

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm7512>

Морфологическое исследование газобетонных блоков при ударном воздействии 9-миллиметрового снаряда под разными углами

М. Сингх¹, Р. Рохатги¹, С. Кумар², С. Гупта³¹ Национальный институт криминологии и судебной экспертизы, Нью-Дели, Индия;² Национальный университет судебных наук — Исследовательский центр баллистики и испытательный полигон, Гандинагар, Индия;³ Отделение судебной медицины и токсикологии Всеиндийского института медицинских наук, Раджкот (Гуджарат), Индия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Бетонные конструкции, используемые в защитных сооружениях, таких как склады боеприпасов и bunkеры, подвержены ракетным ударам, что требует проведения комплексной баллистической оценки, включающей механизмы проникания и перфорации. Большинство эмпирических и аналитических моделей проникания снарядов в бетон направлены, прежде всего, на определение глубины проникания, скалывания и толщины перфорации. В бетонных конструкциях, подвергшихся огневому воздействию, наблюдаются различные типы разрушений, которые могут с идентификацией использованного огнестрельного оружия и возможных огневых позиций.

Цель исследования — изучить особенности огневого воздействия на газобетонные блоки 9-миллиметрового снаряда в цельнометаллической оболочке, выпущенного с дистанции 5 м под разными углами. Задача состоит в том, чтобы сформировать гипотезы и выводы, основанные исключительно на наблюдаемых повреждениях, возникающих в результате попадания пули. Тщательный анализ полученных повреждений может дать много полезной информации.

Материалы и методы. В исследовании использованы 12 газобетонных блоков, в каждый из которых были выпущены пули калибра 9×19 мм под четырьмя различными углами (0°, 15°, 30°, 45°). Зависимость между углом встречи пули с преградой и размером входного отверстия определяли методом подгонки эллипса.

Результаты. Изучение картины разрушений показало, что при угле встречи 0° имелись значительные повреждения как на входном, так и выходном отверстиях. С увеличением угла встречи диаметр выходного отверстия постепенно уменьшался, и в итоге при угле 45° перфорация полностью отсутствовала. Эта тенденция коррелирует с характером разрушений вблизи входного и выходного отверстий, а также с рассеиванием энергии в точке удара, соответствующей углу встречи.

Заключение. Отмечена тенденция между потерей энергии снаряда при ударе и последующим повреждением поверхности газобетонных блоков. Анализ частиц газобетонного блока, оставшихся на пулях, а также деталей нарезки поможет в определении характеристик огнестрельных отверстий и огнестрельного оружия, обнаруженного на месте преступления.

Ключевые слова: криминалистическая баллистика; 9-миллиметровый снаряд; газобетонные блоки; траектория, перфорация.

Как цитировать:

М. Сингх, Р. Рохатги, С. Кумар, С. Гупта. Морфологическое исследование газобетонных блоков при ударном воздействии 9-миллиметрового снаряда под разными углами // *Судебная медицина*. 2023. Т. 9, № 3. С. 255–267. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm7512>

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm7512>

Morphological study of fly-ash block under angular impact of 9 mm projectile

Malika Singh¹, Richa Rohatgi¹, Saurabh Kumar², Sanjay Gupta³

¹ LNJN NICFS National Forensic Sciences University, New Delhi, India;

² National Forensic Sciences University – Ballistics Research Centre & Testing Range, Gandhinagar, India;

³ Department of Forensic Medicine & Toxicology, All India Institute of Medical Sciences, Rajkot (Gujarat), India

ABSTRACT

BACKGROUND: Concrete structures utilized in protective buildings such as ammunition depots and bunkers are susceptible to missile impacts, necessitating a comprehensive ballistic assessment involving penetration and perforation mechanics. Most of the empirical and analytical models for projectile penetration in concrete primarily focus on determining the penetration depth, scabbing, and perforation thicknesses. Concrete structures subjected to firearm attacks exhibit distinct fracture modes that can aid in identifying the firearm used and potential firing locations.

