

УДК 623.454.3

doi: 10.53816/20753608\_2025\_2\_118

**ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОТИВОПЕХОТНОГО ГРАНАТОМЕТА  
С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

**EMPIRICAL ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS  
OF THE AUTOMATIC ANTI-PERSONNEL GRENADE LAUNCHER  
TAKING INTO ACCOUNT CLIMATIC CONDITIONS**

*По представлению чл.-корр. РАРАН А.М. Сазыкина*

*А.В. Китаев<sup>1</sup>, Д.И. Чистехин<sup>2</sup>, А.А. Громов<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулева (г. Пенза),*

*<sup>2</sup>Ржевский научно-исследовательский испытательный сертификационный центр*

*A.V. Kitaev, D.I. Chistekhin, A.A. Gromov*

Проведено экспериментальное исследование влияния параметров снежного покрова на эффективность автоматического противопехотного гранатомета. Разработана эмпирическая модель, прогнозирующая снижение скорости поражающих элементов в зависимости от глубины проникновения и плотности снега, которая позволяет использовать ее для тактических расчетов в арктических условиях.

**Ключевые слова:** противопехотный гранатомет, эмпирическая оценка, климатические условия, снежный покров, поражающие элементы, динамика торможения.

An experimental study of the effect of snow cover parameters on the effectiveness of an automatic anti-personnel grenade launcher was carried out. An empirical model has been developed that predicts a decrease in the velocity of striking elements depending on the depth of penetration and snow density, which allows it to be used for tactical calculations in Arctic conditions.

**Keywords:** anti-personnel grenade launcher, empirical assessment, climatic conditions, snow cover, striking elements, braking dynamics.

Современные боевые действия в условиях Арктики и других регионов с экстремальными климатическими условиями требуют учета влияния окружающей среды на эффективность применения оружия. Одним из ключевых факторов, определяющих поражающую способность автоматических противопехотных гранатометов, является взаимодействие осколков гранат со снежным покровом. Снег, обладающий изменчивыми физическими свойствами (плотность, темпера-

тура, структура), может существенно влиять на динамику торможения поражающих элементов (ПЭ), что, в свою очередь, определяет глубину их проникновения и зону поражения.

Несмотря на существующие исследования в области внешней баллистики и механики взаимодействия снарядов с различными средами, вопросы, связанные с поведением осколков гранат в снегу, изучены недостаточно. В частности, отсутствуют надежные эмпирические модели,

позволяющие прогнозировать снижение скорости ПЭ с учетом реальных параметров снежного покрова. Это создает трудности при тактическом планировании применения противопехотных гранатометов в зимних условиях.

Формальная постановка исследовательской задачи заключается в следующем: на основании известных габаритно-массовых характеристик ПЭ, параметров его геометрической формы и начальной скорости проникновения в снежный покров требуется разработать эмпирическую модель, позволяющую рассчитывать динамику снижения скорости ПЭ с учетом изменчивости параметров состояния снега, обусловленных метеорологическими факторами.

Особенностью разрабатываемой модели является ее ориентация на применение в тактических расчетах, что предопределяет следующие требования:

- учет возможности оперативного определения параметров снежного покрова в полевых условиях;

- допустимость приближенных расчетных оценок;

- ориентация на получение практически значимых результатов по определению глубины полного торможения ПЭ и расчета снижения скорости на заданной глубине проникновения.

С точки зрения классификации научных направлений, данное исследование относится к области изучения физических свойств природных сред, а именно — исследованию механических характеристик снежного покрова. Конкретным предметом изучения выступает динамическое сопротивление снежной массы проникновению высокоскоростных (сотни м/с) твердых тел с характерными размерами в миллиметровом диапазоне.

Для корректной постановки задачи необходимо учитывать:

- физико-механические свойства снега: неоднородность плотности по объему, возможное наличие ледяных включений, присутствие посторонних частиц;

- конструктивные особенности ПЭ: массу, геометрические параметры, характеристики формы.

