a \cdot t_1) \quad [\text{m/s}], \quad (2.1)$$

където: V_0 – постъпателна скорост на куршума след преминаването му през гумения обтюратор [m/s];

V_d – постъпателна скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [m/s];

a – ускорение на куршума при преминаване през гумения обтюратор [m/s^2];

t_1 – време необходимо за преминаване на куршума през обтюратора [s].

На основание извършения анализ в глава първа, посредством формули – 1.16 и 1.17, за изчисляването на пълната сила на триене е изведена формулата:

$$F = \mu \cdot (W + F_{sl}) + F_v + F_a \quad [\text{N}], \quad (2.4)$$

където: F – пълна сила на триене между гумения обтюратор и куршума при постъпателното му движение [N];

μ – коефициент на триене при плъзгане;

W – нормално натоварване [N];

F_{sl} – сила на триене при плъзгане [N];

F_v – сила на триене при флуидни течения [N];

F_a – адхезионна сила на триене [N].

В съответствие с извършения анализ в глава първа, замествайки нормалното приближение от модела на Хертц с коефициента отчитащ реалната контактна повърхнина от модела на Бартенева-Лаврентьева е изведена зависимостта за изчисляване на реалната контактна площ на натовареното тяло:

$$S_w = \pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \cdot \left[1, 2 \cdot \left(\frac{\partial \cdot R_k}{R_z} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = \pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \cdot \left[1, 2 \cdot \left(\frac{\frac{n_o}{n_m} \cdot R_k}{R_z} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad [\text{m}], \quad (2.7)$$

където: S_w – реалната контактна площ на натовареното тяло [m^2];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;
 R_k – радиус на куршума [m];
 R_g – радиус на отвора в гумения обтюратор [m];
 δ – параметър отчитащ съотношението на грапавините;
 n_o – среден брой на грапавините;
 n_m – брой грапавини на единица номинална площ;
 R_z – височина на грапавините на профила [m].

За изчисляване на номиналната контактна площ, основавайки се на общи положения от математиката е изведена зависимостта (извеждането ѝ е представено в дисертационния труд):

$$S_a = (2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2}) \quad [\text{m}^2], \quad (2.11)$$

където: S_a – номинална контактна площ на куршума [m²];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;
 r_{cy} – радиус на цилиндричната част на куршума [m];
 l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];
 r_{co} – радиус на основата на конуса на куршума [m];
 l_{co} – дължина на конуса [m].

За изчисляване на силата на триене при постъпателното движение на куршума е изведена зависимостта, изводът е представен в дисертационния труд:

$$F_{sl} = \frac{\eta \cdot [(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2})] \cdot V_d}{(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)} \quad [\text{N}], \quad (2.13)$$

където: F_{sl} – сила на триене при плъзгане [N];

η – динамичен вискозитет на газа [m²/s];
 $\pi = 3,14$ – Архимедова константа;
 r_{cy} – радиус на цилиндричната част на куршума [m];
 l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];
 r_{co} – радиус на основата на конуса на куршума [m];
 l_{co} – дължина на конуса [m];
 V_d – постъпателна скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [m/s];
 R_k – радиус на куршума [m];
 R_g – радиус на отвора в обтюратора [m].

За изчисляване на силата на триене породена от течението на барутните газове се получава зависимостта, изводът е представен в дисертационния труд:

$$F_v = \frac{[(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)]^2 \cdot \eta}{\frac{l_o}{V_d}} = \frac{[(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)]^2 \cdot \eta \cdot V_d}{l_o} \quad [\text{N}], \quad (2.15)$$

където: F_v – сила на триене при флуидни течения [N];
 $\pi = 3,14$ – Архимедова константа;
 R_k – радиус на куршума [m];
 R_g – радиус на отвора в обтюратора [m];
 η – динамичен вискозитет на газа [m²/s];
 l_o – дебелина на обтюратора [m];
 V_d – постъпателна скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [m/s].

От извършения анализ в глава първа, е установено, че адхезионната сила на триене се получава в резултат от слепването на върха на грапавините образувани по външната повърхност на обтюратора и куршума. В съответствие с това, при определяне на адхезионната сила на триене, във формула (1.5), реалната контактна площ се изчислява съгласно модела на Братнева-Лаврентьева, където радиуса на търкалящия се детайл „ r_d “ се замества с комбинираната кривана „ $\mathcal{R}$ “ от модела на Хертц. В резултат на това се извежда зависимостта за изчисляване на коефициента отчитащ реалната контактна повърхнина (представен в дисертационния труд):

$$r_s \cong 1,2 \cdot \left[\frac{\left(\frac{n_o}{n_m} \right) \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)}{R_z} \right]^{\frac{1}{3}} = 1,2 \cdot \left[\frac{n_o \cdot R_k \cdot R_g \cdot R_z}{n_m \cdot (R_k + R_g)} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (2.17)$$

където: r_s – коефициент отчитащ реалната контактна повърхнина;
 n_o – среден брой на грапавините;
 n_m – брой грапавини на единица номинална площ;
 R_k – радиус на куршума [m];
 R_g – радиус на отвора в обтюратора [m];
 R_z – височина на грапавините на профила [m].

Използвайки изведената зависимост (2.17), за изчисляване на реалната контактна площ, се извежда формулата, изводът е представен в дисертационния труд:

$$S_r = \left[(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + \left(\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2} \right) \right] \cdot \left[1 - k_1 \cdot e^{-\left\{ \frac{1,2 \cdot \frac{n_o}{n_m} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot R_z^{\frac{1}{3}}}{\left[(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + \left(\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2} \right) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot E^{\frac{2}{3}}} \right\}} \right] \quad [\text{m}^2], \quad (2.18)$$

където: S_r – реална контактна площ на полимерни материали [m²];
 $\pi = 3,14$ – Архимедова константа;
 r_{cy} – радиус на цилиндричната част на куршума [m];
 l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];

r_{co} – радиус на основата на конуса на куршума [m];
 l_{co} – дължина на конуса [m];
 $k_1 = 0.8 \div 1$ – табличен коефициент;
 $e = 2,71$ – неперово число;
 n_o – среден брой на грапавините;
 n_m – брой грапавини на единица номинална площ;
 R_k – радиус на куршума [m];
 R_g – радиус на отвора в обтюратора [m];
 R_z – височина на грапавините на профила [m];
 E – еластичен модул на гуменото съединение [N/m²].

За изчисляване на адхезионната сила на триене се извежда формулата (извеждането е представено в дисертационния труд):

$$F_a = 0.31 \cdot \left[\frac{2 \cdot \sqrt{1,2} \cdot N^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{n_o \cdot R_k}{n_m \cdot R_z} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)}{\pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g}} \right] \cdot \left\{ \left[(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2}) \right] \cdot \left[1 - k_1 \cdot e^{-\left(\frac{1,2 \cdot \frac{n_o}{n_m} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot R_z^{\frac{1}{3}}}{\left[(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2}) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot E^{\frac{2}{3}}}} \right)} \right] \right\} \quad [\text{N}], \quad (2.21)$$

където: F_a – адхезионна сила на триене [N];
 N – брой на издатините на грапавините;
 R_k – радиус на куршума [m];
 R_g – радиус на отвора в обтюратора [m];
 n_o – среден брой на грапавините;
 n_m – брой грапавини на единица номинална площ;
 R_z – височина на грапавините на профила [m];
 E_1 – модул на еластичност за гумения обтюратор [N/m²];
 E_2 – модул на еластичност за куршума [N/m²];
 v_1 – коефициент на Поасон за гумения обтюратор;
 v_2 – коефициент на Поасон за куршума;
 $\pi = 3,14$ – Архимедова константа;
 r_{cy} – радиус на цилиндричната част на куршума [m];
 l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];
 r_{co} – радиус на основата на конуса на куршума [m];
 l_{co} – дължина на конуса [m];
 $k_1 = 0.8 \div 1$ – табличен коефициент;

$e = 2,71$ – неперово число;

E – еластичен модул на гумения съединение [N/m^2].

Замествайки формули 1.18, 2.8, 2.13, 2.15 и 2.21 във формула 2.4 се извежда аналитичния модел за изчисляване на пълната сила на триене при постъпателно движение на куршума в гумения обтюратор (извеждането е представено в дисертационния труд):

$$F = \left(\frac{4}{3\pi} \cdot \frac{r}{R_k} \right) \cdot \left(\left[\frac{4N \cdot \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right) \cdot \left\{ \pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \cdot \left[1,2 \cdot \left(\frac{n_o \cdot R_k}{R_z} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \right\}}{3\pi^2 \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g}} \right] + \left(\frac{\eta \cdot \left[(2\pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2}) \right] \cdot V_d}{(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)} \right) \right) + \right. \\ \left. + \left\{ \frac{[(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)]^2 \cdot \eta \cdot V_d}{l_o} \right\} + \left\{ 0,31 \cdot \left[\frac{2 \cdot \sqrt{1,2} \cdot N^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{n_o \cdot R_k}{R_z} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)}{\pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g}} \right] \cdot [(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + \right. \right. \\ \left. \left. + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2}) \right] \cdot \left[1 - k_1 \cdot e^{-\left(\frac{1,2 \cdot \frac{n_o}{n_m} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot R_z^{\frac{1}{3}}}{\left[(2\pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2}) \right]^{\frac{2}{3}}} \right)} \right] \right\} \quad [\text{N}], \quad (2.22)$$

където: F – пълна сила на триене между гумения обтюратор и куршума при постъпателното му движение [N];

r – разстояние от осовата линия на търкалящия се детайл до стената на контакта [m];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;

R_k – радиус на куршума [m];

N – брой на издатините на грапавините;

E_1 – модул на еластичност за гумения обтюратор [N/m^2];

E_2 – модул на еластичност за куршума [N/m^2];

v_1 – коефициент на Поасон за гумения обтюратор;

v_2 – коефициент на Поасон за куршума;

R_g – радиус на отвора в обтюратора [m];

n_o – среден брой на грапавините;

n_m – брой грапавини на единица номинална площ;

R_z – височина на грапавините на профила [m];

η – динамичен вискозитет на газа [m^2/s];

l_o – дебелина на обтюратора [m];

r_{cy} – радиус на цилиндричната част на куршума [m];

l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];

r_{co} – радиус на основата на конуса на куршума [m];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;
 R_k – радиус на куршума [m];
 N – брой на издатините на грапавините;
 E_1 – модул на еластичност за гумения обтюратор [N/m²];
 E_2 – модул на еластичност за куршума [N/m²];
 ν_1 – коефициент на Поасон за гумения обтюратор;
 ν_2 – коефициент на Поасон за куршума;
 R_g – радиус на отвора в обтюратора [m];
 n_o – среден брой на грапавините;
 n_m – брой грапавини на единица номинална площ;
 R_z – височина на грапавините на профила [m];
 η – динамичен вискозитет на газа [m²/s];
 r_{cy} – радиус на цилиндричната част на куршума [m];
 l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];
 r_{co} – радиус на основата на конуса на куршума [m];
 l_{co} – дължина на конуса [m];
 $k_1 = 0.8 \div 1$ – табличен коефициент;
 $e = 2,71$ – неперово число;
 E – еластичен модул на гуменото съединение [N/m²].

2.1.2 Извеждане на зависимостта за изменение на ъгловата скорост на куршума при преминаване на куршума през гумения обтюратор

Съгласно зависимостта за закъснително движение, изменението на ъгловата скорост на въртящото се тяло се изчислява по формулата [25, 94, 103]:

$$\omega_0 = \omega_d - [a_\omega \cdot t_1] \quad [s^{-1}], \quad (2.24)$$

където: ω_0 – ъглова скорост на куршума след преминаването му през гумения обтюратор [s⁻¹];

ω_d – ъглова скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [s⁻¹];

a_ω – ъглово ускорение на куршума [s⁻²];

t_1 – време необходимо за преминаване на куршума през обтюратора [s].

За изчисляване на ъглова скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор, е изведена зависимостта:

$$\omega_d = \pi \cdot \frac{V_d}{30.S} \quad [s^{-1}], \quad (2.30)$$

където: ω_d – ъглова скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [s⁻¹];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;

V_d – постъпателна скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [m/s];

S – стъпка на нарезите [m].

За изчисляване на ъгловото ускорение на куршума е изведена формулата, изводът на която е представен в дисертационния труд:

$$a_{\omega} = \frac{F_w \cdot R_k}{m \cdot R_k^2} = \frac{F_w}{m \cdot R_k} \quad [\text{s}^{-2}], \quad (2.34)$$

където: a_{ω} – ъглово ускорение на куршума [s^{-2}];

F_w – пълна сила на триене между обтюратора и куршума при въртеливото му движение [N];

R_k – радиус на куршума [m];

m – маса на куршума [kg].

На основание извършения анализ в първа глава и посредством формули 1.17 и 2.4, за изчисляването на пълната сила на триене при въртеливо движение на куршума, се използва формулата:

$$F_w = \mu_{\omega} \cdot (W + F_r) + F_v + F_a \quad [\text{N}], \quad (2.35)$$

където: F_w – пълна сила на триене между обтюратора и куршума при въртеливото му движение [N];

μ_{ω} – коефициент на триене при търкаляне (въртене);

W – нормално натоварване [N];

F_r – силата на триене при търкаляне (въртене) [N];

F_v – сила на триене при флуидни течения [N];

F_a – адхезионна сила на триене [N].

За изчисляване на силата на триене породена от въртеливото движение на куршума в гумения обтюратор се извежда формулата (извеждането е представено в дисертационния труд):

$$F_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R_k^2 \cdot l_o \cdot \left(\pi \cdot \frac{V_d}{30 \cdot S}\right)}{(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)} = \eta \cdot R_k^2 \cdot l_o \cdot \pi^2 \cdot \frac{V_d}{15 \cdot S \cdot [(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)]} \quad [\text{N}], \quad (2.37)$$

където: F_r – силата на триене при търкаляне (въртене) [N];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;

η – динамичен вискозитет на флуида [Pa.s];

R_k – радиус на куршума [m];

l_o – дебелина на обтюратора [m];

V_d – постъпателна скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [m/s];

S – стъпка на нарезите [m];

R_g – радиус на отвора в обтюратора [m].

