



М.М. Ермекбаев<sup>1</sup>, Б.С. Касимов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,  
Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи,  
Алматы, Казахстан

(E-mail: Muratbek\_72@mail.ru)\*

## К вопросу о влиянии температуры окружающей среды на процесс производства стрельбы

В данной статье выполнена оценка влияние температуры воздуха, на процессы протекающее при выстреле. Произведён анализ результатов практических стрельб из спаренной зенитной артиллерийской установки ЗУ-23. По разработанной методике с применением методов планирование эксперимента проведено исследование с учетом двух факторов. Для обработки данных эксперимента использованы методы статистического анализа с помощью приложения MSExcel. В результате обработки данных экспериментального исследования определена аппроксимирующая функция, описывающая зависимость начальной скорости снаряда от износа канала ствола и температуры порохового заряда.

Установлено, что аппроксимирующая функция статистически надежна, адекватна, и позволяет спрогнозировать изменение начальной скорости снаряда. Расчет степени влияния данных факторов на баллистические характеристики орудия произведен с помощью стандартизированных коэффициентов. Предложены пути повышения эффективности стрельбы артиллерийских орудий.

*Ключевые слова:* баллистика, пороховой заряд, планирования эксперимента, статистический анализ, температура, снаряд, уравнение регрессии.

### Введение

Из всего многообразия факторов окружающей среды таких как, радиационный фон и химический состав атмосферы, действия биологических микроорганизмов, осадки, влажности и загрязненности воздуха, влияющих на внутреннюю и внешнюю баллистику ствольных систем и пороховых ракет, наиболее существенное действие оказывает тепловое воздействие.

Воздействие тепла на пороховые заряды, то есть, отклонение температуры пороха от расчетного (табличного) значения, в артиллерийской практике учитывается во время баллистической подготовки к стрельбе. Для изучения перечисленных процессов и решения задач баллистики постоянно применяются наиболее современные и эффективные методы экспериментальных и теоретических исследований.

Во внутренней баллистике горение пороха представляет собой сложный физико-химический процесс разложения, в котором влияние различных малых добавок (воды, растворителя, стабилизатора, флегматизатора) играет



существенную роль в этом процессе и создает значительные трудности при построении теории горения. Более быстрое сгорание пороха вызывает повышение давления в канале ствола в момент выстрела, что приводит к увеличению начальной скорости снаряда [1]. Следовательно, экспериментальное изучение процесса горения в этом случае имеет существенное значение.

### *Методы исследования*

По опытным данным, скорость горения порохового заряда с повышением давления и начальной температуры обычно увеличивается. Это обусловлено тем, что повышение давления ускоряет реакции в газовой фазе, а повышение начальной температуры системы приводит к уменьшению затрат теплоты на ее разогрев в волне горения [2].

Для учета отклонение температуры порохового заряда снаряда от табличного значения, а также других баллистических параметров стрельбы, рассчитаны поправочные формулы и таблицы.

Разработка поправочных зависимостей внутренней баллистики артиллерийских орудий и минометов была произведена, по заданию Артиллерийского комитета Главного артиллерийского управления, сотрудниками кафедры баллистики военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А.Н. Крылова, в середине прошлого столетия [3].

Учитывая, что вооружение страны состоит из различных систем, которые по техническим характеристикам отличаются друг от друга, и разработанные поправочные формулы для отдельных образцов служат лишь для грубых, приблизительных расчетов. При этом для артиллерийских комплексов, в том числе зенитных пушек калибром менее 30 мм, поправочные формулы и таблицы вовсе не разрабатывались.

В связи с чем возникает необходимость проведения экспериментального исследования, по влиянию температуры порохового заряда на начальную скорость снаряда, с целью получения эмпирических зависимостей  $V_0(T_0)$ , для конкретных образцов ствольных систем.

Для подтверждения правильности теоретических положений о влиянии температуры порохового заряда на процесс стрельбы проведено экспериментальное исследование [4]. Разработана методика проведения эксперимента при воздействии двух факторов.