AIM: This study aims to comprehend the effects of the angular firing of a 9 mm full metal jacketed projectile on aerated concrete blocks, fired from a 5 m range. The goal is to generate hypotheses and conclusions based solely on the observable damage resulting from bullet impacts. A meticulous analysis of the incurred damages can unveil a range of possibilities.

MATERIALS AND METHODS: The sample comprised 12 aerated concrete blocks, each subject to 9×19 mm bullets fired from four different angles: 0°, 15°, 30°, and 45°. The relationship between impact angle and entry hole dimensions was established using the best-fit ellipse method.

RESULTS: Examination of the fracture pattern revealed significant damage at both entry and exit holes for a 0° impact angle. As the impact angle increased, the exit hole diameter progressively decreased, culminating in no perforation at a 45° angle. This trend correlated with fracture patterns near entry and exit holes, along with energy dissipation at the impact site corresponding to the impact angle.

CONCLUSION: A trend was observed between projectile energy loss upon impact and resultant damage to aerated concrete block surfaces. Analysis of aerated concrete block components deposited on the bullets, including rifling details, can help link them to the gunshot openings and firearms recovered at crime scenes.

Keywords: forensic ballistics; 9 mm projectile; fly ash; trajectory; perforation.

To cite this article:

Singh Malika, Rohatgi Richa, Kumar Saurabh, Gupta Sanjay. Morphological study of fly-ash block under angular impact of 9 mm projectile. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2023;9(3):255–267. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm7512>

Received: 26.04.2023

Accepted: 02.08.2023

Published: 28.09.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm7512>

9mm弹丸角度冲击下的飞灰块形态研究

Malika Singh¹, Richa Rohatgi¹, Saurabh Kumar², Sanjay Gupta³

¹ LNJN NICFS National Forensic Sciences University, New Delhi, India;

² National Forensic Sciences University – Ballistics Research Centre & Testing Range, Gandhinagar, India;

³ Department of Forensic Medicine & Toxicology, All India Institute of Medical Sciences, Rajkot (Gujarat), India

简评

论证。弹药库和地堡等防护建筑中使用的混凝土结构很容易受到导弹的冲击，因此有必要进行涉及穿透和射孔力学的综合弹道评估。弹丸穿透混凝土的大多数经验和分析模型主要侧重于确定穿透深度、碎甲和射孔厚度。受到火器攻击的混凝土结构会表现出不同的断裂模式，这有助于确定所使用的火器和潜在的发射位置。

目的。本研究旨在了解从5m射程内发射的9mm全金属护套弹丸角度冲击对AAC块的影响。目的是仅根据子弹撞击造成的可观察到的损坏来提出假设和结论。对造成的损坏进行细致分析可以发掘一系列机会。

材料和方法。样品由12块AAC块组成，每块都受到从0°、15°、30°和45°四个不同角度发射的9×19mm子弹的打击。采用最佳拟合椭圆法确定了撞击角度与弹孔尺寸之间的关系。

结果。对断裂模式的检查发现了，在0°的冲击角下，入口和出口孔都有明显的损坏。随着冲击角度的增大，出口孔直径逐渐减小，最终在45°角下没有射孔。这一趋势与入口和出口孔附近的断裂模式相关以及与冲击角度相对应的冲击部位的能量耗散相关。

结论。观察到弹丸冲击时能量损失与AAC块表面受损之间的趋势。对沉积在子弹上的AAC块状部件（包括膛线细节）进行分析，有助于将它们与犯罪现场发现的枪眼和枪支联系起来。

关键词：法医弹道学鉴定；9mm的弹丸；飞灰；弹道；射孔。

引用本文：

Singh Malika, Rohatgi Richa, Kumar Saurabh, Gupta Sanjay. 9mm弹丸角度冲击下的飞灰块形态研究. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2023;9(3):255–267. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm7512>

收到: 26.04.2023

接受: 02.08.2023

发布日期: 28.09.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Криминалисты используют различные методы для установления криминалистической значимости выпущенных снарядов, которые помогают проводить эффективные расследования для обеспечения судопроизводства.