Следует отметить, что естественный снежный покров обладает выраженной структурной неоднородностью, обусловленной: условиями

формирования (температурный режим, ветровая нагрузка), наличием ледяных кристаллов и их агрегатов, включением аэрозольных частиц и твердых примесей [9].

При этом вероятность образования ледяных включений существенно возрастает при понижении температуры снежной массы. В идеальных условиях экспериментального исследования требовалось бы использовать предварительно очищенный (просеянный) снег с контролируемой однородностью плотности по глубине. Однако в рамках настоящего исследования приняты следующие допущения: использован естественный снег без дополнительной очистки; не учитывается возможная слоистость снежного покрова.

Данные допущения обоснованы: ограниченностью материально-технических ресурсов; отсутствием необходимости в высокой точности расчетов; невозможностью оперативного учета слоистости в полевых условиях. Возникающий при этом разброс экспериментальных данных компенсируется применением методов статистической обработки и монотонной аппроксимации результатов. Принимается допущение, что из всего перечня параметров состояния снега значение для исследуемого процесса имеют только его физические характеристики. Снег является однородной дисперсной массой.

Опираясь на доступность быстрого измерения в полевых условиях, в число исходных параметров состояния снега необходимо включить:  $\rho$  — массовую плотность снега;  $T$  — температуру снега [5].

Влияние температуры снега  $T$ , по возможности, должно быть исключено, поскольку определение ее значения в полевых условиях затруднено. Высокоскоростными телами с миллиметровыми габаритами выступают ПЭ — осколки гранат и пули стрелкового оружия.

Исследованиями установлено, что на падение их скорости в различных средах влияют:  $m_q$  — масса ПЭ;  $S_m$  — площадь мишени, входящая в расчет силы сопротивления движению ПЭ, а также в ряде случаев — форма и длина ПЭ в виде эмпирического коэффициента формы. Определяющее значение имеет скорость входа ПЭ в снежную среду —  $V_0$ . Закон сопротивления прониканию в снежную среду наиболее близок к закону сопротивления прониканию в воду.

На основе анализа исследований движения пуль в воде [3] перечень характеристик ПЭ, влияющих на падение скорости, можно ограничить значениями  $m_q$  и  $S_m$ . Поскольку явление кавитации в дисперсной снежной среде маловероятно, исходя из анализа физической сущности этого явления, продольным размером ПЭ (длиной) и эмпирическим описанием его формы можно пренебречь [3].

Таким образом, учет зависимости силы сопротивления внедрению в снег от формы и длины объекта утрачивает свое значение.

С учетом проведенного анализа свойств снега и физических конструктивных характеристик ПЭ, влияющих на сопротивление их движению в снегу, задача эксперимента уточняется в следующей формулировке. Располагая значениями массы ПЭ  $m_q$ , его площади миделя  $S_m$  и начальной скорости входа в снег  $V_0$ , построить эмпирическую зависимость (математическую модель) для расчета падения скорости ПЭ с учетом массовой плотности  $\rho$  и температуры  $T$  снега.

Согласно постановке задачи экспериментальная установка должна включать в себя устройство для разгона ПЭ до сверхзвуковых скоростей (метательное устройство), имитирующее условия встречи пули или осколка со снежной преградой в реальных боевых условиях, когда скорость полета ПЭ перед встречей близка к максимуму разгона.

Эта скорость для пуль стрелкового оружия составляет от 500 до 1000 м/с, для осколков — до 1400 м/с. Для варьирования типоразмерами ПЭ, определяемыми значениями  $m_q$  и  $S_m$ , метательное устройство должно иметь возможность изменения габарита (калибра) и скорости метаемого элемента.

Применение в качестве метательного устройства образцов стрелкового оружия со штатными патронами нецелесообразно, поскольку варьирование калибром будет жестко связано со скоростью метания. Изменение скорости метания при одинаковом калибре и массе потребует значительного удаления метательного устройства от преграды или использования различных образцов оружия, перечень которых ограничен. Разделение эффектов влияния типоразмера и скорости встречи ПЭ с преградой в лабораторных условиях будет затруднено и, что немаловажно, финансово дорого в реализации эксперимента.