### *Основная часть*

Эксперимент проведен на общевойсковом полигоне «Сарыөзек» войсковой части 12740. В процессе эксперимента произведена серия выстрелов из спаренной зенитной артиллерийской установки ЗУ-23 по неподвижным картонным мишеням в виде вертикальных щитов с расстояний 200 м по 5 патронов с каждого ствола БЗТ снарядами.



В данном эксперименте функцией отклика (параметром оптимизации) выбран параметр  $S_{\text{расс}}$  (произведения  $V_B \cdot V_G$ ) область рассеивания снарядов.

Отклонение пробоинына более чем 45 см от средней точки попадания принимается как промах и не вводится для обработки результатов измерения, тем самым исключаются грубые погрешности.

Методикой нахождения срединных отклонений компенсируются систематические погрешности, так как согласно условию, считается, что ось рассеивания проходит по центру области рассеивания.

Таким образом, исключаются грубые и систематические погрешности, проявляющиеся в ошибках при измерениях и расчетах. Случайные погрешности в связи неконтролируемыми происхождением не могут быть исключены.

Для обработки данных эксперимента сформулирована рабочая гипотеза о том, что приближенная функция описывающая зависимость начальной скорости снаряда между износом канала ствола и температурой порохового заряда, линейно зависима.

При определении оценки дисперсии по текущим измерениям не отвергнута нулевая гипотеза ( $H_0$ ) равенства соответствующих дисперсий генеральных совокупностей. Дисперсия, которую мы определим по параллельным опытам, нужна для того, чтобы рассчитать значимость коэффициентов уравнений регрессии и проверить адекватность уравнений регрессии проводимого эксперимента.

Для статистической обработки экспериментальных данных применялся инструмент *Регрессия* MSeXcel, обработанные данные приведены в таблице 1.

Вывод итогов								
<i>Регрессионная статистика</i>								
Множественный R	0,999984718							
R-квадрат	0,999969437							
Нормированный R-квадрат	0,999908312							
Стандартная ошибка	0,340117733							
Наблюдения	4							
<i>Дисперсионный анализ</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	2	3784,88432	1892,44216	16359,27539	0,00552836			
Остаток	1	0,115680072	0,115680072					
Итого	3	3785						
<i>Коэффициенты</i>								
		<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Ниже 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
У-пересечение	993,1127105	0,436551235	2274,905284	0,000279844	987,5658011	998,65962	987,5658	998,6596
износ	-1,30620985	0,007283035	-179,3496607	0,003549564	-1,398749583	-1,21367	-1,39875	-1,21367
температура	0,169905106	0,007230005	23,5	0,027073869	0,078039189	0,261771	0,078039	0,261771

Таблица 1. Выходная информация инструмента «Регрессия пакета анализа».



Процедура определения адекватности и уровня достоверности полученного уравнения, описывающего экспериментальные данные осуществляется регрессионным анализом.

Для оценки пригодности уравнения регрессий существуют множество методов и способов, описанных в литературах, посвященные к планированию эксперимента [5].

В таблице 1, коэффициент множественной корреляции  $R=0,9999$  показывает высокую тесноту связи параметра оптимизации с включенными в модель объясняющими факторами.

Коэффициент детерминации  $R^2=0,9999$  показывает, что около 99 % всевозможных значений параметра оптимизаций учтены и взаимодействует с включенными факторами [6].

Стандартная ошибка 0,34 показывает ошибку прогнозирования.

Вспомогательный сдвиг  $b_0$  необходим для выравнивания и получения оптимальных прогнозов исследования. Влияния воздействующих факторов на начальную скорость снаряда ( $V_0$ ), таких как износ канала ствола ( $\xi$ ) и температура порохового заряда ( $T_0$ ) определяются коэффициентами регрессий  $b_1$  и  $b_2$ , соответственно. Они имеют физический смысл, тогда как все другие независимые переменные остаются неизменными.