Результат попадания снаряда в цель зависит от встреченных преград. Эффекты одного или нескольких взаимодействий между снарядом, движущимся с потенциально смертельной скоростью для уязвимых компонентов преграды, и самой преградой, препятствующей его прониканию, изучаются терминальной баллистикой. Основной задачей преграды является замедление снаряда, достигаемое за счёт фрагментации или деформации. Скорость снаряда частично зависит от таких факторов, как тип метательного вещества, его воспламенение и последующее расширение газа под высоким давлением, в результате которого снаряд вылетает из ствола оружия с большой начальной скоростью [1, 2].

При изучении параметров преград, имеющих решающее значение в определении конечных взаимодействий снаряда и преграды, необходимо понимание механического поведения твёрдых тел [3]. Бетон, обладающий различными характеристиками в условиях растяжения и сжатия, представляет собой более сложную задачу при баллистической оценке по сравнению с металлами. Эти характеристики помогают идентифицировать использованное огнестрельное оружие и возможные огневые позиции стрелявшего. Существенные различия в физических свойствах металлов, бетона и каменной кладки определяют силу сопротивления прониканию снаряда и механизмы разрушения, приводящие к перфорации. В бетонных конструкциях при огневом воздействии могут возникать различные типы разрушений, включая полное разрушение, проникание, перфорацию (полное пробивание), выкрашивание, скалывание, растрескивание, локальное разламывание и/или глобальное разрушение (рис. 1) [4]. Среди них наиболее сильное разрушение вызывает перфорация, в то время как выкрашивание и скалывание, сопровождающиеся образованием кратеров в местах входа и выхода снаряда, являются наиболее распространённым типом разрушений [2].

Траектория полёта пули имеет решающее значение для воспроизведения обстановки и обстоятельств преступления, существенно влияя на характеристики пули. Вылетая из ствола, пуля движется по параболической траектории, закручиваясь вниз. Независимо от начальной скорости, пуля претерпевает падение примерно на 1,15 метра за полсекунды полёта. При стрельбе в упор траектория полёта почти плоская. Угол возвышения, начальная скорость и форма пули в совокупности определяют максимальную достижимую дальность полёта. Воспроизведение обстоятельств на месте преступления

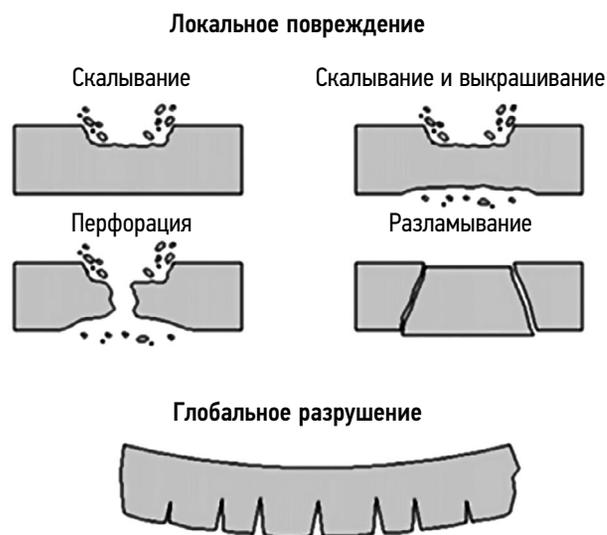


Рис. 1. Локальные повреждения и глобальное разрушение [4].

Fig. 1. Local damage and global destruction [4].

по траектории полёта пули предполагает анализ её первичных дефектов, формы, размеров и пространственной связи между первичными, вторичными и третичными дефектами [1, 5].