След заместване на формули 2.8, 2.15, 2.21, 2.36 и 2.37 във формула 2.35, за изчисляването на пълната сила на триене при въртливо движение на куршума в гумения обтюратор, е изведен аналитичния модел:

$$F_w = \left(\frac{40.S}{\pi^2} \cdot \frac{r}{R_k} \right) \cdot \left\{ \frac{\left[4.N \cdot \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right) \cdot \left\{ \pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \cdot \left[1,2 \cdot \left(\frac{n_o \cdot R_k}{R_z} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \right\} \right]^{\frac{3}{2}}}{3 \cdot \pi^2 \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g}} + \left(\eta \cdot R_k^2 \cdot l_o \cdot \pi^2 \cdot \frac{V_d}{15.S \cdot [(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)]} \right) \right\} +$$

$$+ \left\{ \frac{[(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)]^2 \cdot \eta \cdot V_d}{l_o} \right\} + \left\{ 0.31 \cdot \left[\frac{2 \cdot \sqrt{1,2} \cdot N^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{n_o \cdot R_k}{R_z} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)}{\pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g}} \right] \cdot [(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) +$$

$$+ (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2})] \cdot \left[1 - k_1 \cdot e^{-\left(\frac{1,2 \cdot n_o^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot R_z^{\frac{1}{3}}}{\left[(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2}) \right]^{\frac{2}{3}}} \cdot E^{\frac{2}{3}}} \right)} \right] \right\} \quad [\text{N}], \quad (2.38)$$

където: F_w – пълна сила на триене между обтюратора и куршума при въртливото му движение [N];

S – стъпка на нарезите [m];

r – разстояние от осовата линия на търкалящия се детайл до стената на контакта [m];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;

R_k – радиус на куршума [m];

N – брой на издатините на грапавините;

E_1 – модул на еластичност за гумения обтюратор [N/m²];

E_2 – модул на еластичност за куршума [N/m²];

v_1 – коефициент на Поасон за гумения обтюратор;

v_2 – коефициент на Поасон за куршума;

R_g – радиус на отвора в обтюратора [m];

n_o – среден брой на грапавините;

n_m – брой грапавини на единица номинална площ;

R_z – височина на грапавините на профила [m];

η – динамичен вискозитет на газа [m²/s];

l_o – дебелина на обтюратора [m];

V_d – постъпателна скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [m/s];

$k_1 = 0.8 \div 1$ – табличен коефициент;

$e = 2,71$ – неперово число;

r_{cy} – радиус на цилиндричната част на куршума [m];

l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];

r_{co} – радиус на основата на конуса на куршума [m];

l_{co} – дължина на конуса [m];

E – еластичен модул на гуменото съединение [N/m^2].

Използвайки изведените формули 2.14, 2.30, 2.34 и 2.38, замествайки ги във формула 2.24 и извършвайки математически преобразования е изведен аналитичния модел за изследване изменението на ъгловата скорост при преминаване на куршума през гумения обтюратор:

$$\omega_0 = \left(\pi \cdot \frac{V_d}{30 \cdot S} \right) - \left[\left(\frac{l_0}{V_d \cdot m \cdot R_k} \right) \cdot \left[\left(\frac{40 \cdot S}{\pi^2} \cdot \frac{r}{R_k} \right) \cdot \left\{ \frac{4 \cdot N \cdot \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right) \cdot \left\{ \pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \cdot \left[1,2 \cdot \left(\frac{n_o \cdot R_k}{R_z} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right\}^{\frac{3}{2}}}{3 \cdot \pi^2 \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g}} \right\} + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\eta \cdot R_k^2 \cdot l_0 \cdot \pi^2 \cdot \frac{V_d}{15 \cdot S \cdot [(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)]} \right) \right\} + \left\{ \frac{[(\pi R_k^2) - (\pi R_g^2)]^2 \cdot \eta \cdot V_d}{l_0} \right\} + \right. \\ \left. \left\{ 0,31 \cdot \left[\frac{2 \cdot \sqrt{1,2} \cdot N^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{n_o \cdot R_k}{R_z} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \left(\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)}{\pi \cdot \frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g}} \right] \cdot [(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2})] \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \cdot \left[1 - k_1 \cdot e^{-\left\{ \frac{1,2 \cdot \frac{n_o}{n_m} \cdot \left(\frac{R_k \cdot R_g}{R_k + R_g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot R_z^{\frac{1}{3}}}{[(2 \cdot \pi \cdot r_{cy} \cdot l_{cy}) + (\pi \cdot r_{co} \cdot \sqrt{r_{co}^2 + l_{co}^2})]^{\frac{2}{3}}} \cdot E^{\frac{2}{3}}} \right\}} \right] \right\} \right] \right] \quad [s^{-1}], \quad (2.39)$$

където: ω_0 – ъглова скорост на куршума след преминаването му през гумения обтюратор [s^{-1}];

$\pi = 3,14$ – Архимедова константа;

V_d – постъпателна скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [m/s];

S – стъпка на нарезите [m];

l_0 – дебелина на обтюратора [m];

m – маса на куршума [kg];

R_k – радиус на куршума [m];

r – разстояние от осовата линия на търкалящия се детайл до стената на контакта [m];

N – брой на издатините на грапавините;

E_1 – модул на еластичност за гумения обтюратор [N/m^2];

E_2 – модул на еластичност за куршума [N/m^2];

ν_1 – коефициент на Поасон за гумения обтюратор;

ν_2 – коефициент на Поасон за куршума;
 R_g – радиус на отвора в обтюратора [m];
 n_o – среден брой на грапавините;
 n_m – брой грапавини на единица номинална площ;
 R_z – височина на грапавините на профила [m];
 η – динамичен вискозитет на газа [m²/s];
 $k_1 = 0.8 \div 1$ – табличен коефициент;
 $e = 2,71$ – неперово число;
 r_{cy} – радиус на цилиндричната част на куршума [m];
 l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];
 r_{co} – радиус на основата на конуса на куршума [m];
 l_{co} – дължина на конуса [m];
 E – еластичен модул на гуменото съединение [N/m²].

2.2. Извеждане на зависимостта между изменението на постъпателната и ъглова скорости на куршума и координатите на точките на попаденията в мишената

За извеждането на зависимостта между постъпателната и въртеливата скорост и точката на попаденията във вертикалната и хоризонталната равнина на мишената, в съответствие с поставените ограничения в дисертационния труд, движението на куршума се разглежда със следните ограничения [72, 99]:

- куршумът се движи в безвъздушно пространство с постоянна маса под действието на силата на тежестта – $q = mg$;
- земята е плоска повърхност и не се върти;
- земното ускорение е постоянно по стойност и направление, насочено надолу по вертикалата.

2.2.1. Извеждане на зависимостта между изменението на постъпателната скорост на куршума и координатите на точките на попаденията във вертикалната равнина на мишената

В съответствие с направените допускания, точката на попадението във вертикалната равнина на полярната координатна система, може да се изчисли по формулата [59, 72, 99]:

$$y = x \cdot \tan \Theta_0 - \left(\frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V_0^2 \cdot \cos^2 \Theta_0} \right) \quad [\text{m}], \quad (2.40)$$

където: y – точка на попадението в мишената по вертикалната ос в полярна координатна система [m];

x – пълно хоризонтално разстояние [m];
 Θ_0 – ъгъл на изхвърляне [rad];
 $g = 9.81$ – земно ускорение [m/s²];

V – постъпателна скорост на куршума [m/s].

За извеждане на резултатите за координатите на точките на попаденията, проектирани в декартовата координатна система, се налага определяне на ъгъла на срещане с целта, който може да се изчисли по формулата [99]:

$$\theta_c = 90^\circ - \frac{1}{2} \left(\arcsin \frac{g \cdot x}{V^2} \right) \quad [\text{rad}], \quad (2.43)$$

където: θ_c – ъгъл на срещане с мишената [rad];

$g = 9.81$ – земно ускорение [m/s²];

x – пълно хоризонтално разстояние [m];

V – постъпателна скорост на куршума [m/s].

Посредством уравнения 2.40 и 2.43 и формулата за извеждане на точка в декартова координатна система, за изчисляване на координатата на попадението във вертикалната равнина на мишената се извежда аналитичния модел:

$$Y = \left[x \cdot \tan \theta_0 - \left(\frac{g \cdot x^2}{2 \cdot V^2 \cdot \cos^2 \theta_0} \right) \right] \cdot \sin \left[90^\circ - \frac{1}{2} \left(\arcsin \frac{g \cdot x}{V^2} \right) \right] \quad [\text{m}], \quad (2.44)$$

където: Y – точка на попадението в мишената във вертикалната ос в декартова координатна система [m];

x – пълно хоризонтално разстояние [m];

θ_0 – ъгъл на изхвърляне [rad];

$g = 9.81$ – земно ускорение [m/s²];

x – пълно хоризонтално разстояние [m];

V – постъпателна скорост на куршума [m/s].

2.2.2. Извеждане на зависимостта между изменението на ъгловата скорост на куршума и координатите на точките на попаденията в хоризонталната равнина на мишената

Куршумите, представлявайки симетрични жirosкопи, са ротационни тела, които се въртят около моментна ос преминаваща през неподвижна и свободно избрана точка – O , която най-често съвпада с центъра на масата на тялото. През тази точка може да се проектира координатна система, в която около взаимно перпендикулярните ѝ оси се върти момента на импулса – L , който е насочен по оста на въртене.

Съгласно теоретичната механика, когато на вектора на момента на импулса при въртене – L не действат никакви външни сили, неговата стойност се изчислява по формулата [30]:

$$L = I \cdot \omega \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}], \quad (2.45)$$

където: L – стойност на вектора на момента на импулса при въртене [kg.m²/s];

I – масов инерционен момент на материална точка [kg.m²];

ω – ъглова скорост на въртящото се тяло (куршума) [s^{-1}].

Съгласно външната балистика върху отклоненията на попаденията най-голямо значение има ъгълът на динамичното равновесие, който се изчислява по формулата [59, 72]:

$$\delta_\rho = \frac{2 \cdot \alpha}{\beta} \cdot \frac{g \cdot \cos \theta_0}{V} \quad [\text{rad}], \quad (2.46)$$

където: δ_ρ – ъгъл на динамичното равновесие [rad];

α – постоянна ъглова скорост при движението на куршума по участък от траектория [s^{-1}];

β – коефициент на функцията на преобразващия момент;

$g = 9.81$ – земно ускорение [m/s^2];

θ_0 – ъгъл на изхвърляне [rad];

V – постъпателна скорост на куршума [m/s].

На основание общите положения от математиката, за изчисляване на общия центърът на масата на куршума е изведена формулата (извеждането е представено в дисертационния труд):

$$x_c = \sum_i^n \frac{x_i}{n} = \frac{m_{rc} + (l_{cy} + m_c)}{2} \quad [m], \quad (2.56)$$

където: x_c – център на масата на куршума [m];

m_{rc} – медицентър на правоъгълник [m];

l_{cy} – височина на цилиндричната част на куршума [m];

m_c – медицентър на равнобедрен триъгълник [m].

Приемайки, че вектора на момента на импулса при въртене е насочен по оста на въртене и от него се построява полярна координатна система, за определяне изменението на точките на попаденията в целта, посредством формулата за определяне на точка в декартова координатна система, се извежда:

$$X = [md^2 \omega_d] \cdot \cos \left[\frac{2 \cdot \alpha}{\beta} \cdot \frac{g \cdot \cos \theta_0}{V_s} \right] \quad [m], \quad (2.57)$$

където: X – точка на попадението в мишената в хоризонталната ос в декартова координатна система [m];

m – маса на куршума [kg];

d – диаметър на куршума [m];

ω_d – ъглова скорост на куршума преди контакта му с гумения обтюратор [s^{-1}];

α – постоянна ъглова скорост при движението на куршума по участък от траектория [s^{-1}];

β – коефициент на функцията на преобразващия момент;

$g = 9.81$ – земно ускорение [m/s^2];

θ_0 – ъгъл на изхвърляне [rad];

V_s – постъпателна скорост на куршума във върха на траекторията [m/s].

2.3. Резултати от извършените математически изследвания

В съответствие с производствените норми на 7,62x39 mm УС патрони и извършените изчисления, съгласно формула (2.2), за минималната постъпателна дулна скорост, се получава:

$$- V_{dmin} = \sqrt{\frac{2.539,9}{0.01258}} = 292,98 \text{ m/s.}$$

За максималната постъпателна дулна скорост се получава:

$$- V_{dmax} = \sqrt{\frac{2.605,4}{0.0126}} = 309,99 \text{ m/s.}$$

Извършените изчисления, съгласно формула (2.30) и получените стойности на дулната постъпателна скорост, се извежда стойността за минимална дулна ъглова скорост:

$$- \omega_{dmin} = \pi \cdot \frac{V_{dmin}}{30.S} = 3,14 \cdot \frac{292,98}{30.0,24} = 127,77 \text{ s}^{-1}.$$

За максималната дулна ъглова скорост се получава:

$$- \omega_{dmax} = \pi \cdot \frac{V_{dmax}}{30.S} = 3,14 \cdot \frac{309,99}{30.0,24} = 135,19 \text{ s}^{-1}.$$

Използвайки данните за максималните и минималните дулни скорости, зададените стойности на диаметъра на отвора в гумения обтюратор и изведените зависимости в точки 2.1 и 2.2, формули 2.22, 2.23, 2.38, 2.39, 2.44 и 2.57 са изчислени, посредством потребителски софтуер за математически изследвания MathLab, резултатите представените в приложение 1, таблица 2.1 и приложение 2 таблица 2.2, и изобразени графично на фигури от 2.6 до 2.9.