Наиболее оптимальным решением для проведения экспериментальных исследований явилось применение специализированной лабораторной баллистической установки гладкоствольного типа. Данная установка обеспечивает метание стандартизированных стальных сферических поражающих элементов с регулируемыми массогабаритными характеристиками в диапазоне диаметров 5,56–6,35 мм и масс 0,71–1,05 г. Применение сертифицированных промышленных патронов FixPistols F-D 6,8/18 Д5 гарантирует стабильное воспроизведение начальных скоростей в интервале 650–800 м/с с вариацией не более  $\pm 2,5\%$  и повторяемостью выстрелов  $\pm 1,2\%$  по скоростным характеристикам, что соответствует требованиям ГОСТ Р 50508–93 «Приборы наблюдательные телескопические. Методы контроля параметров» к баллистическому оборудованию [8].

Конструкция экспериментальной снежной преграды была разработана с учетом необходимости обеспечения стабильности физико-механических характеристик снежного покрова в процессе испытаний. Специальное удерживающее устройство позволяет формировать снежные брикеты с контролируемыми параметрами плотности (50–500 кг/м<sup>3</sup>) и температуры (–30...+0 °С), сохраняющими стабильность в течение всего периода проведения эксперимента. Конструктивные особенности установки обеспечивают возможность оперативного изменения толщины преграды в диапазоне 0,3–0,6 м с точностью позиционирования  $\pm 0,01$  м, а также безопасную транспортировку и точное совмещение с линией выстрела.

Классификация снежных преград для испытаний (табл. 1) учитывает основные эксплуатационно-значимые параметры: плотность снежного покрова, его температурные характеристики и состояние [7]. Особое внимание уделено обеспечению механической стабильности снежного брикета при воздействии ударных нагрузок, что достигается за счет применения специальных армирующих элементов и термостабилизирующих покрытий. Конструкция преграды исключает возможность самопроизвольного разрушения или изменения геометрических параметров в процессе проведения серии экспериментов, что подтверждено контрольными испытаниями по методике НИИ прикладной механики № 1456-2018 [10].

**Классификация снежного покрова**

Наименование	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Температура, °С
Свежевыпавший сухой	50–150	от –2 до –10
Свежевыпавший мокрый	150–250	от –2 до –10
Лежалый сухой нормальный	250–500	от –2 до –10
Лежалый сухой мороженный	250–500	–30

Наиболее подходящим для выполнения этих требований является брикет снега, размещенный в трубе, торцы которой могут быть закрыты полиэтиленовой пленкой для исключения выпадения снега. Диаметр трубы должен быть таким, чтобы на всем участке прохождения имитатора ПЭ он не касался стенки трубы, и вместе с тем не создавал трудностей при формировании брикета и не прогибался под весом снега. Достаточным для этого является внутренний диаметр трубы не менее 100 мм.

Во избежание изменения состояния снега при подготовке эксперимента материал трубы должен обеспечивать низкую теплопроводность и достаточную устойчивость к нагрузкам на изгиб трубы. Наиболее подходящей для этих целей является пластиковая промышленная труба диаметром 110 мм. Варьирование толщиной брикета снега при использовании такой трубы может осуществляться разрезанием и сокращением ее исходной длины при подготовке опыта. Обязательное испытательное оборудование должно включать:

- весы для определения плотности снега через его массу и объем, определяемый длиной и внутренним диаметром трубы, а также для контроля массы имитатора ПЭ в опыте;
- аппарат охлаждения снега для варьирования его температурой;
- прибор для контроля температуры снега перед опытом;
- электронную систему для регистрации скорости имитатора ПЭ на входе и выходе из трубы,
- электронную систему для визуального подтверждения фактов входа имитатора ПЭ в трубу и выхода из нее;
- инструмент для контроля габарита имитатора ПЭ перед опытом.