Цель исследования. Для воспроизведения обстановки и обстоятельств преступления с применением огнестрельного оружия необходимо изучить характеристики выстрела. Цель данного исследования — определить траекторию полёта пули для установления направления стрельбы, позиции стрелявшего, высоты линии огня и угла обстрела. В ходе тщательного анализа повреждений, полученных в результате воздействия 9-миллиметрового снаряда с цельнометаллической оболочкой на газобетонные блоки при стрельбе под различными углами, были получены различные варианты траекторий. В данном исследовании рассматриваются различные диапазоны стрельбы под углами 0°, 15°, 30°, 45°. Задачи исследования — определить позиции стрелков, установить связи между потерей энергии и повреждением газобетонных блоков, наносимым 9-миллиметровым снарядом при различных углах стрельбы, и установить зависимость между траекторией пули и углом стрельбы с учётом конструктивных размеров точек входа и выхода снаряда.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Подготовка образцов и выбор снарядов

В исследовании использовались газобетонные блоки, изготовленные в соответствии с рекомендациями Бюро индийских стандартов «Стандарты БИС для бетонных строительных блоков. Часть 3. Блоки из ячеистого бетона автоклавного твердения (газобетонные блоки)» (IS 2185 Part-3:1984). Газобетонные блоки изготавливаются путём образования гидрата силиката кальция,

Таблица 1. Физические характеристики газобетонного блока [6]**Table 1.** Physical characteristics of the aerated concrete block [6]

Тестируемые параметры (физические испытания)	Требования в соответствии со стандартом IS 2185 (Pt-3):1984	Измеренная величина	Метод испытаний
Длина, мм	600±5	600	IS 2185 (Pt-3):1984
Высота, мм	200±5	200	
Ширина, мм	230±5	225	
Плотность в сухом состоянии, кг/м ³	551–650	577	IS 6441 (Pt-1):1972
Прочность на сжатие (среднее значение из 12 единиц), Н/мм ²	(Класс 1) 4,0 мин (Класс 2) 3,0 мин	4,4	IS 6441 (Pt-5):1972

получаемого в результате реакции песка с гидроксидом кальция под воздействием пара и последующего твердения под давлением в автоклаве в течение 14–18 часов. Такие блоки, обычно используемые при возведении стен домов и мостов, подходили для решения поставленных в исследовании задач. Физические характеристики газобетонных блоков приведены в табл. 1 [6, 7].

Отстрел боеприпасов производился из испытательного ствола калибра 9×19 мм. К верхней части универсального ствола был прикреплен лазер для точного определения места попадания в цель. Использовались стандартные безоболочечные шаровые патроны калибра 9×19 мм (производства 2015 года, Индия). Пули имели цельнометаллическую оболочку с закругленным носиком и свинцово-сурьмяный сердечник, заключенный в оболочку из позолоченного металла (табл. 2). Гильзы плотно насаживались на пули [8]. Начальная скорость боеприпаса измерялась с помощью системы Intelligent IR

Gate; расчёт скорости производился по сети Ethernet с помощью программного обеспечения BMS Test Velocity LG. Поддерживаемая скорость — 430±15 м/с. Для достижения требуемой скорости проводилась предварительная холостая тренировка с последующим перезаряданием оружия по мере необходимости с помощью перезарядного устройства. Физические и эксплуатационные характеристики 9-миллиметрового снаряда представлены в табл. 2.

Анализ данных о попадании снаряда в цель

Выборка из 12 образцов подвергалась испытаниям в закрытых помещениях баллистического полигона. Стрельба производилась на фиксированном расстоянии 5 м от мишени, при этом для измерения начальной скорости снаряда на расстоянии 2,5 м от дульного среза ствола устанавливался ИК-детектор (данные с детектора передавались на компьютер по сети Ethernet, а расчёт скорости производился с помощью программы BMS Test Velocity LG). Лазерный луч, встроенный в установку для стрельбы, обеспечивал точное наведение в центр образца. Для наглядности установка для стрельбы представлена на рис. 2.