Резултатите от извършените изчисления, съгласно разработения аналитичен модел, показват, че границите на очакваното изменение е:

- на пълната сила на триене при постъпателно движение на куршума в гумения обтюратор – от 495,26 до 3164,69 [N];

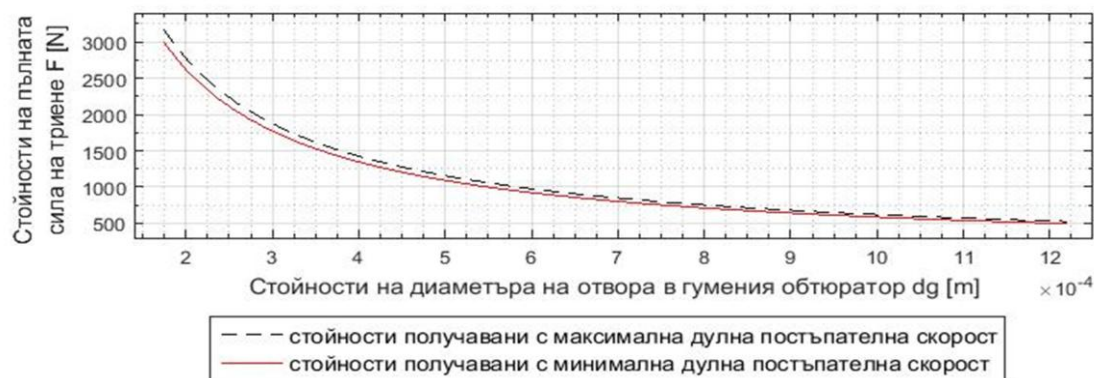
- на пълната сила на триене при въртеливо движение на куршума в гумения обтюратор – от 1,0 до 6,39 [N];

- на постъпателната скорост на куршума, след преминаването му през гумения обтюратор – 279,78 до 307,84 [m/s];

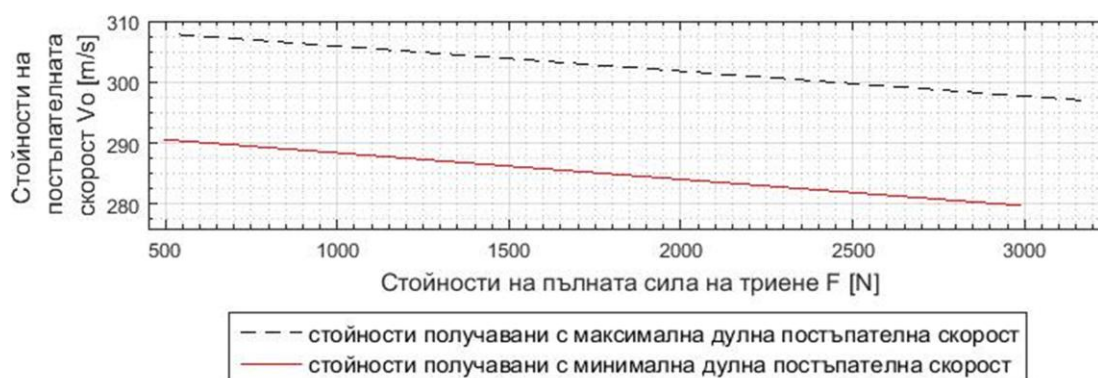
- на ъгловата скорост на куршума, след преминаването му през гумения обтюратор – от 121,11 до 134,15 [m/s];

- на координатите на попаденията на куршума във вертикалната равнина на мишената – от -0,12729 до -0,01858 [m];

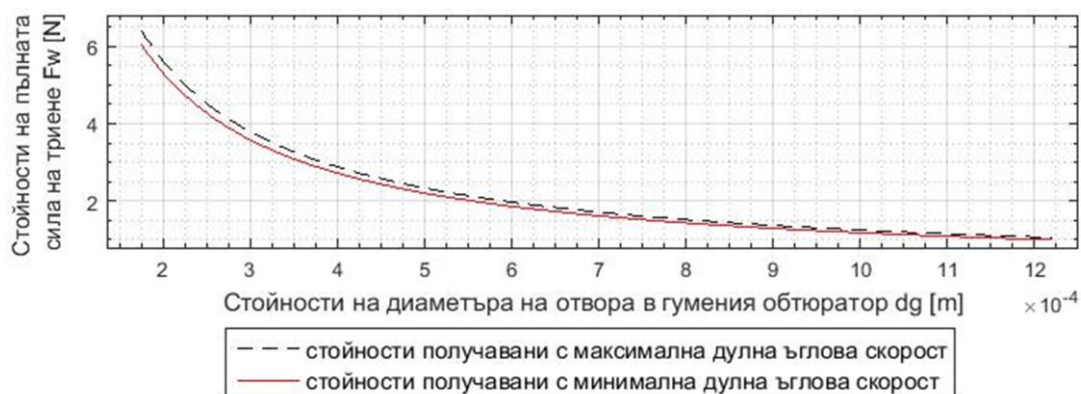
- на координатите на попаденията на куршума в хоризонталната равнина на мишената – от 0,023929 до 0,026506 [m].



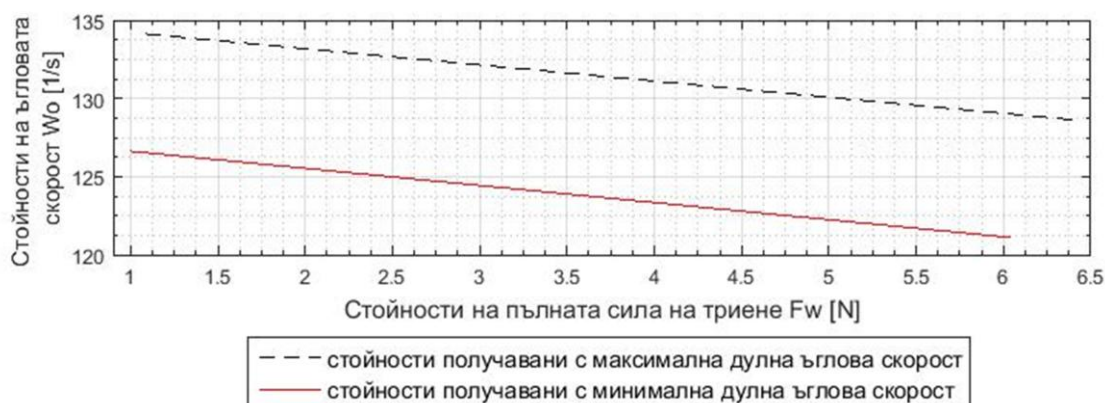
Фиг. 2.6. Изменение на стойността на пълната сила на триене между куришума и гумения обтюратор, при постъпателното му движение, в зависимост от изменението на диаметъра на отвора в обтюратора.



Фиг. 2.7. Изменение на стойността на постъпателната скорост на куришума след преминаването му през гумения обтюратор в зависимост от изменението на пълната сила на триене между същия и обтюратора, при постъпателното му движение.



Фиг. 2.8. Изменение на стойността на пълната сила на триене между куришума и гумения обтюратор, при въртеливото му движение, в зависимост от изменението на диаметъра на отвора в обтюратора.



Фиг. 2.9. Изменение на стойността на ъгловата скорост на куршума след преминаването му през гумения обтюратор, в зависимост от изменението на пълната сила на триене между същия и обтюратора, при въртеливото му движение.

2.4. Извеждане на аналитичен модел за изследване на зависимостта между силите на триене между куршума и гумения обтюратор и групираността при единична стрелба

За оценяване стойността на групираността на боя 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, в предлаганият аналитичен модел, същата се разглежда, не като кръг, а като елипса на разсейване, която се състои от голяма и малка ос. За стойности на групираността, се приема стойността на по-голямата от двете оси.

За да се определи влиянието на силите на триене върху групираността на стрелбата е необходимо първо да се определят координатите на точките на попаденията във вертикалната и хоризонталната равнини на мишената без наличие на сили на триене. За постигане на тази цел се използват изведените формули 2.44 и 2.57 от разработения в точка 2.2 аналитичен модел.

Извършените изчисления показват, че с максимална дулна постъпателна скорост на куршума – $V_{dmax} = 309,99 \text{ m/s}$, за попадението във вертикалната равнина, без наличие на сили на триене, се получава – $y_{V_{dmax}} = -0,01145 \text{ m}$.

С минимална – $V_{dmin} = 292,98 \text{ m/s}$ се получава – $y_{V_{dmin}} = -0,07319 \text{ m}$.

За точката на попадението в хоризонталната равнина с максимална дулна ъглова скорост – $\omega_{dmax} = 135,19 \text{ s}^{-1}$, без наличие на сили на триене, се получава – $x_{\omega_{dmax}} = 0,02673 \text{ m}$.

С минимална – $\omega_{dmin} = 127,77 \text{ s}^{-1}$ се получава – $x_{\omega_{dmin}} = 0,02524 \text{ m}$.

Второ, необходимо е да се изчисли стойността на разстоянието между координатите на точките на попаденията при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, и координатата без наличие на същите, като се

използват резултатите, представени в приложение 1, таблици 1.1 и 1.2 и стойностите на y_{Vdmax} , y_{Vdmin} , $x_{\omega dmax}$ и $x_{\omega dmin}$. Това може да се постигне посредством формулите:

- за вертикалната равнина:

$$\Delta Y_{Vdmax_i} = y_{Vdmax} - y_{Vdmaxtr_i} \quad [m]; \quad (2.58)$$

$$\Delta Y_{Vdmin_i} = y_{Vdmin} - y_{Vdmintr_i} \quad [m]; \quad (2.59)$$

- за хоризонталната равнина:

$$\Delta X_{\omega max_i} = x_{\omega dmax} - x_{\omega dmaxtr_i} \quad [m]; \quad (2.60)$$

$$\Delta X_{\omega dmin_i} = x_{\omega dmin} - x_{\omega dmintr_i} \quad [m], \quad (2.61)$$

където: $i = 1 \div f$ – i -тия изстрел [m];

f – брой на изстрелите;

y_{Vdmax} – координата на попадението във вертикалната равнина, без наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при максимална дулна постъпателна скорост [m];

$y_{Vdmaxtr_i}$ – координата на попадението във вертикалната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при максимална дулна постъпателна скорост на i -тия изстрел [m];

y_{Vdmin} – координата на попадението във вертикалната равнина, без наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при минимална дулна постъпателна скорост [m];

$y_{Vdmintr_i}$ – координата на попадението във вертикалната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при минимална дулна постъпателна скорост на i -тия изстрел [m];

ΔY_{Vdmax_i} – изменение на координатата на попадението във вертикалната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при максимална дулна постъпателна скорост на i -тия изстрел [m];

ΔY_{Vdmin_i} – изменение на координатата на попадението във вертикалната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при минимална дулна постъпателна скорост на i -тия изстрел [m];

ΔX_{max} – максимална стойност на изменението на координатите на попаденията в хоризонталната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m];

$\Delta X_{\omega dmax_i}$ – изменение на координатата на попадението в хоризонталната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при максимална дулна ъглова скорост на i -тия изстрел [m];

$x_{\omega dmax}$ – координата на попадението в хоризонталната равнина, без наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при максимална дулна ъглова скорост [m];

$x_{\omega dmaxtr_i}$ – координатата на попадението в хоризонталната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при максимална дулна ъглова скорост на i -тия изстрел [m];

$x_{\omega dmin}$ – координата на попадението в хоризонталната равнина, без наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при минимална дулна ъглова скорост [m];

$x_{\omega dmintr_i}$ – координатата на попадението в хоризонталната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор, при минимална дулна ъглова скорост на i -тия изстрел [m].

Изведените резултати от извършените изчисления, съгласно формули 2.58, 2.59, 2.60 и 2.61 са представени в приложение 3, таблица 2.3, показват, че съгласно аналитичния модел, максималната стойност на изменението на координатите на попаденията е:

- във вертикалната равнина има стойност: $\Delta Y_{max} = 0,054$ m.

- в хоризонталната равнина има стойност: $\Delta X_{max} = 0,0013$ m.

Трето, чрез получените стойности – ΔY_{max} и ΔX_{max} , е необходимо да се определи максималната и минималната стойност на изменението на малката и голямата ос на елипсата на разсейването, при наличие на сили на триене, от базисните оси. За постигане на тази цел могат да се използват формулите:

- във вертикалната равнина:

$$Y_{100max} = Y_{tab} + \Delta Y_{max} \quad [m], \quad (2.62)$$

$$Y_{100min} = Y_{tab} - \Delta Y_{max} \quad [m], \quad (2.63)$$

- в хоризонталната равнина:

$$X_{100max} = X_{tab} + \Delta X_{max} \quad [m], \quad (2.64)$$

$$X_{100min} = X_{tab} - \Delta X_{max} \quad [m], \quad (2.65)$$

където: Y_{100max} – максимална стойност на голямата ос на елипсата на разсейване на попаденията във вертикалната равнина, в която се побират 100% от попаденията, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m];

Y_{100min} – минимална стойност на голямата ос на елипсата на разсейване на попаденията във вертикалната равнина, в която се побират 100%

от попаденията, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m];

Y_{tab} – приета за базисна стойност на голямата ос на елипсата на разсейване на координатите на попаденията във вертикалната равнина, без наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m];

ΔY_{max} – максимална стойност на изменението на координатите на попаденията във вертикалната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m];

$X_{100_{max}}$ – максимална стойност на малката ос на елипсата на разсейване на попаденията в хоризонталната равнина, в която се побират 100% от попаденията, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m];

$X_{100_{min}}$ – минимална стойност на малката ос на елипсата на разсейване на попаденията в хоризонталната равнина, в която се побират 100% от попаденията, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m];

X_{tab} – приета за базисна стойност на малката ос на елипсата на разсейване на координатите на попаденията в хоризонталната равнина, без наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m];

ΔX_{max} – максимална стойност на изменението на координатите на попаденията в хоризонталната равнина, при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор [m].