На рис. 1 представлен внешний вид экспериментальной установки.

На рис. 2 показан кадр, снятый на высокоскоростную камеру Phantom MIRO 311, отражающий момент вылета имитатора ПЭ из снежного брикета.

Экспериментальная часть исследования базируется на применении современных методик

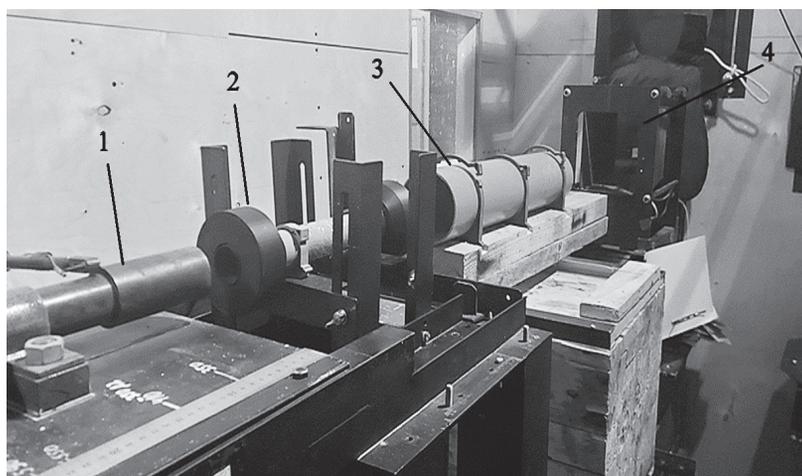


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 — баллистический ствол; 2 — регистратор баллистический РБ-1000; 3 — труба для удержания снега; 4 — регистратор скорости пули РС-4М



Рис. 2. Регистрация момента вылета имитатора ПЭ

баллистических испытаний, обеспечивающих высокую точность и воспроизводимость результатов. Основное внимание уделено выбору оптимального способа моделирования процесса взаимодействия поражающих элементов со снежной преградой. Анализ современных работ в области внешней баллистики [2, 6] показал преимущества безразмерного подхода, основанного на теории подобия и размерностей, что подтверждается его успешным применением при моделировании аналогичных процессов.

Ключевым преимуществом безразмерного моделирования является существенное сокращение количества варьируемых параметров при сохранении полноты описания физического процесса. Это позволяет не только упростить математическую модель, но и расширить область ее применения за счет возможности переноса результатов на более широкий диапазон исходных условий. В ходе исследования было установлено, что данный подход особенно эффективен при изучении высокоскоростного взаимодействия тел с дисперсными средами.

В качестве базового безразмерного параметра принято относительное падение скорости поражающего элемента, определяемое как отношение текущей скорости к начальной. Такой выбор обусловлен физической природой изучаемого процесса и позволяет наиболее адекватно описать кинетику торможения в снежном покрове. Важно отметить, что предложенный подход обеспечивает требуемую точность расчетов при сохранении простоты практического применения, что особенно важно для тактических расчетов в полевых условиях.

Разработанная методика экспериментального исследования включает комплексный учет всех значимых факторов, влияющих на про-

цесс торможения, при этом обеспечивается оптимальное соотношение между точностью результатов и трудоемкостью проведения опытов. Особое внимание уделено верификации математической модели, для чего предусмотрена серия контрольных экспериментов с варьированием ключевых параметров в широких пределах. Полученные данные свидетельствуют о высокой адекватности предложенного подхода и его применимости для решения практических задач.

В качестве безразмерного отклика единственно возможным вариантом является относительное падение скорости ПЭ

$$\bar{\Delta}_v = \frac{V_0 - V}{V_0}.$$

Опираясь на структуру и состав дифференциальных уравнений, описывающих торможение в воде, исключая влияние кавитации, можно выделить возможные варианты представления безразмерных факторов процесса. С применением рекомендаций теории подобия был выделен единственный безразмерный фактор процесса, адекватно представляющий все исходные данные для моделирования процесса — безразмерная глубина внедрения

$$\bar{X} = \frac{X \rho S_m}{m_q}. \quad (1)$$

здесь  $X$  — размерная глубина внедрения [1].