Таблица 2. Стандартные параметры 9-миллиметрового снаряда с закругленным носиком в цельнометаллической оболочке**Table 2.** Standard parameters of a 9 mm projectile with a rounded spout in an all-metal shell

	
Пуля с закругленным носиком в цельнометаллической оболочке (9 мм)	
Длина, мм	14,89
Высота, мм	7,507
Диаметр основания (калибр), мм	8,96
Диаметр наконечника, мм	7,37
Диаметр оживальной части, мм	8,52
Металлическое вещество, г	~0,450
Начальная скорость, м/с	430±15

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ стрельбы и огневого воздействия

Стрельба велась под углами 0°, 15°, 30° и 45°, которые достигались путём регулировки упора моторизованного подвижного стола вправо. Каждый выстрел производился в центр газобетонных блоков-образцов. В исследовании ОЗ для каждого угла встречи пули с преградой использовались одинаковые образцы газобетонных блоков. По окончании каждого испытания образцы снимали с моторизованного стола, после чего делали детальные фотоснимки входных и выходных отверстий. Затем проводилось исследование баллистического воздействия выпущенных 9-миллиметровых снарядов на газобетонные блоки.

Визуальный осмотр сопровождался точным измерением различных параметров, включая диаметры входного и выходного отверстий, глубину проникания (в случаях

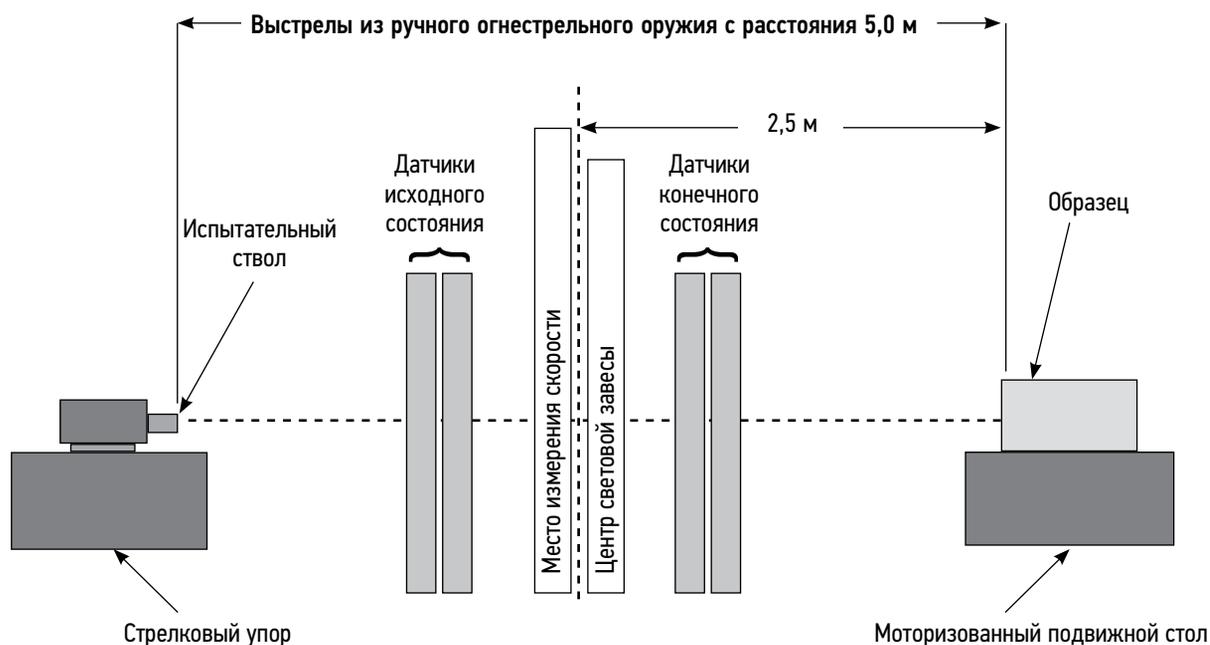


Рис. 2. Графическое представление испытательной установки для стрельбы.

Fig. 2. Graphical representation of the firing test rig.