ИЗВОДИ:

1. Анализът на получените резултати, от разработения в точка 2.1 аналитичен модел, показва, че с увеличаване на диаметъра на отвора в гумения обтюратор силите на триене намаляват, а постъпателната и ъгловата скорост на куршума се увеличава.

2. Съгласно представените резултати, от разработения в точка 2.2 аналитичен модел, с увеличаването на стойностите на постъпателната и ъглова скорости, координатите на точките на попаденията, при наличие на сили на триене, се доближават до координатата без наличие на същите.

3. От представените на фигури 2.11 и 2.12 резултати, се установява, че влиянието на силите на триене в резултат на трибологичните характеристики върху разсейването във вертикалната равнина е значително по-голямо от това в хоризонталната равнина.

4. Получените резултати от създадения аналитичен модел за определяне на групираността, като се отчита влиянието на трибологичните характеристики на шумозаглушителя, показват, че теоретично е възможно да се постигне

подобряване на групираността чрез изработване на цилиндричен отвор в гумения обтюратор.

5. Необходимо е да се извърши експериментално изследване, за да може да се оцени адекватността на разработения аналитичен модел за определяне на групираността.

ГЛАВА ТРЕТА

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ТРИБОЛОГИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ШУМОЗАГЛУШИТЕЛЯ ВЪРХУ ГРУПИРАНОСТТА ПРИ ЕДИНИЧНА СТРЕЛБА

3.1. Постановка на експеримента

3.1.1. Обект на изследването: гумен обтюратор на шумозаглушител ПБС-1.

3.1.2. Вид на изследването: контролно, полигонно, функционално с въздействие върху обекта, до разрушаване (излизане от експлоатация).

3.1.3. Целта на изследването е да се установи изменението на групираността, нивото на шум и постъпателната и ъгловата скорост на куршума на 7,62 mm патрони образец „УС“ при единична стрелба със 7,62 mm АК-47, на който е монтиран шумозаглушител от камерен тип с гумен обтюратор – ПБС-1, в условията на и без проявяващи се сили на триене между обтюратора и куршума, при наличие на и без предварително изработени отвори с различен диаметър в обтюратора.

3.1.4. Задачи на изследването:

- експериментално да се определят базисните стойности на голямата и малката ос на елипсата на разсейването на 7,62 mm автомат „Калашников“ без монтиран шумозаглушител, при единична стрелба с 7,62x39 mm патрони образец 1943 г.;

- експериментално да се определи постъпателната скорост на куршума за използваната партия 7,62x39 mm патрони образец „УС“ при единична стрелба с 7,62 mm автомат „Калашников“, на който е монтиран шумозаглушител ПБС-1 с гумен обтюратор, в който предварително е изработен отвор с диаметър 15 mm;

- експериментално да се определи изменението на началната скорост и нивото на шумоподтискането при единична стрелба с 7,62 mm автомат „Калашников“ и 7,62x39 mm патрони образец „УС“, на който е монтиран шумозаглушител ПБС-1 с нов гумен обтюратор и обтюратори, в които предварително са изработени отвори с различни диаметри;

- експериментално да се определят координатите на попаденията в хоризонталната и вертикалната равнини и групираността при единична стрелба с 7,62 mm автомат „Калашников” и 7,62x39 mm патрони образец „УС“, на който е монтиран шумозаглушител ПБС-1 с нов гумен обтюратор и обтюратори, в които предварително са изработени отвори с различни диаметри.

3.1.5. Общи положения

3.1.5.1. Изследването се провежда в съответствие с изискванията на Наредба за условията и реда за осъществяване на дейностите, свързани с оръжията, боеприпасите, взривните вещества и пиротехническите изделия и контрола над тях във и от въоръжените сили на Република България.

3.1.5.2. Място за провеждане на изследването – открит стрелбищен полигон на територията на Централния артилерийски технически изпитателен полигон – Змейово.

3.1.6. Условия, при които се провежда изследването

3.1.7. Материално осигуряване на изследването

3.1.8. Ред за провеждане на изследването

3.1.8.1. Предварителна подготовка

3.1.8.2. Подготовка и разполагане на материалното осигуряване:

- каналът на цевта и шумозаглушителя се почистват от смазка и други замърсявания преди започване на стрелбата;

- осигурява се неподвижност на стрелковата система – 7,62 mm автомат „Калашников”, като същия се монтира към станок за балистични изпитвания „Баринов“ на стрелбищния полигон;

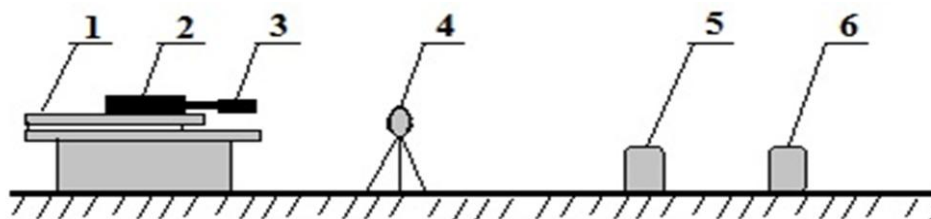
- разставя се апаратурата за измерване на силата на звука Sound Level Meter PCE-428 Class II – на разстояние 5 m мерено от дулния срез на оръжието (фиг. 3.1);

- разставя се апаратурата за измерване скоростта на куршума Drello Bal 4040– на разстояние 25 m мерено от дулния срез на оръжието (фиг. 3.1);

- поставя се щит със закрепен на него бял картон с размери 1 m височина и 1 m ширина, на разстояние 100 m от дулния срез на цевта;

- насочва се оръжието посредством тръбата за студена пристрелка (ТСП) в черния кръст на белия картон на мишената, след което механизмите за насочване на станокa се застопоряват и коригиране на положението им не се извършва до завършване на стрелбата;

- извършва се един подгряващ изстрел, с който се пробива отвора в гумения обтюратор.



Фиг. 3.1. Схема на разполагане на апаратурата и установката за извършване на експерименталното изследване.

1 - станок за балистични изпитвания „Баринов“; 2 - автомат „Калашников“ АК-47; 3 - шумозаглушител ПБС-1; 4 - апаратурата за измерване на силата на звука Sound Level Meter PCE-428 Class II; 5 - старт устройство на апаратурата за измерване скоростта на куршума Drello Bal 4040; 6 - стоп устройство на апаратурата за измерване скоростта на куршума Drello Bal 4040.

3.1.9. Експериментално изследване

Експерименталната стрелба се извършва в следната последователност:

А) Определят се базисните стойности на голямата и малката ос на елипсата на разсейването на 7,62 mm автомат „Калашников“ без шумозаглушител с 7,62x39 mm патрони образец 43 г. Ред за работа:

- произвеждат се 20 изстрела на единичен огън;
- определят се координатите на всяко попадение в хоризонталната и вертикалната равнини спрямо точката на насочване;
- определят се базисните стойности на голямата и малката ос на елипсата на разсейването.

Б) Измерва се постъпателната скорост на куршума за използваната партия 7,62x39 mm бойни припаси образец „УС“ и се определя групираността на стрелбата, чрез стрелба с монтиран шумозаглушител на 7,62 mm автомат „Калашников“ и изработен отвор в гумения обтюратор с диаметър 15 mm.

Ред за работа:

- монтира се в шумозаглушителя ПБС-1 гумен обтюратор с отвор с диаметър 15 mm;
- шумозаглушителя се монтира на цевта на 7,62 mm автомат „Калашников“;
- произвеждат се 3 серии от по 20 изстрела на единичен огън;
- измерва се началната скорост на куршума при всеки изстрел;
- определят се координатите на всяко попадение в хоризонталната и вертикалната равнини спрямо точката на насочване;
- определя се групираността за всяка серия поотделно.

В) Определя се изменението на постъпателната скорост, нивото на шумоподтискането и групираността на 7,62x39 mm патрони „УС“, при стрелба с нов (неупотребяван) гумен обтюратор. Ред за работа:

- демонтира се шумозаглушител ПБС-1 от 7,62 mm автомат „Калашников”, демонтира се гумения обтюратор с изработен отвор и се монтира нов (неупотребяван);

- шумозаглушителя се монтира на цевта на 7,62 mm автомат „Калашников”;

- произвеждат се 10 серии от по 20 изстрела на единичен огън;

- измерва се постъпателната скорост на куршума при всеки изстрел;

- измерва се нивото на шума;

- измерва се промяната на диаметъра на отвора в гумения обтюратор посредством шублер;

- определят се координатите на всяко попадение в хоризонталната и вертикалната равнини спрямо точката на насочване;

- определя се групираността за всяка серия поотделно.

Г) Определя се изменението на постъпателната скорост, нивото на шумоподтискането и групираността на 7,62x39 mm патрони „УС“, при стрелба с гумен обтюратор, в който е предварително е изработен цилиндричен отвор с диаметър 5 mm, 6 mm и 7 mm.

Редът за работа е аналогичен на подточка „В“.

3.2. Резултати от експерименталното изследване

При провеждането на експерименталното изследване, при стрелбата с гумен обтюратор, в който предварително е изработен цилиндричен отвор с диаметър 7 mm, беше установено, че механизмите за презареждане не извършват автоматичното презареждане на стрелковото оръжие. Докато при произведените 200 изстрела с гумен обтюратор с диаметър на отвора 6 mm, не се установи нарушаване на автоматичното презареждане на оръжието. Измерванията на промяната на диаметъра показаха, че стойността му беше стигнала 6,5 mm. Това от своя страна предостави възможността за определяне на максималния диаметър на отвора в гумения обтюратор, който не нарушава автоматичността на оръжието. В резултат на това се произведоха допълнителни изстрели, които показаха, че след произвеждане на 4 изстрела започва нарушаване на автоматично презареждане на стрелковото оръжие.

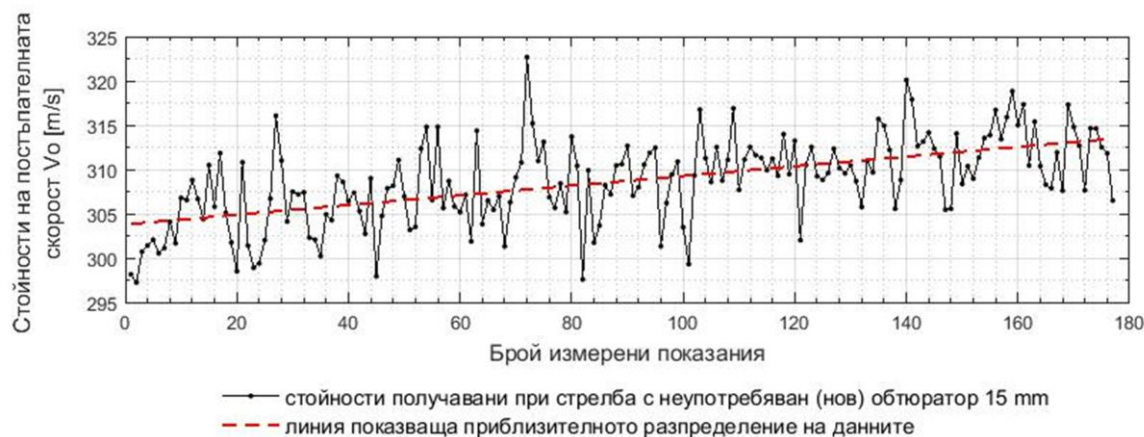
Резултатите от експерименталното изследване са представени в: приложение 4, таблица 3.3; приложение 5, таблица 3.4; приложение 6, таблица 3.5; приложение 7, таблица 3.6 и приложение 8, таблица 3.7. Получените резултати са представени графично на фигури от 3.2 до 3.15, както и в приложение 9, фигури от 3.16 до 3.27.

В резултат на грешки на апаратурата за измерване на стойностите на постъпателната скорост на куршума, не беше отчетена постъпателната скорост при всеки един изстрел, поради което резултатите, за изменението на

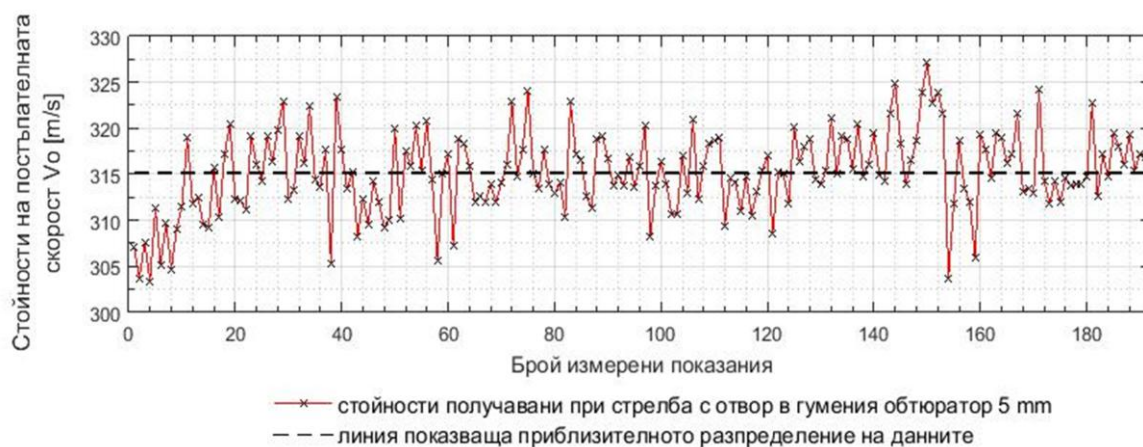
постъпателната скорост на куршума, са изобразени съгласно броя на измерените показания.