Корректность выбора вида основного безразмерного фактора  $\bar{X}$ , выражение (1), подтверждается незначительным (до 10 %) отклонением всех экспериментально полученных значений безразмерного отклика  $\bar{\Delta}_v$  от единой аппроксимирующей закономерности, приводимой ниже. План эксперимента построен в виде полного перебора сочетаний 3 типоразмеров имита-

тора ПЭ, 3 толщин (длин трубы) снежного брикета с многоуровневым варьированием сочетанием фактических плотностей и температур снега со значениями регистрируемой скорости на входе в брикет. Выдержка из плана с результатами приводится в табл. 2.

На первом этапе обработки экспериментальных данных был проведен детальный анализ влияния температурного фактора снежного покрова на процесс торможения поражающих элементов. На рис. 3 представлены графики падения скорости ПЭ по всему интервалу варьирования условиями эксперимента, отсортированными по температуре снега. Анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) со снижением температуры снега увеличивается разброс результатов измерений, вероятно – из-за появления в снегу льдинок, нарушающих однородность снега;

2) заметного сдвига эмпирической кривой с изменением температуры не происходит, следовательно, температура снега самостоятельно на падение скорости не влияет, влияние реализуется через плотность снега;

3) температура снега может не рассматриваться как самостоятельный фактор.

Визуализация данных выполнена с применением методов статистического сглаживания для минимизации влияния случайных погрешностей измерений [4].

Варьирование характеристиками ПЭ и состоянием снега, обеспечивающее получение достоверной математической модели (эмпирической аппроксимации) зависимости  $\Delta_V(\bar{X})$ , проводилось на трех типоразмерах ПЭ, количественно представленных отношением  $\frac{S_m}{m_q}$ , а также многочисленными сочетаниями значений произведения  $X\rho$ , входящих в состав безразмерного фактора (1).

Интервалы варьирования составили: для безразмерного фактора  $\bar{X}$  (0,8; 7,4) и для безразмерного отклика  $\Delta_V$  (0,35; 1,0).

Эти интервалы указывают на практически полный охват прогнозируемого пространства безразмерных откликов (0; 1). Результирующее количество опытов для построения однофакторной модели  $\Delta_V(\bar{X})$  составило 105, чего вполне достаточно для оценки достоверности модели. Однако при анализе результатов эксперимента было выделено 15 выбросов с отклонением результата аппроксимации более 10 %.

Таблица 2

Выдержка из плана эксперимента с результатами измерений

Имитатор ПЭ			Характеристики трубы				Снег				Скорость, м/с	
типоразмер	$d$ , мм	$m_q$ , г	внутр. радиус, м	длина, м	объем, м <sup>3</sup>	масса пустой трубы, кг	масса трубы со снегом, кг	масса снега, кг	плотность снега, кг/м <sup>3</sup>	температура снега, град С	на входе	на выходе
1	6,35	1,05	0,052	0,45	0,00382	0,420	0,985	0,57	147,8	-4	764	331
			0,052	0,45	0,00382	0,430	1,000	0,57	149,1	-4	778	373
			0,052	0,60	0,00510	0,515	1,860	1,35	263,9	-30	742	100
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	6,00	0,89	0,052	0,30	0,00255	0,280	0,520	0,24	94,2	-4	811	505
			0,052	0,30	0,00255	0,255	0,475	0,22	86,3	-4	820	525
			0,052	0,30	0,00255	0,285	0,520	0,24	92,2	-4	832	518
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	5,56	0,71	0,052	0,30	0,00255	0,280	0,595	0,32	123,6	-2	818	470
			0,052	0,30	0,00255	0,255	0,615	0,36	141,3	-2	876	494
			0,052	0,30	0,00255	0,285	0,615	0,33	129,5	-2	863	511
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