отсутствия выходных отверстий) и глубину кратера в результате скалывания. Измерения выполняли с помощью штангенциркуля и весов. Фиксировали также массу и размеры пули. В ходе анализа фотографировали повреждённые участки образцов и изучали характер разрушений, на который влияли толщина образца, площадь поверхности и потеря энергии пули при ударе [2, 9].

Оценка кинетической энергии и расчёты

При оценке энергии масса пули считалась постоянной. Кинетическую энергию определяли по формуле:

$$K.E. = \frac{1}{2} mv^2; \quad (1)$$

начальную энергию определяли с помощью уравнения:

$$E = m \frac{(v_x^2 + v_y^2)}{2}, \quad (2)$$

где $v_x^2 = v \cos \theta$; $v_y^2 = v \sin \theta - gt$; m — начальная масса пули (в кг) до столкновения с поверхностью; v — средняя начальная скорость (в м/с), определяемая с помощью ИК-детектора на расстоянии 2,5 м от дульного среза ствола; v_x^2 и v_y^2 — горизонтальная и вертикальная составляющие скорости движущегося снаряда (в м/с) соответственно; θ — угол встречи с преградой (в градусах); g — ускорение под действием силы тяжести (считается равным 9,8 м/с); t — момент столкновения (считается равным 0,01 сек).

При расчёте энергии удара учитывалась средняя начальная скорость. Диаметры входного и выходного отверстий замеряли с помощью штангенциркуля, для построения графиков использовали программу GraphPad Prism 9.3.1. Поскольку входные отверстия не были идеальными окружностями из-за трения и рассеивания точек удара,

для точного определения углов встречи с преградой использовали метод подгонки эллипса [5, 10–12]. Извлечённые пули подвергались анализу на предмет деформаций путём измерения длины, массы, диаметров основания, оживальной части и наконечника, а также сравнению их с параметрами стандартной пули калибра 9 мм.

Анализ энергии удара

С помощью уравнений 1 и 2 можно установить зависимость между углом встречи с преградой и потерей энергии. Масса пули считалась постоянной в точке удара, несмотря на возможные деформации, возникающие во время удара, но не до него. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Из табл. 3 и рис. 3 и 4 (созданных с помощью программы GraphPad Prism 9.3.1) видно, что увеличение угла огневого воздействия первоначально приводит к увеличению энергии удара. Однако за пределами определённого угла энергия удара заметно снижается. Наблюдаемые колебания кривой можно объяснить достижением критического угла, при котором кривая переходит от постепенного увеличения к резкому снижению. Критический угол означает угол возвышения, при котором снаряд начинает рикошетировать. Отсутствие проникания пули под углом 45° может быть связано с максимальной потерей энергии под этим углом, и наоборот, наиболее существенные повреждения происходят при угле встречи 0° , что связано с отсутствием потерь энергии в силу отсутствия вертикальной составляющей скорости, приводящей к непараболической траектории. Напротив, при угле, отличном от этого, возникает параболическая траектория с вертикальной составляющей скорости, на которую влияет ускорение силы

Таблица 3. Энергия удара и потеря энергии в точке удара с учётом угла встречи пули с преградой

Table 3. Impact energy and energy loss at the point of impact, taking into account the angle of the bullet meeting with the obstacle

Угол встречи с преградой	Начальная энергия ⁱ , Дж (А)	Энергия удара ⁱⁱ , Дж (В)	Потеря энергии ⁱⁱⁱ , Дж (С=А-В)	Потеря энергии ⁱⁱⁱ , % ($\frac{C}{A} \times 100$)
0°	694,02	694,02	0,00	0
15°		694,04	-0,02	-0,003
30°		693,86	0,16	0,023
45°		693,82	0,20	0,029

Примечание. i — расстояние от дульного среза (2,5 м); ii — в точке удара; iii — потеря кинетической энергии пули в момент времени (t=0,01 сек).

Note: i — distance from the muzzle (2.5 m); ii — at the point of impact; iii — loss of kinetic energy of the bullet at the time (t=0.01 sec).