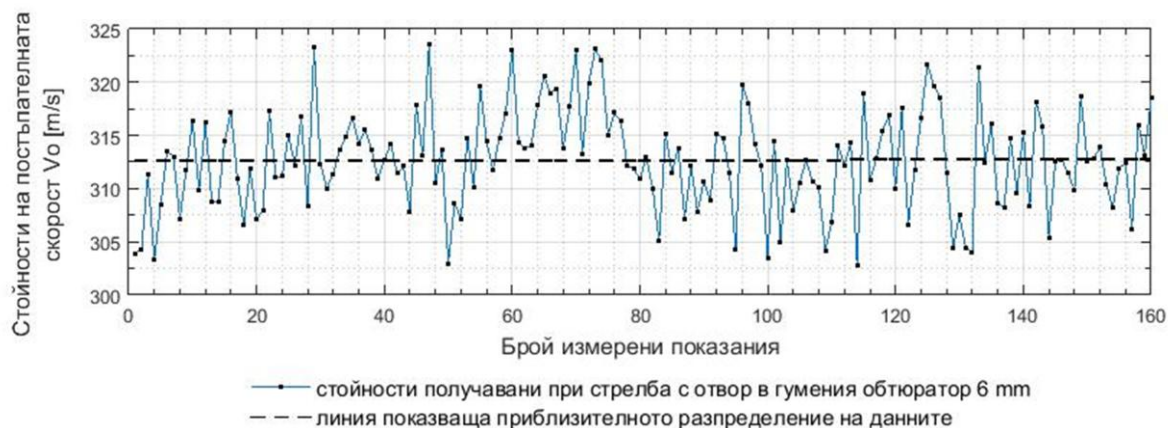
Фиг. 3.3 Изменение на стойностите на постъпателна скорост на куршума при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения обтюратор с диаметър 15 mm.



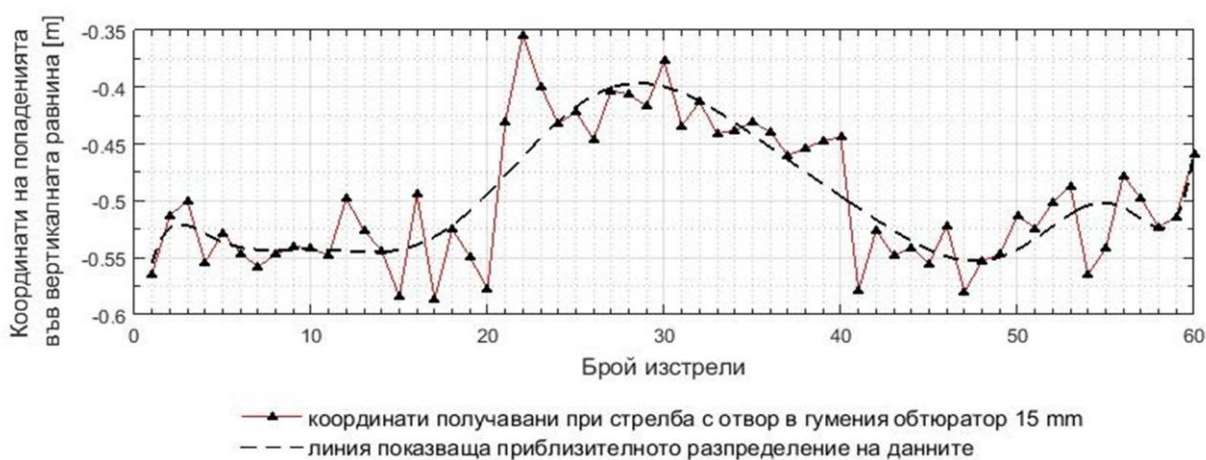
Фиг. 3.4 Изменение на стойностите на постъпателна скорост на куршума при стрелба без отвор в гумения обтюратор (нов обтюратор).



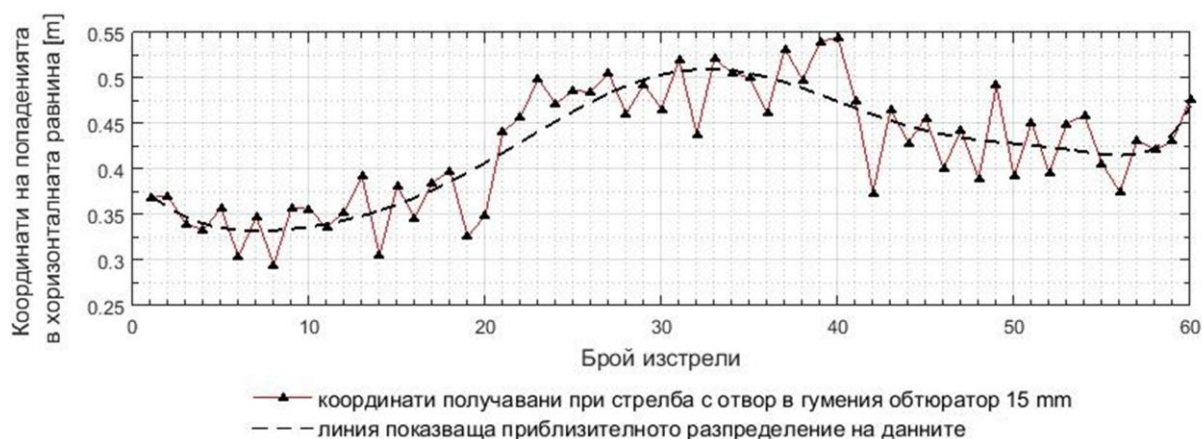
Фиг. 3.5 Изменение на стойностите на постъпателна скорост на куршума при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения обтюратор с диаметър 5 mm.



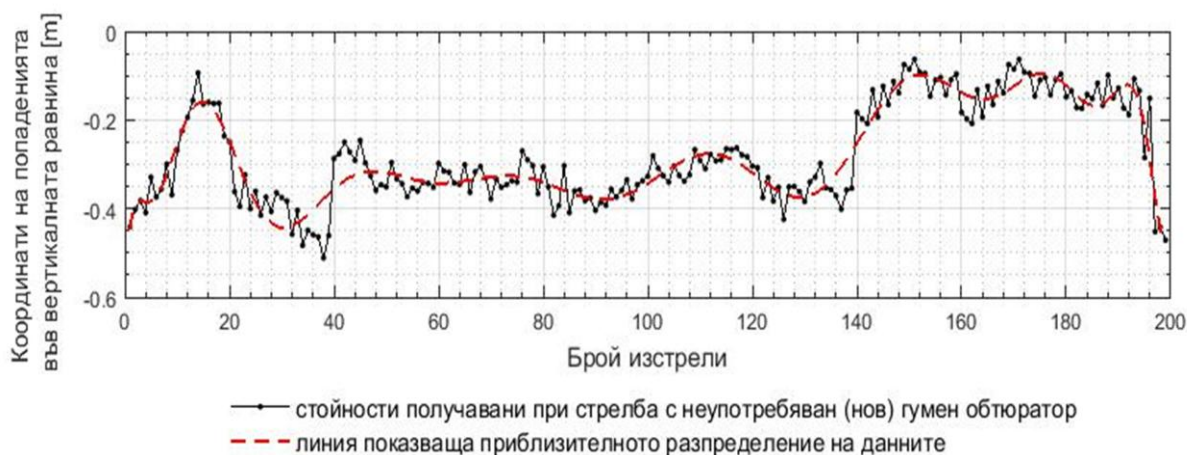
Фиг. 3.6 Изменение на стойностите на постъпателна скорост на куришума при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения обтюратор с диаметър 6 mm.



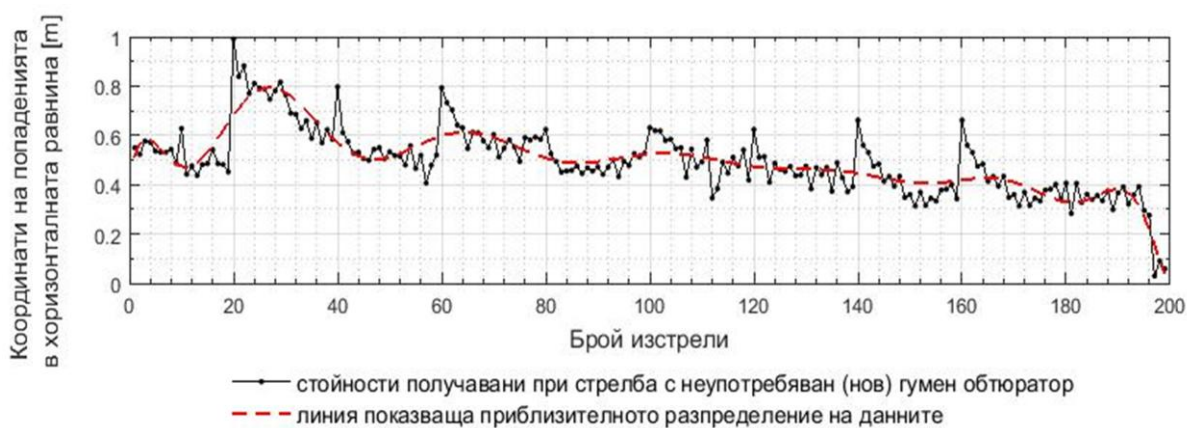
Фиг. 3.7 Изменение на стойностите на координатите на попаденията във вертикалната равнина, в зависимост от изменението на броя изстрели при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в обтюратора с диаметър 15 mm.



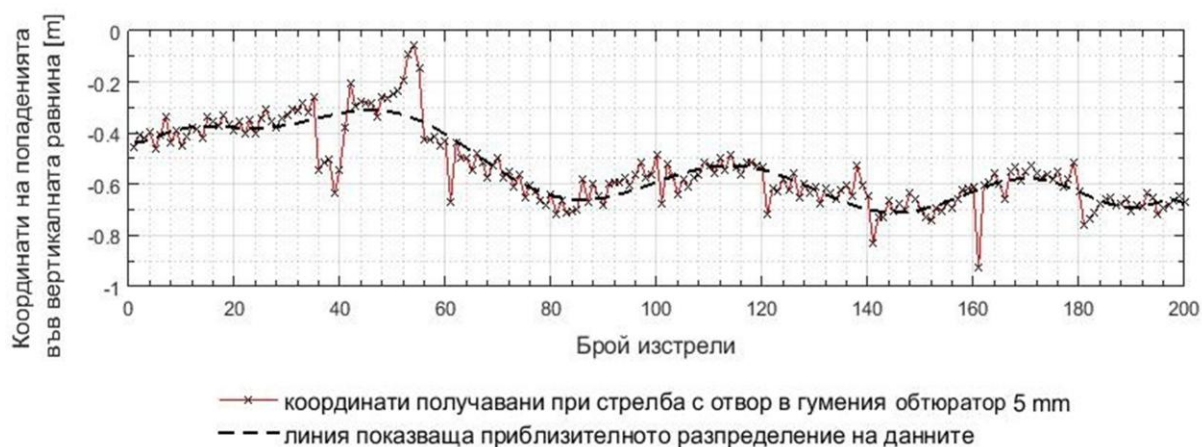
Фиг. 3.8 Изменение на стойностите на координатите на попаденията в хоризонталната равнина, в зависимост от изменението на броя изстрели при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в обтюратора с диаметър 15 mm.



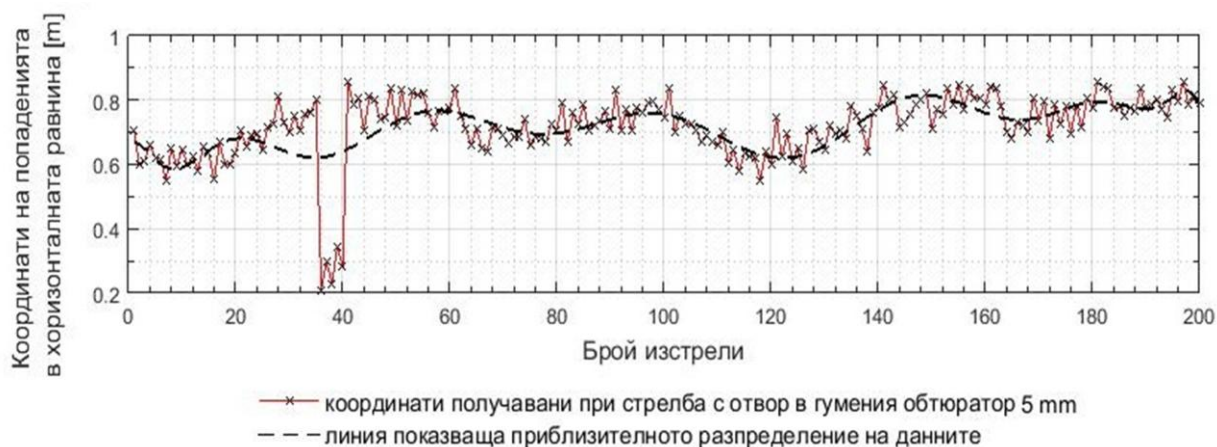
Фиг. 3.9 Изменение на стойностите на координатите на попаденията във вертикалната равнина, в зависимост от изменението на броя изстрели при стрелба без отвор в същия (нов obturator).