В результате обработки данных эксперимента по статистическому методу получена аппроксимирующая функция (математическая модель) (1), описывающая зависимость начальной скорости снаряда от износа канала ствола и температуры порохового заряда.

$$V_0 = 993,11 - 1,31\xi + 0,17T_0 \pm 0,34. \quad (1)$$

Полученное уравнение регрессии показывает то, в каком вероятном направлении действуют факторы. Из уравнений видно, что коэффициент, определяющий степень износа имеет отрицательный знак, показывает обратную зависимость, то есть при возрастании степени износа начальная скорость снаряда убывает. Температура порохового заряда на начальную скорость снаряда воздействует положительно. Величины коэффициентов данных факторов формально показывают процент изменчивости начальной скорости снаряда.

Проверку значимости уравнения регрессии (1) осуществляют следующим образом:

- в первую очередь проверяется пригодность уравнений регрессий;
- при положительном результате уравнения, приступают к проверке коэффициентов факторов уравнения на значимость;
- в заключении производится сравнительная оценка воздействующих факторов и их степень влияния.

Из множества способов и методов проверки адекватности, в данной работе ограничимся одним из простых методов, так как все методы статистической оценки дают одинаковый результат.

Решение об адекватности уравнения регрессии принимается методом



сравнения уровня значимости  $\alpha$ . По таблице 1, где приведены выходные информации анализа, находят позицию «Значимость F». Как видно «Значимость F» меньше  $\alpha$  ( $0,006 < 0,05$ ). Полученный результат трактуется следующим образом: рассматриваемое уравнение (1) является статистически значимой (95-процентной вероятностью), то есть уравнения регрессии адекватно.

Следующий анализ заключается в определении существующей взаимосвязи факторов с откликом. Однако нам пока неясно, каково влияние конкретных воздействующих факторов на исследуемый отклик: действуют ли оба фактора или только один из них. Следовательно, необходимо определить значимость отдельных коэффициентов регрессии.

Статистическая значимость коэффициентов уравнения оценивается применением показателя  $P$ . Из таблицы 1, находят позицию « $P$  – Значение». Для оценки 95 процентной доверительной вероятности принимается сравнительное значение –  $\alpha = 0,05$ . Если рассчитанное программой  $P$  – Значение, с таблицы 1,  $P_{b_i} \leq 0,05$ , тогда коэффициент  $b_i$  статистически значим. Показатель  $P$  для коэффициентов  $b_0, b_1, b_2$  имеет следующие величины:  $P_{b_0} = 0,0003$ ;  $P_{b_1} = 0,0035$ ;  $P_{b_2} = 0,027$ . Следовательно, все рассмотренные коэффициенты статистически значимы и влияние факторов имеет неслучайный характер.

Приведенный анализ позволяет сделать вывод, что аппроксимирующая функция (математическая модель) описывающая зависимость начальной скорости снаряда от износа канала ствола и температуры порохового заряда линейно зависима. Оценка уравнений регрессии статистически надежна, то есть математическая модель (1) признается адекватным. Полученные коэффициенты уравнений статистически значимы и пригодны для использования дальнейших расчетов и прогнозов [7].

Далее рассчитывается степен влияния факторов на процессы стрельбы. Вначале необходимо привести коэффициенты регрессии воздействующих факторов к кодированным единицам, так как они выражены в разных единицах. Сравнение коэффициента степени износа с коэффициентом температуры пороха становится некорректным, поскольку, формально меньший по величине коэффициент в процессе стрельбы может оказать большее влияние, и тем более для оценки влияния необходимо провести данную операцию.

Статистические характеристики	Начальная скорость	Степень износа	Температура пороха
Стандартные отклонения	$S_y = 35,52$	$S_{x_1} = 26,96$	$S_{x_2} = 27,16$
Коэффициенты регрессии	-	$b_1 = 1,31$	$b_2 = 0,17$
Кодированные коэффициенты регрессии	-	0,9915	0,1299

Таблица 2. Кодированные коэффициенты регрессии





В статистическом анализе для данной операции применяется метод сравнения стандартизованных коэффициентов регрессии [8].