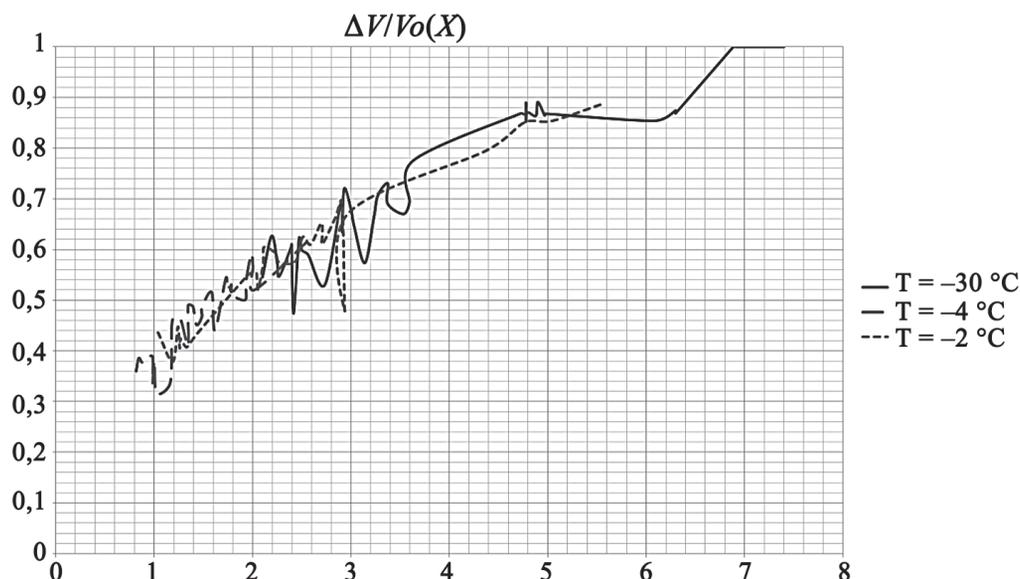


Рис. 3. Анализ вклада температуры снега в характер изменения относительной потери скорости ПЭ

После исключения выбросов была получена аппроксимация искомой зависимости по 90 опытам в виде:

$$\overline{\Delta_V} = 1 - e^{-y},$$

где

$$y = \bar{X} e^{0,05(\bar{X}-8)(\bar{X}+1)}.$$

Качество полученной аппроксимации иллюстрируется на рис. 4.

При  $\bar{X} > 8$  полное торможение ПЭ в снегу практически гарантировано, что позволяет определить размерную глубину внедрения только с использованием формулы (1). Модель охватывает все возможные сочетания размерных факторов в формуле (1). Это означает обеспечение воспроизводимости модели для осколков гранат,