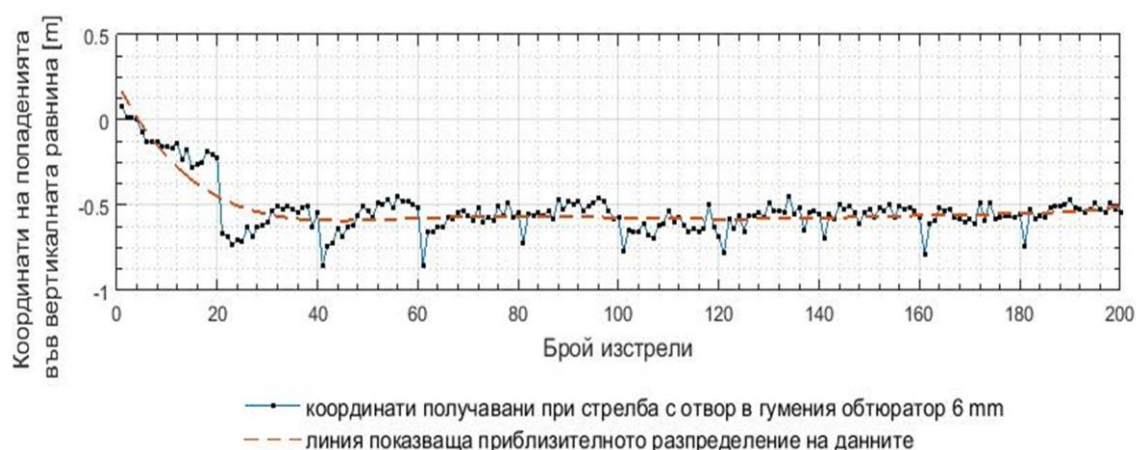
Фиг. 3.10 Изменение на стойностите на координатите на попаденията в хоризонталната равнина, в зависимост от изменението на броя изстрели при стрелба без отвор в същия (нов obturator).



Фиг. 3.11 Изменение на стойностите на координатите на попаденията във вертикалната равнина, в зависимост от изменението на броя изстрели при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения obturator с диаметър 5 mm.



Фиг. 3.12 Изменение на стойностите на координатите на попаденията в хоризонталната равнина, в зависимост от изменението на броя изстрели при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения obtюратор с диаметър 5 mm.



Фиг. 3.13 Изменение на стойностите на координатите на попаденията във вертикалната равнина, в зависимост от изменението на броя изстрели при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения obtюратор с диаметър 6 mm.



Фиг. 3.14 Изменение на стойностите на координатите на попаденията в хоризонталната равнина, в зависимост от изменението на броя изстрели при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения obtюратор с диаметър 6 mm.

Експерименталните данни, приложени в таблици 3.4, 3.5 и 3.6 на приложения 5, 6 и 7, фигури от 3.2 до 3.6 и в приложение 9, фигури от 3.16 до 3.21, показват наличието на права зависимост между диаметъра на отвора в гумения обтюратор и постъпателната скорост на куршума. Това се обяснява с факта, че увеличаването на отвора в гумения обтюратор довежда до намаляване на силите на триене между куршума и гумения обтюратор и от там до увеличаване на стойностите на постъпателната скорост на куршума.

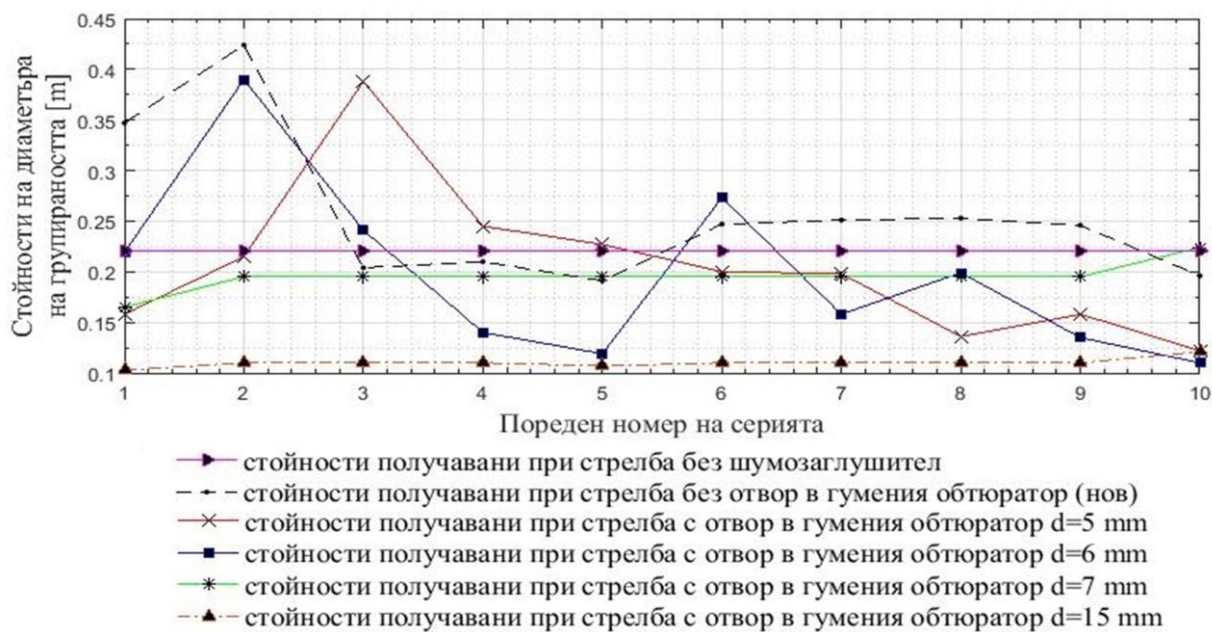
От анализът на резултатите от експерименталното изследване за стойностите на постъпателната скорост на куршума се установява, че същите остават приблизително еднакви при стрелба с предварително изработени цилиндрични отвори в гумения обтюратор. В същото време, при стрелба с неупотребяван гумен обтюратор, стойностите на постъпателната скорост постоянно и постепенно нарастват.

От анализът на резултатите, представени на фигури от 3.7 до 3.14 и в приложение 9, фигури от 3.22 до 3.27, се установява, че разсейването на попаденията във вертикалната и хоризонталната равнини е по-равномерно, при стрелба с предварително изработени цилиндрични отвори в гумения обтюратор, за разлика от това при стрелба с неупотребяван обтюратор. Това се обяснява с факта, че при стрелба нов гумен обтюратор, получаваните екстремуми на данните са значително повече от тези получавани при стрелба с обтюратор, в който е изработен отвор.

Таблица 3.1

Резултати на стойностите на голямата и малката ос на елипсата на разсейването при и без предварително изработен цилиндричен отвор

№ по ред на серията	Резултати получавани при стрелба без изработен отвор			Резултати получавани при стрелба с диаметър на отвора $d = 5 \text{ mm}$			Резултати получавани при стрелба с диаметър на отвора $d = 6 \text{ mm}$		
	Y_{100} [m]	X_{100} [m]	D_{100} [m]	Y_{100} [m]	X_{100} [m]	D_{100} [m]	Y_{100} [m]	X_{100} [m]	D_{100} [m]
1.	0,347	0,19	0,347	0,13	0,158	0,158	0,219	0,156	0,219
2.	0,187	0,424	0,424	0,161	0,215	0,215	0,39	0,227	0,39
3.	0,127	0,204	0,204	0,388	0,181	0,388	0,241	0,178	0,241
4.	0,108	0,21	0,21	0,245	0,196	0,245	0,17	0,129	0,14
5.	0,112	0,191	0,191	0,227	0,159	0,227	0,119	0,114	0,119
6.	0,077	0,247	0,247	0,154	0,2	0,2	0,273	0,17	0,273
7.	0,126	0,251	0,251	0,191	0,198	0,198	0,158	0,133	0,158
8.	0,253	0,127	0,253	0,135	0,136	0,136	0,199	0,152	0,199
9.	0,145	0,246	0,246	0,145	0,158	0,158	0,128	0,135	0,135
10.	0,196	0,13	0,196	0,122	0,109	0,122	0,11	0,083	0,11



фиг. 3.15 Изменение на стойностите на диаметъра на групираността на стрелбата, получени от резултатите на експерименталното изследване.

Получените резултати от изчисленията за средната относителна грешка на данните, в дисертационния труд, показват, че групираността при стрелба с гумен obturator, в който е предварително изработен цилиндричен отвор с диаметър $d = 5 \text{ mm}$ се подобрява с приблизително 25 %, а при отвор с $d = 6 \text{ mm}$ с приблизително 29 %. В същото време, по аналогичен начин, анализа на резултатите представени в приложение 5, таблица 3.4; приложение 6, таблица 3.5 и приложение 7, таблица 3.6, показва, че нивото на шумоподтискането се влошава при диаметър $d = 5 \text{ mm}$ с приблизително 5 %, а при $d = 6 \text{ mm}$ с приблизително 8 %.

ИЗВОДИ:

1. Анализът на изведените резултати от експерименталното изследване, показва, че при стрелба с предварително изработени цилиндрични отвори в гумения obturator, се постигат приблизително еднакви, близки до дулната скорост на използваната партия бойни припаси и по-високи стойности на постъпателната скорост на куршума. В резултат на това се намалява разсейването на попаденията, което довежда до подобряване на групираността при единична стрелба със стрелково оръжие на разстояние 100 m.

2. Съгласно представените резултати, получени от експерименталното изследване, се установява, че при стрелба с предварително изработени цилиндрични отвори в гумения obturator се намалява износването на obturatora. Това от своя страна, води до заключението, че предварителното изработване на цилиндричен отвор в гумения obturator намалява влиянието на трибологичните характеристики върху групираността на стрелбата.

3. Провеждането на експерименталните стрелби показва, че при диаметър на цилиндричния отвор в гумения обтюратор по-голям от $d = 6,5 \text{ mm}$ води до частични откази в автоматичното презареждане на стрелковото оръжие. Това показва, че изработването на отвори с по-голям диаметър от $d = 6,5 \text{ mm}$ е нецелесъобразно.

4. Резултатите от експерименталното изследване потвърждават теоретичния модел и показват правопрпорционална зависимост между промяната на постъпателната скорост на куршума, координатите на точките на попаденията и диаметъра на отвора в гумения обтюратор, което потвърждава хипотезата, че постигане на по-добра групираност е възможно чрез изработване на цилиндричен отвор в гумения обтюратор с определен диаметър.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА

ОБРАБОТКА НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ОЦЕНКА НА АДЕКВАТНОСТТА НА МОДЕЛА

Един от способите за извършване обосновка на адекватността на модела е чрез използване на методите на регресионния анализ.

Извършването на регресионен анализ на данни изисква от изследващият да създаде регресионен модел, който описва изменението на изследваната променлива под въздействието на редица фактори и явления. Последващата оценка на адекватността на регресионния модел дава отговор доколко добре моделът описва реалните процеси и съществува ли връзка между резултатите получавани от аналитичния модел и тези от експерименталното изследване.

В съответствие с това и с цел оценка адекватността на разработения в дисертационния труд аналитичен модел се повдигат следните нулеви хипотези:

- между резултатите от аналитичния модел и тези от експерименталното изследване съществува функционална зависимост;
- дисперсиите на данните получени от аналитичния модел са статистически сходими с дисперсиите на данните от експерименталното изследване;
- резултатите получени от аналитичния модел могат да се използват за прогнозиране на резултати от експериментално изследване.

4.1. Обработка на резултатите и оценка адекватността на аналитичния модел разработен за изследване на зависимостта между силите на триене между куршума и гумения обтюратор и постъпателната и ъгловата скорост на куршума

Измерената от експерименталните стрелби средна стойност за дулна постъпателна скорост на куршума, на използваната партия бойни припаси е:

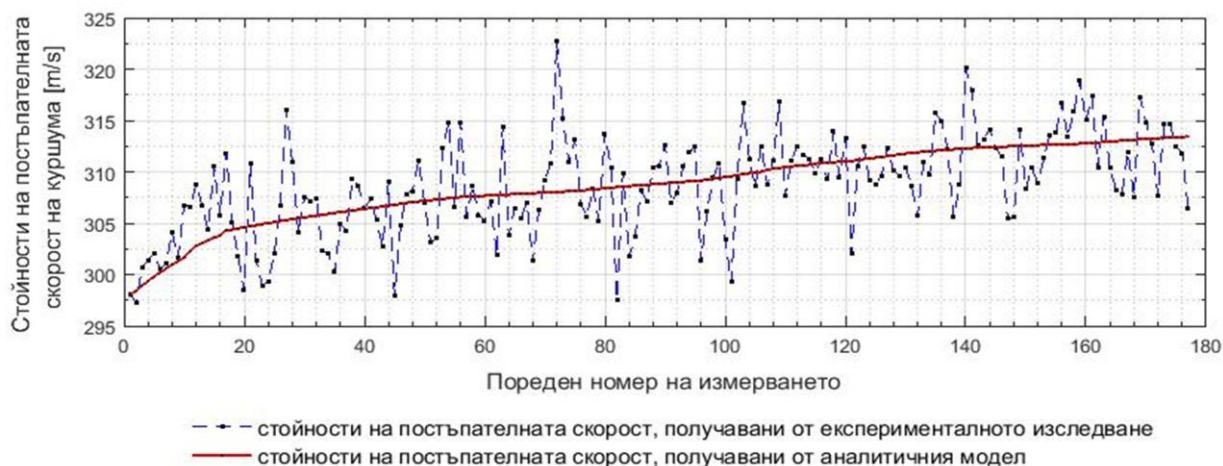
$$V_d = 315,5357 \text{ [m/s]}$$

В съответствие с тази стойност и използвайки формули 2.22, 2.23, 2.38, 2.39, 2.44 и 2.57 от разработения аналитичен модел, данните за изследваните зависимости са преизчислени и представени в приложение 10, таблица 4.9.