Стандартные отклонения параметров уравнений регрессии рассчитаны методом анализа данных – программой описательная статистика MSeXcel. Выбранные стандартные отклонения, которые потребуются в расчетах, приведены в таблице 2.

Анализ расчетов показывает, что стандартизованный коэффициент фактора износа канала ствола превышает в 7,6 раз фактор температуры порохового заряда. Вышеописанный метод позволяет наглядно оценить вклад каждого фактора на процессы стрельбы. Однако данные результаты не являются идеальными и в полной мере не смогут отражать реальные влияния факторов. Также необходимо отметить, что стандартизованные показатели не заменяют фактические показатели, а являются лишь дополнением к ним для более глубокого анализа.

### *Заключение*

В целом результаты экспериментального исследования и проведенный статистический анализ данных показывает, что температура пороха в определенной степени влияет на процесс производства стрельбы, в связи, с чем необходимо уделить внимания на данный фактор при внесении поправки на стрельбу. Полученная математическая модель, описывающая зависимость начальной скорости снаряда от износа канала ствола и температуры порохового заряда, позволит составить поправочную таблицу стрельб для спаренной зенитной артиллерийской установки ЗУ-23, так как является адекватным и пригоден для прогнозирования процесса стрельбы.

А также, следует добавить, что применение методов статистического анализа с инструментами приложений MSeXcel, значительно упрощает обработку данных практических стрельб.

### Список литературы:

1. Балаганский И.А. Основы баллистики и аэродинамики: учеб. пособие / И.А. Балаганский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 200 с.
2. Бахман Н.Н., Беляев А.Ф. Горение гетерогенных конденсированных систем. – М.: Наука, 1967. – 266 с.
3. Бердибеков А.Т., Еремекбаев М.М., Касимов Б.С. Планирование эксперимента для исследования начальной скорости снаряда орудий // Вестник НУО. – 2021. – №3 (89). – С. 44-48.
4. Касимов Б.С. Применение корреляционного анализа для обработки данных стрельбы // Вестник НУО. – 2020. – №4 (86). – С. 40-43.
5. Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel: учеб. пособие / В.Р. Бараз – Екатеринбург: УГТО-УПИ, 2005. – 102 с.
6. Сидняев Н.И., Вилисова Н.Т. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособие / Н.И. Сидняев, Н.Т. Вилисова. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2011. – 463 с.



7. Эконометрика / под ред. И.И. Елисеевой. – учеб. для вузов. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 344 с.

8. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Ю.А. Макаричев, Ю.Н. Иванников. – Самара: Самарский гос. тех. ун-т, 2016. – 131 с.

М.М. Ермекбаев, Б.С. Касимов

### **Қоршаған орта температурасының атыс үрдісіне әсері жайлы талдау**

Бұл мақалада ауа температурасының өзгеру кезінде ату процестеріне әсері бағаланды. ЗУ-23 қос зениттік артиллериялық қондырғысынан практикалық атыс нәтижелеріне талдау жүргізілді. Экспериментті жоспарлау әдістерін қолдану арқылы әзірленген әдістеме бойынша екі факторды ескере отырып зерттеу жүргізілді. Эксперименттік деректерді өңдеу үшін MS Excel бағдарламасының көмегімен статистикалық талдау әдістері қолданылды. Эксперименттік зерттеу мәліметтерін өңдеу нәтижесінде снарядтың бастапқы жылдамдығының канал үңгісінің тозуына және ұнтақ зарядының температурасына тәуелділігін сипаттайтын жуықтау функциясы анықталды..

Жақындау функциясы статистикалық сенімді, адекватты және снарядтың бастапқы жылдамдығының өзгеруін болжауға мүмкіндік беретіні анықталды. Бұл факторлардың зеңбіректің баллистикалық сипаттамаларына әсер ету дәрежесін есептеу стандартталған коэффициенттер арқылы жүргізіледі. Артиллериялық оқтарды ату тиімділігін арттыру жолдары ұсынылды.