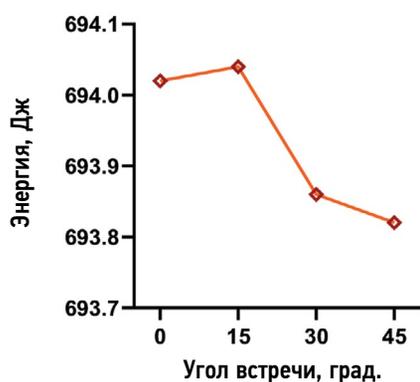


Рис. 3. Энергия удара.

Fig. 3. Impact energy.

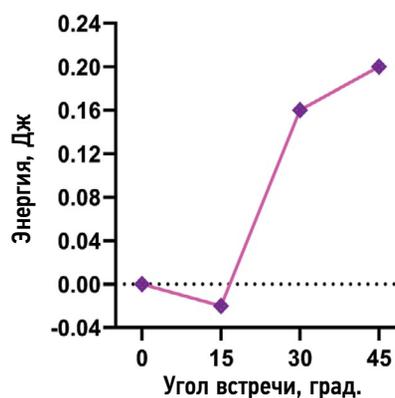


Рис. 4. Потеря энергии.

Fig. 4. Energy loss.

тяжести (-g). Горизонтальная составляющая скорости снаряда остаётся постоянной при всех углах стрельбы.

Определение угла встречи пули с преградой по входному отверстию и картине разрушения

Пули проникали во все образцы под всеми углами исследования, образуя входные отверстия без видимых повреждений под углами 0° и 15°. При углах 30° и 45°

вблизи входных отверстий были заметны некоторые сколы (рис. 5). На обратной стороне блока пуля пробила поверхность с образованием обломков/разлетающихся осколков, за исключением угла встречи 45°, где повреждений/перфорации на обратной стороне не наблюдалось (рис. 6). В табл. 4 приведены данные о характере разрушений у входного и выходного отверстий для различных углов (0°, 15°, 30°, 45°).

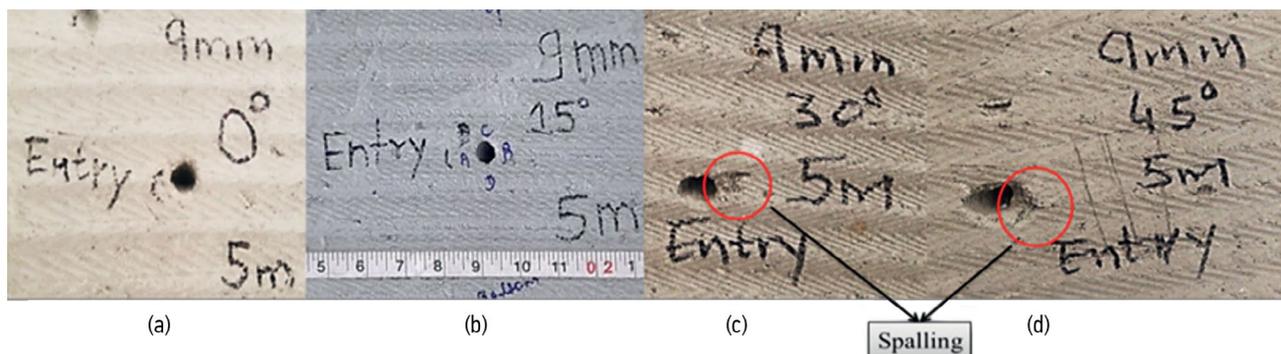


Рис. 5. Входные отверстия при дальности стрельбы 5 м под разными углами (0°, 15°, 30°, 45°).

Fig. 5. Entrance openings with a firing range of 5 m at different angles (0°, 15°, 30°, 45°).