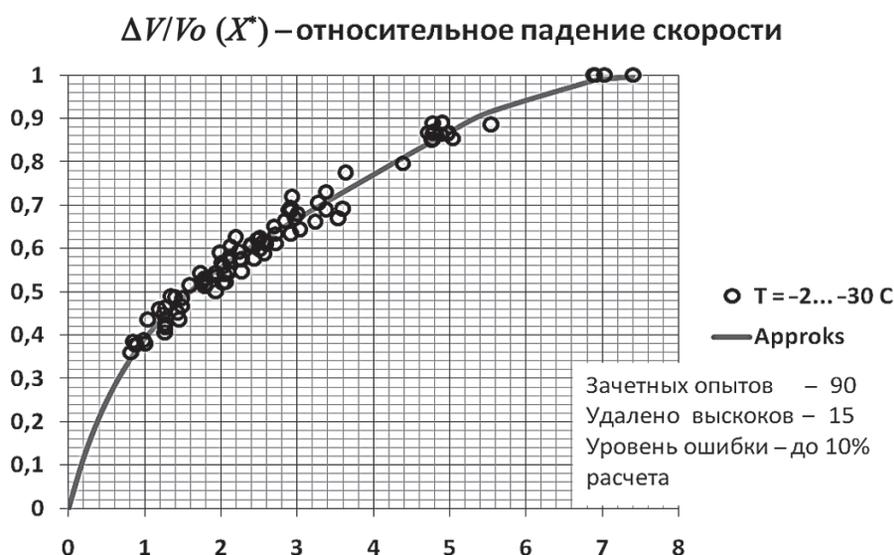


Рис. 4. Эмпирическая аппроксимация закона падения скорости ПЭ, внедряющегося в снег, при различном состоянии снега

имеющих меньший размер и одновременно меньшую массу, а также и для пуль крупного калибра с большей массой. Адекватность результатов эксперимента очевидна без определения значений критерия Фишера. Она подтверждается большим количеством опытов и малым уровнем ошибки расчета — до 10 %, находящейся на уровне ошибки измерений, связанной с неоднородностью структуры снега.

Таким образом, задача построения эмпирической зависимости (математической модели) для расчета падения скорости ПЭ с учетом состояния снега решена. Благодаря высокой адекватности результатов расчета, предложенный метод решения задачи может быть рекомендован к внедрению.

### Выводы

1. Уточненная постановка задачи экспериментального исследования, располагая значениями массы ПЭ  $m_q$ , его площади миделя  $S_m$  и начальной скорости  $V_0$  входа в снег, позволяет построить эмпирическую зависимость (математическую модель) для расчета падения скорости ПЭ с учетом состояния снега.

2. Объект испытаний (снег) в экспериментах представлен брикетом, находящимся в трубе, с изменяемыми параметрами состояния наполнителя, извлеченного из реальных природных насыпей, уплотняемых, увлажняемых и охлаждаемых по необходимости.

3. Анализ результатов эксперимента позволил исключить влияние температуры снега, как отдельного фактора, и ограничиться только учетом плотности снега.

4. Выбор безразмерного подхода к моделированию процесса внедрения ПЭ в снег создал предпосылки к получению однофакторной эмпирической математической модели.

5. План эксперимента построен с полным перебором на 3 уровнях сочетаний типоразмеров ПЭ и толщины брикета, с избыточным варьированием плотностью снега и скоростью входа в него ПЭ.

6. Полученная эмпирическая математическая модель имеет высокую адекватность и может быть использована для практического применения даже при увеличении размаха варьирования типоразмерами ПЭ.

### Список источников

1. Бойко В.П., Рыбачков А.В. Единая методология моделирования снопа траекторий пуль и гранат при стрельбе очередями // Научные труды 3 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации. Книга 58. М.: 3 ЦНИИ МО РФ, 2020. С. 32–41.

2. Коновалов А.А., Николаев Ю.В. Внешняя баллистика. М.: ЦНИИ информации, 1979. 228 с.

3. Галаш Ю.Ф. Динамика проникания тел в сыпучие и дисперсные среды. М.: Физматлит, 2008. 256 с.

4. Громов А.А., Потоцкий С.В., Павлюченко А.Н. и др. Экспериментальные и численные исследования по оценке пробития баллистических защитных пластин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 4. С. 159–163.

5. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 1: Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1982. 432 с.

6. Петров А.Н. Баллистика стрелкового оружия. СПб.: Политехника, 2015. 304 с.

7. Иванов С.П., Белов К.М. Физико-механические свойства снега и льда в арктических условиях. М.: МГУ, 2019. 178 с.

8. ГОСТ Р 50508-93. Средства баллистические. Методы испытаний на устойчивость к климатическим воздействиям. М.: Стандартинформ, 1993.

9. Смирнов В.А. Влияние экстремально низких температур на эксплуатационные характеристики вооружения // Военная мысль. 2021. № 5. С. 45–52.

10. Отчет НИИ прикладной механики № 1456-2018. Методика испытаний средств поражения в условиях снежного покрова. М.: НИИ ПМ, 2018. 67 с.