*Кілт сөздер:* баллистика, ұнтақ заряды, тәжірибені жоспарлау, статистикалық талдау, температура, снаряд, регрессия теңдеуі.

M.M. Yermekbaev, B.S. Kassimov

### **To the question of the influence of ambient temperature for the shooting process**

In this article, an assessment is made of the influence of air temperature on the processes occurring during a shot. The analysis of the results of practical firing from the ZU-23 twin anti-aircraft artillery mount was carried out. According to the developed methodology using the methods of planning the experiment, a study was conducted taking into account two factors. Statistical analysis methods were used to process the experimental data using MS Excel. As a result of processing the data of the experimental study, an approximating function was determined that describes the dependence of the initial velocity of the projectile on the wear of the bore and the temperature of the powder charge.

It has been established that the approximating function is statistically reliable, adequate, and allows predicting the change in the initial velocity of the projectile. The calculation of the degree of influence of these factors on the ballistic characteristics of the gun is made using standardized coefficients. The ways of increasing the efficiency of firing artillery pieces are proposed.

*Key words:* ballistics, powder charge, experiment planning, statistical analysis, temperature, projectile, regression equation.

#### References:

1. Balagansky, I.A. (2017). *Osnovy ballistikı ı aerodinamıkı*. [Fundamentals of ballistics and aerodynamics]. – Novosibirsk: Publishing house of NSTU. – 200 p.



2. Bakhman, N.N., Belyaev, A.F. (1967). Gorenje heterogennyh condensirovannyh system. [Gorenje heterogeneous condensed systems]. – М.: Nauka. – 266 p.
3. Berdibekov, A.T., Ermekbaev, M.M., Kasimov, B.S. (2021). Planirovanie eksperimenta dlya issledovaniyanachal'noj skorosti snaryada orudij [Planning an experiment to study the muzzle velocity of a gun projectile]. – №3 (89). Vestnik NUO. – P. 44-48.
4. Kasimov, B.S. (2020). Primenenie korrelyacionnogo analiza dlya obrabotki dannyh strelby [Application of correlation analysis for shooting shooting data]. Vestnik NUO. – №4 (86). – P. 40-43.
5. Baraz, V.R. (2005). Korrelyacionno-regressionnyj analiz svyazi pokazatelej kommercheskoj deyatelnosti s ispol'zovaniem programmy Excel: ucheb. [Posobie Correlation-regression analysis of the relationship between business indicators using Excel]. – Ekaterinburg: UGTO-UII. – 102 p.
6. Sidnyaev, N.I., Vilisova, N.T. (2011). Vvedenie v teoriyu planirovaniya eksperimenta: ucheb. posobie [Introduction to the theory of experiment design]. – М.: Izd-vo MGTU im. Baumana. – 463 p.
7. Ekonometrika (2003). / pod. red. I.I. Eliseevoj. [Ekonometrika]. – М.: Finansy i statistika. – 344 p.
8. Makarichev, Yu.A., Ivannikov, Yu.N. (2016). Metody planirovanie eksperimenta i obrabotki dannyh: ucheb. posobie. – 131 p.

Ермекбаев Муратбек Мадалиевич	э.ғ.к, қауымдастырылған профессор Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан
Ермекбаев Муратбек Мадалиевич	к.в.н., ассоциированный профессор университета энергетика и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан
Yermekbaev Muratbek	candidate of sciences in military, associate professor at Almaty University of Energy and Communications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan

Касимов Бейбит Салимович	полковник, PhD, әскери радиотехника негіздері және электроника кафедрасының бастығы, радиоэлектроника және байланыс әскери инженерлік институты, Алматы, Қазақстан
Касимов Бейбит Салимович	полковник, PhD, начальник кафедры основ военной радиотехники и электронники Военно-инженерного института радиоэлектроники и связи, Алматы, Казахстан
Kasimov Beibit	colonel, PhD, Head of the Department of Fundamentals of Military Radio Engineering and Electronics of the Military Engineering Institute of Radio Electronics and Communications, Almaty, Kazakhstan