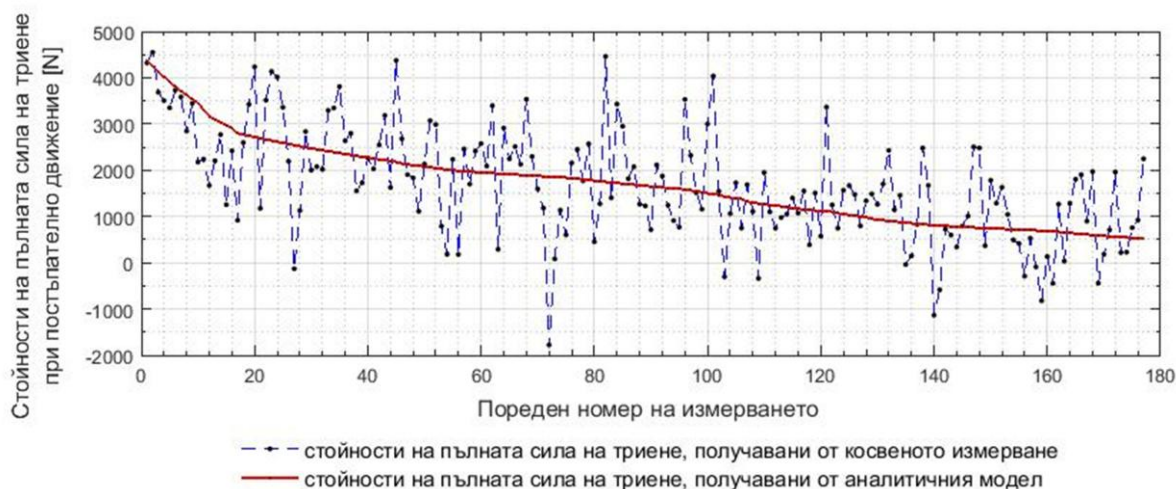
В следствие на невъзможност за осигуряване на апаратура за измерване на ъглова скорост, по време на експерименталното изследване е измервана постъпателната скорост на куршума, което налага оценка адекватността на модела да се извършва само за изменението на постъпателната скорост и силата на триене при плъзгане.

Резултатите от експерименталното изследване за стойностите на пълната сила на триене при постъпателно движение на куршума в гумения обтюратор са изведени посредством косвено измерване на величини.

Получените резултати от аналитичния модел, косвеното измерване и експерименталното изследване са представени графично на фигури 4.1 и 4.2, след обработката им посредством потребителски софтуер MathLab.



Фиг.4.1 Изменение на стойностите на постъпателната скорост, получавани от аналитичния модел и от експерименталното измерване.



Фиг.4.2 Изменение на стойностите на пълната сила на триене при постъпателно движение, получавани от аналитичния модел и от косвеното измерване.

Сравнителния анализ, представен в дисертационния труд показва, че за средната относителна грешка на аналитичния модел за изследване на изменението на постъпателната скорост на куршума, е приблизително 17 %.

За потвърждаване на повдигнатите нулеви хипотези е необходимо да се извърши оценка адекватността на аналитичния модел.

С цел улесняване процеса на работа и получаване на по-прецизни резултати при обработка на данните и оценка адекватността на разработения в дисертационния труд аналитичен модел, изчисленията се извеждат посредством софтуерния продукт McExcell (“Data Analysis“, инструмента „Regression“).

Получените резултати от регресионния анализ на данните за стойностите на пълната сила на триене и постъпателната скорост, използвайки McExcell са представени в приложения 13 и 14. В таблица 4.2 са изведени част от резултатите необходими за оценка адекватността на аналитичния модел.

Таблица 4.2

Резултати, получени от регресионния анализ на данните за изменението на постъпателната скорост и силата на триене при плъзгане на 7,62 mm „УС“ куршум след преминаването му през гумен обтюратор на шумозаглушител ПБС-1

Параметър	Коефициент на корелация на Пирсън (Multiple R - r_{xy})	Коефициент на детерминация (R_d^2)	F_0 – критерий на Фишер	Коефициент на значимост на критерия на Фишер (Significance F)	Коефициент на значимост на критерия на Стьюдент (P-value β_0)	Коефициент на значимост на критерия на Стьюдент (P-value β_1)
F	0,988	0,977	6973,919	1,1. (10^{-135})	1. (10^{-14})	1,1. (10^{-135})
V_0	0,97	0,941	2793,414	1,6322. (10^{-109})	3,79. (10^{-29})	1,6. (10^{-109})

Нивото на статистическа значимост, избрано за оценка адекватността на аналитичния модел е $\alpha = 0,05$.

Получените резултати от корелационния коефициент на Пирсън (Multiple R – r_{xy}) показват наличието на статистическа значимост между данните получавани от аналитичния модел и експериментално измерените.

Параметрите на регресионния модел в генералната съвкупност се приемат за статистически значими.

В допълнение, от резултатите за коефициента на детерминация (R Square – R_d^2), става ясно, че 97 % от дисперсиите на данните получени, за силата на триене при плъзгане, от косвеното измерване и 94 % за постъпателната скорост получени от експерименталното изследване са статистически сходими с данните получавани от аналитичния модел.

4.2. Обработка на резултатите и оценка адекватността на аналитичния модел разработен за изследване на зависимостта между изменението на постъпателната и ъглова скорости на куршума и координатите на точките на попаденията в мишената

Сравнителния анализ, представен в дисертационния труд показва, че за средната относителна грешка на аналитичния модел за координатите на данните във вертикалната равнина, грешката е 43,67 %, а за хоризонталната равнина – 15,54 %.

В съответствие с извършения сравнителен анализ на данните, в дисертационния труд, е установено, че от така получените данни, може да се допусне, че ексцентричното съприкосновение, на куршума с гумения обтюратор, оказва по-голямо влияние върху ъгъла на излитането, отколкото върху дестабилизирането на куршума.

Получените данни се явяват първа стъпка, и могат да се използват, за последващи и по-прецизни анализи и изследвания върху проблема свързан с контакта на куршума с гумения обтюратор.

За оценка адекватността на разработения в дисертационния труд, аналитичен модел е необходимо да се извърши регресионен анализ по описаната в точка 4.1 методика.

Получените резултати от статистическата обработка на аналитичните данни за изменението на координатите на точките на попаденията, изведени посредством McExcell (инструмента „Regression“ на блока „Data Analysis“), са представени в приложение 16, фигури от 4.4 до 4.13 и в приложение 17, фигури от 4.14 до 4.23.

В таблица 4.4 са представени резултатите необходими за оценка на адекватността на разработения в дисертационния труд аналитичен модел.

Таблица 4.4

Резултати от регресионния анализ на аналитичния модел за определяне координатите на точките на попаденията във вертикалната и хоризонталната равнини на мишената при възникващи сили на триене в резултат от трибологични характеристики

№ по ред на групата	Коефициент на корелация на Пирсън (Multiple R - r_{xy})	Коефициент на детерминация (R_d^2)	F_0 – критерий на Фишер	Коефициент на значимост на критерия на Фишер (Significance F)	Коефициент на значимост на критерия на Стюдънт (P-value β_0)	Коефициент на значимост на критерия на Стюдънт (P-value β_1)
Вертикална равнина						
1	0,978	0,957	387,532	3,88. (10^{-13})	3,17. (10^{-9})	3,88. (10^{-13})
2	0,947	0,896	156,518	2,57. (10^{-10})	5,97. (10^{-6})	2,57. (10^{-10})
3	0,955	0,912	186,75	6,06. (10^{-11})	8. (10^{-6})	6,06. (10^{-11})

№ по ред на групата	Коефициент на корелация на Пирсън (Multiple R - r_{xy})	Коефициент на детерминация (R_d^2)	F_0 – критерий на Фишер	Коефициент на значимост на критерия на Фишер (Significance F)	Коефициент на значимост на критерия на Стюдент (P-value β_0)	Коефициент на значимост на критерия на Стюдент (P-value β_1)
4	0,984	0,968	550,622	6,01. (10^{-15})	3,3. (10^{-11})	6,01. (10^{-15})
5	0,971	0,943	300,587	1,12. (10^{-12})	0,000276	1,12. (10^{-12})
6	0,991	0,983	1097,327	1,39. (10^{-17})	3,86. (10^{-10})	1,39. (10^{-17})
7	0,958	0,918	203,897	2,93. (10^{-11})	3,26. (10^{-16})	2,93. (10^{-11})
8	0,902	0,815	72,316	5,15. (10^{-8})	0,003702	5,15. (10^{-8})
9	0,986	0,972	631,195	1,82. (10^{-15})	5,17. (10^{-11})	1,82. (10^{-15})
10	0,876	0,768	49,777	3,9. (10^{-6})	4,04. (10^{-8})	3,9. (10^{-6})
Хоризонтална равнина						
1	0,953	0,908	168,508	3. (10^{-10})	1,08. (10^{-9})	3. (10^{-10})
2	0,969	0,939	281,183	1,97. (10^{-12})	2,54. (10^{-10})	1,97. (10^{-12})
3	0,787	0,619	29,356	3,79. (10^{-5})	4,46. (10^{-5})	3,79. (10^{-5})
4	0,905	0,819	81,717	4,12. (10^{-8})	4,54. (10^{-8})	4,12. (10^{-8})
5	0,875	0,767	59,26	4,22. (10^{-7})	5,14. (10^{-7})	4,22. (10^{-7})
6	0,99	0,981	970,287	4,12. (10^{-17})	4,94. (10^{-17})	4,12. (10^{-17})
7	0,92	0,846	99,43	9,33. (10^{-9})	1,03. (10^{-8})	9,33. (10^{-9})
8	0,98	0,979	857,713	1,23. (10^{-16})	1,84. (10^{-16})	1,23. (10^{-16})
9	0,901	0,813	78,4	5,61. (10^{-8})	5,83. (10^{-8})	5,61. (10^{-8})
10	0,887	0,788	67,12	1,74. (10^{-7})	1,81. (10^{-7})	1,74. (10^{-7})

Получените резултати показват наличието на статистическа значимост между данните получавани от аналитичния модел и експериментално измерените за избраното ниво на значимост – $\alpha=0,05$.

Параметрите на регресионния модел в генералната съвкупност се приемат за статистически значими.

В допълнение става ясно, че средно 91 % от дисперсиите на данните получени, за координатите във вертикалната равнина и 84 % за хоризонталната равнина, от експерименталното изследване са статистически сходими с данните получавани от аналитичния модел.

4.3. Обработка на резултатите и оценка адекватността на аналитичния модел разработен за изследване на зависимостта между силите на триене между куршума и гумения обтюратор и групираността при единична стрелба

Съгласно разработения аналитичен модел в точка 2.4 на глава втора и измерената от експерименталното изследване дулна постъпателна скорост на куршума – $V_d = 315,5357$ [m/s] е необходимо първо да се изчислят стойностите на координатите на точките на попаденията, във вертикалната и хоризонталната равнини на мишената, без наличие на сили на триене. Изчисленията се извършват съгласно изведения в точка 2.2 аналитичен модел, формули 2.44 и

2.57. Резултатите показват, че координатите на точките на попадението, без наличие на сили на триене, се очакват да бъдат:

- във вертикалната равнина – $y = -0,01145 \text{ m}$.
- в хоризонталната равнина – $x = 0,02673 \text{ m}$.

Второ, използвайки формули 2.58, 2.59, 2.60 и 2.61 от аналитичния модел в точка 2.4 на глава втора, е необходимо е да се изчисли стойността на разстоянието между координатите на точките на попаденията при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор и координатата без наличие на същите. Резултатите от извършените изчисления, представени в приложение 18, таблица 4.13, показват, че максималната стойност на изменението на координатите на попаденията е:

- във вертикалната равнина – $\Delta Y_{max} = 0,0598 \text{ m}$.
- в хоризонталната равнина – $\Delta X_{max} = 0,0018 \text{ m}$.

Трето, съгласно изведената зависимост за определяне изменението на групираността в точка 2.4 на глава втора от дисертационния труд е необходимо да се определи максималната и минималната стойност на изменението на малката и голямата ос на елипсата на разсейването, при наличие на сили на триене, от базисните оси. Съгласно това, използвайки получените стойности – ΔY_{max} и ΔX_{max} и базисните стойности на голямата и малката ос на елипсата на разсейването на стрелковото оръжие се изчисляват стойностите на осите при наличие на сили на триене между куршума и гумения обтюратор.

За базисни стойности на голямата и малката ос на елипсата на разсейването на стрелковото оръжие, без монтиран шумозаглушител със 7,62 mm патрони обр. 43 г., се приема измерената стойност от експерименталното изследване, представени в таблица 3.2 в дисертационния труд, а именно:

- за вертикалната равнина – $Y_{tab} = 0,212 \text{ m}$;
- за хоризонталната равнина – $X_{tab} = 0,22 \text{ m}$.

В резултат на изложеното дотук, извършените изчисления съгласно разработения в точка 2.4 на глава втора от дисертационния труд аналитичен модел, формули 2.62, 2.63, 2.64 и 2.65, показват, че за максималната и минималната стойност на малката и голямата ос на елипсата на разсейването се получава:

- във вертикалната равнина:
 - $Y_{100max} = 0,212 + 0,0598 = 0,2718 \text{ m}$;
 - $Y_{100min} = 0,212 - 0,0598 = 0,1522 \text{ m}$;
- в хоризонталната равнина:
 - $X_{100max} = 0,22 + 0,0018 = 0,2218 \text{ m}$;
 - $X_{100min} = 0,22 - 0,0018 = 0,2182 \text{ m}$.

Така получените резултати показват, че съгласно разработения аналитичен модел, прогнозната стойност на диаметъра на групираността е в границите от 0,2182 до 0,2718 m.

От друга страна, за оценка адекватността на модела са необходими 10 броя данни, което налага получените, от максималната до минималната стойност за елипсите на разсейването, да се интерполират. В резултат на това се извеждат необходимите данни, като за стойността на диаметъра на кръга на групираността (D_{100}) ще се приема стойността на по-голямата от двете оси.

Получените резултати от извършените изчисления и измерените от експерименталното изследване стойности са представени в таблица 4.5. Резултатите са представени графично на фигура 4.3 след обработката им посредством потребителски софтуер MATLAB.

Данните получени от експерименталното изследване са обработени посредством софтуерния продукт McExcell (инструмента „Percentile“ от блока „Data Analysis“).

Сравнителния анализ на резултатите за относителната грешка, изчислена съгласно представената в глава трета на дисертационния труд, формула 3.2, между получаваните от аналитичния модел и експерименталното изследване стойности, е представен в таблица 4.6.

Стойностите за средната относителна грешка са изчислени съгласно описаната в глава трета (формули 3.1 и 3.2) на дисертационния труд, методика.

Таблица 4.5

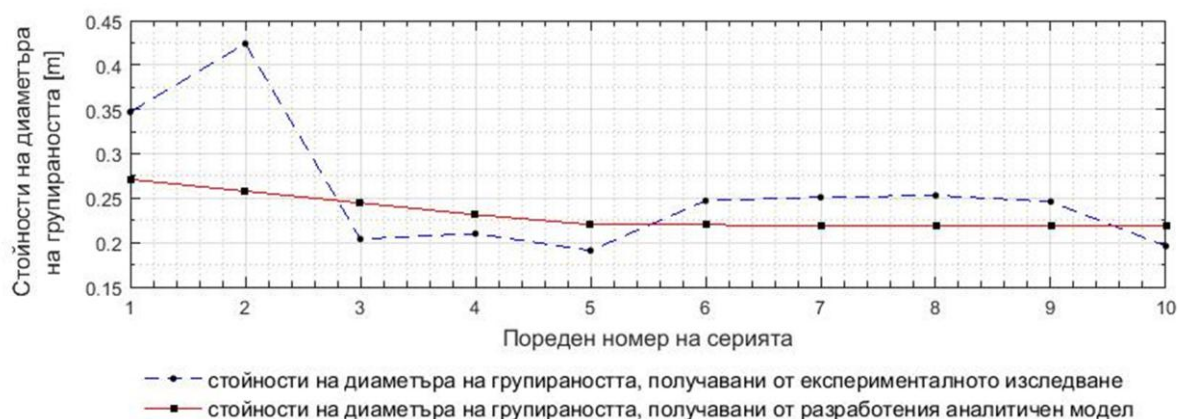
Резултати за стойностите на голямата и малката ос на елипсата на разсейване и диаметъра на групираността

№ по ред на серията	Резултати получени от аналитичния модел			Резултати получени от експерименталното изследване при стрелба без изработен отвор в гумения обтюратор			Резултати получени от експерименталното изследване при стрелба с диаметър на отвора в гумения обтюратор $d = 5 \text{ mm}$		
	Y_{100} [m]	X_{100} [m]	D_{100} [m]	Y_{100} [m]	X_{100} [m]	D_{100} [m]	Y_{100} [m]	X_{100} [m]	D_{100} [m]
1	0,2718	0,2218	0,2718	0,347	0,424	0,424	0,388	0,109	0,388
2	0,2578	0,2214	0,2578	0,253	0,251	0,347	0,245	0,136	0,245
3	0,2446	0,221	0,2446	0,196	0,247	0,253	0,227	0,158	0,227
4	0,2314	0,2206	0,2314	0,187	0,246	0,251	0,191	0,158	0,215
5	0,2182	0,2202	0,2202	0,145	0,21	0,247	0,161	0,159	0,2
6	0,205	0,2198	0,2198	0,127	0,204	0,246	0,154	0,181	0,198
7	0,1918	0,2194	0,2194	0,126	0,191	0,21	0,145	0,196	0,158
8	0,1786	0,219	0,219	0,112	0,19	0,204	0,135	0,198	0,158
9	0,1654	0,2186	0,2186	0,108	0,13	0,196	0,13	0,2	0,136
10	0,1522	0,2182	0,2182	0,077	0,127	0,191	0,122	0,215	0,122

Таблица 4.6

Резултати от сравнителния анализ на стойностите на голямата и малката ос на елипсата на разсейване и групираността получавани от аналитичния модел и експерименталното изследване

№ по ред на серията	Относителна грешка [%]					
	Между резултатите получени от експерименталното изследване при стрелба без изработен отвор в гумения обтюратор и аналитичния модел			Между резултатите получени от експерименталното изследване при стрелба с диаметър на отвора в гумения обтюратор $d=5\text{ mm}$ и аналитичния модел		
	Y_{100}	X_{100}	D_{100}	Y_{100}	X_{100}	D_{100}
1	-27,67%	-91,16%	-56,00%	29,95%	-103,49%	29,95%
2	1,86%	-13,37%	-34,60%	-5,22%	-62,79%	-5,22%
3	19,87%	-11,76%	-3,43%	-7,75%	-39,87%	-7,75%
4	19,19%	-11,51%	-8,47%	-21,15%	-39,62%	-7,63%
5	33,55%	4,63%	-12,17%	-35,53%	-38,49%	-10,10%
6	38,05%	7,19%	-11,92%	-33,12%	-21,44%	-11,01%
7	34,31%	12,94%	4,28%	-32,28%	-11,94%	-38,86%
8	37,29%	13,24%	6,85%	-32,30%	-10,61%	-38,61%
9	34,70%	40,53%	10,34%	-27,23%	-9,30%	-60,74%
10	49,41%	41,80%	12,47%	-24,75%	-1,49%	-78,85%
Средна относителна грешка	20,73%	-0,91%	-10,69%	-11,53%	-28,65%	-13,38%



Фиг. 4.3. Графика на изменение на диаметъра на групираността, в който се побират 100% от попаденията - D_{100} , получени от експерименталното изследване и аналитичния модел.

Анализът на получените резултати за средната относителна грешка на стойностите на диаметъра на групираността, показват, че данните получени при стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения обтюратор, са по-ниски (по-добри) с 13,38 %, за разлика от тези получавани от аналитичния модел. В същото време, се установява, че 10,69 % от за данните получени при

стрелба с неупотребяван (нов) гумен обтюратор са по-ниски от тези получавани от аналитичния модел, което се явява средната относителна грешка на модела.

За потвърждаване на повдигнатите хипотези и оценка адекватността на модела се използва методиката представена в точка 4.1.

Част от резултатите от регресионния анализ, използвайки инструмента „Regression“ на блока „Data Analysis“ на McExcell, са представени в таблица 4.8. Пълните резултати са представени в приложения 19, 20 и 21.

Таблица 4.8

Резултати, получени от регресионния анализ на данните, получени от аналитичния модел и експерименталното изследване за изменението на групираността на стрелбата

Показател	Коефициент на корелация на Пирсън (Multiple R - r_{xy})	Коефициент на детерминация (R_d^2)	F_0 – критерий на Фишер	Коефициент на значимост на критерия на Фишер (Significance F)	Коефициент на значимост на критерия на Стюдънт (P-value β_0)	Коефициент на значимост на критерия на Стюдънт (P-value β_1)
Y_{100}	0,918	0,843	43,078	0,000176	0,005903	0,000176
X_{100}	0,873	0,762	25,749	0,00096	0,001067	0,00096
D_{100}	0,939	0,882	60,373	5,38. (10^{-5})	0,000666	5,38. (10^{-5})

Получените резултати показват наличието на статистическа значимост между данните получавани от аналитичния модел и експериментално измерените за избраното ниво на значимост – $\alpha=0,05$.

Параметрите на регресионния модел в генералната съвкупност се приемат за статистически значими.

В допълнение става ясно, че средно 84 % от дисперсиите на данните получени за изменението на голямата ос на елипсата на разсейване, 76 % за малката ос и 88 % за диаметъра на групираността, от експерименталното изследване са статистически сходими с данните получавани от аналитичния модел.

ИЗВОДИ:

1. Резултатите, получени при проверка на нулевите хипотези и оценка адекватността на моделите показват, че същите са адекватни и могат да се използват за прогнозно определяне на постъпателната скорост на куршума, силите на триене, в резултат от трибологичните характеристики и декартовите координати на точките на попаденията в мишената.

2. Оценката на адекватността на аналитичния модел за изследване на зависимостта между силите на триене, в резултат от трибологичните характеристики, и групираността при единична стрелба показва, че същия може

да се използва за прогнозно определяне групираността на боя на стрелковото оръжие при направените допускания и ограничения.

ОБЩИ ИЗВОДИ:

1. Извършеният, в дисертационния труд, анализ показва, че един от факторите, който влошава групираността, при единична стрелба с монтиран шумозаглушител, е контакта на куршума с обтюратора. Това, от своя страна, довежда до проявяване на сили на триене, в резултат от трибологичните характеристики, които изменят постъпателната и ъглови скорости на куршума.

2. На този етап, в достъпните литературни източници, не се откриват данни от разработен аналитичен модел за изследване изменението на групираността на стрелбата чрез отчитане влиянието на трибологичните характеристики на шумозаглушителя.

3. От извършените проучвания и разработения аналитичен модел за определяне на групираността, се установи, че е възможно групираността при единична стрелба да се подобри, чрез предварително изработване на цилиндричен отвор в гумения обтюратор.

4. Извършените експериментални стрелби потвърждават работната хипотеза и теоретичния модел, че групираността на стрелбата се подобрява при единична стрелба с предварително изработен цилиндричен отвор в гумения обтюратор. Резултатите показват, че при стрелба с обтюратор, в който е изработен цилиндричен отвор с диаметър 5 mm, довежда до подобряване на групираността с приблизително 25 %.

5. Извършеният регресионен анализ на данните получавани от разработения аналитичен модел (теоретичното) и експерименталното изследване показва, че моделът може да се приеме за адекватен и същия да се използва за прогнозно определяне изменението на скоростите, координатите на попаденията и групираността.

6. Извършените в дисертационния труд анализи и изследвания се явяват първа стъпка за по-задълбочено проучване на проблема за влиянието на трибологичните характеристики върху групираността на стрелбата и по-прецизно определяне на оптималния диаметър на отвора в гумения обтюратор за постигане на най-добра групираност и ниво на шум на изстрела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разработения дисертационен труд е изследвано влиянието на трибологичните характеристики на шумозаглушителя върху групираността при

единична стрелба със стрелково оръжие и възможността за подобряването ѝ чрез намаляване влиянието на силите на триене, възникващи при преминаването на куршум през гумен обтюратор.

Извършеният анализ на състоянието на проблема показва, че при конструкциите на шумозаглушител камерен тип с гумен обтюратор, един от факторите оказващ негативно влияние върху групираността на стрелбата е спадът на постъпателната и ъгловата скорост на куршума, породен от възникващите, при контакта на куршума с обтюратора, сили на триене.

В достъпните литературни източници, не бяха открити данни за разработен аналитичен модел за определяне и подобряване на групираността на стрелбата чрез изследване изменението ѝ при наличие на сили на триене. Това, от своя страна, обоснова необходимостта от разработването на такъв модел.

Разработения в точка 2.1 модел за изследване изменението на постъпателната и ъгловата скорост при преминаване на куршума през гумения обтюратор, се основава на зависимостта за закъснително движение на твърдо тяло. С цел по-прецизно изчисляване на пълната сила на триене, основавайки се на извършения анализ на моделите, поради сложността на контактната схема и проявяващи се специфични трибологични характеристики, са доразвити съществуващите модели. Моделите за изчисляване на отделните сили на триене, проявяващи се в контактната схема на куршума с гумения обтюратор, се основават на изведените модели на Хертц и Петров, като същите са доразвити, използвайки зависимости от модела на Бартенева-Лаврентьева.

Предложения аналитичен модел дава възможност за изследване изменението на постъпателната и ъгловата скорост на куршума в зависимост от стойностите на възникващите сили на триене, в резултат от трибологичните характеристики на куршума и гумения обтюратор и контактната им схема.

Предложения модел в точка 2.2 за изследване зависимостта между изменението на постъпателната и въртелива скорости на куршума и координатите на точките на попаденията в мишената, предоставя възможност за определяне на отклонението на центровете на пробойните от точката проектирана от осканалната линия на оръжието и отчитането на координатите им в декартовата координатна система.

Разработения аналитичен модел в точка 2.4, за изследване на зависимостта между силите на триене и групираността при единична стрелба предоставя възможност за прогнозно определяне на стойностите на голямата и малката ос на елипсата на разсейване, като за стойности на диаметъра на групираността се приема по-голямата от двете.

Представените, от експерименталното изследване, резултати потвърждават работната хипотеза, че е възможно подобряване на групираността посредством предварително изработване на цилиндричен отвор в гумения обтюратор.

Посредством извършената обработка на резултатите и оценка адекватността на разработения в дисертационния труд аналитичен модел може да се заключи, че същият е подходящ за прогнозно определяне на силите на триене, породени от трибологичните характеристики, изменението на дулната постъпателна и ъглови скорости на куршума и влиянието им върху групираността при единична стрелба със стрелково оръжие в съответствие с направените допускания и ограничения.

Разработеният аналитичен модел предоставя възможността за изчисляване на силите на триене, влиянието им върху постъпателната и ъглови скорости на куршум и групираността при конструиране на камерен тип шумозаглушители с гумен обтюратор или модернизация на вече съществуващи такива.

Изследванията, извършени в дисертационния труд, могат да се използват, като основа за по-нататъшни анализи, свързани с влиянието на трибологичните характеристики на шумозаглушителя върху групираността и точността на стрелбата със стрелково оръжие.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Dimitrova Ya., Tsonev Ts., .Experimental ivestigation on the deviation of the midpoint of the hits of the shots and the grouping at shooting with small arms with fitted silencer., International scientific conference 2017 г., collection of papers, Shumen, Bulgaria, 2017.

2. Dimitrova Ya., Tribological processes evaluation due to bullet-rubber chopper wheel interaction phenomena., International scientific journal "Security and future", YEAR II, ISSUE 4/2018., – ISSN: (print) 2535-0668, ISSN: (online) 2535-082X.

3. Dimitrova Ya., Evaluation of hit's grouping deviation due to tribological processes in bullet-rubber chopper wheel interaction., International scientific journal "Security and future", YEAR II, ISSUE 4/2018., – ISSN: (print) 2535-0668, ISSN: (online) 2535-082X.

Авторефератът не съдържа класифицирана информация.