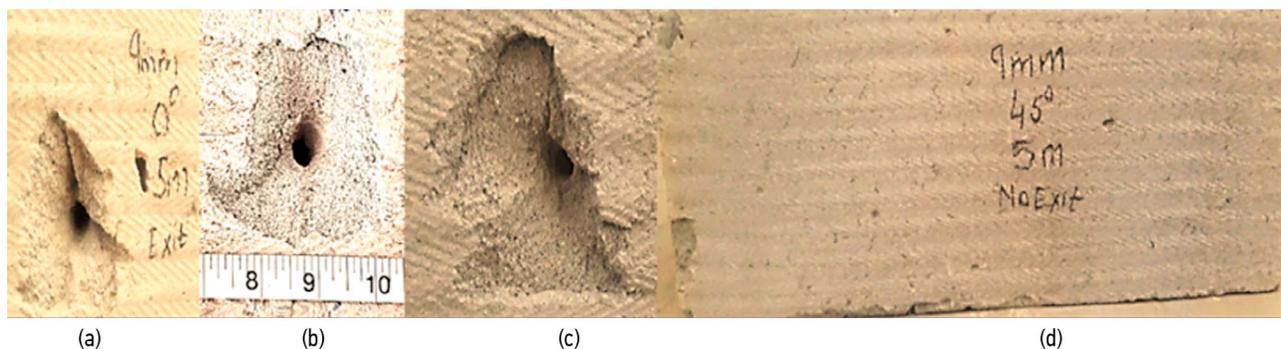


Рис. 6. Выходные отверстия при дальности стрельбы 5 м под разными углами (0°, 15°, 30°, 45°).

Fig. 6. Exit holes with a firing range of 5 m at different angles (0°, 15°, 30°, 45°).

Таблица 4. Разрушения, наблюдаемые на газобетонных блоках

Table 4. Destruction observed on aerated concrete blocks

Угол встречи с преградой	Повреждения у входного отверстия	Повреждения у выходного отверстия
0°	<ul style="list-style-type: none"> • Проникание • Без потери энергии удара • Максимальное взаимодействие наконечника пули с поверхностью мишени приводит к минимальному среднему диаметру входного отверстия 	<ul style="list-style-type: none"> • Проникание • Средний диаметр выходного отверстия больше среднего диаметра входного отверстия и является максимальным
15°	<ul style="list-style-type: none"> • Проникание • Незначительная потеря энергии удара • Уменьшение взаимодействия наконечника пули с поверхностью мишени по сравнению с углом 0°, средний диаметр входного отверстия близок к диаметру при угле 0° 	<ul style="list-style-type: none"> • Проникание • Средний диаметр выходного отверстия меньше среднего диаметра входного отверстия и меньше диаметра при угле 0°
30°	<ul style="list-style-type: none"> • Проникание и скалывание • Заметная потеря энергии удара • Уменьшение взаимодействия наконечника пули с поверхностью мишени по сравнению с углом 15°, средний диаметр входного отверстия близок к диаметру при угле 15° 	<ul style="list-style-type: none"> • Проникание • Средний диаметр выходного отверстия меньше среднего диаметра входного отверстия и близок к диаметру при угле 15°
45°	<ul style="list-style-type: none"> • Проникание и скалывание • Максимальная потеря энергии удара • Минимальное взаимодействие наконечника пули с поверхностью мишени приводит к максимальному среднему диаметру входного отверстия 	<ul style="list-style-type: none"> • Отсутствие повреждений/перфорации с обратной стороны • Отсутствие выходного отверстия

Графический анализ (средние диаметры входных и выходных отверстий отображены в табл. 5 и на рис. 7) показал, что диаметр входного отверстия увеличивается при увеличении угла встречи с преградой, что объясняется увеличением площади поверхности пули, контактирующей с образцом в точке удара. Диаметр выходного отверстия, наоборот, уменьшается с увеличением угла встречи. При угле встречи 0° диаметр выходного отверстия превышает диаметр входного отверстия из-за отсутствия потерь энергии в точке удара, что приводит к значительному повреждению поверхности мишени. В других случаях диаметр выходного отверстия постепенно уменьшается, и при угле встречи 45° перфорации не наблюдается из-за увеличения потерь энергии в точке удара.

Глубина кратера у выходного отверстия составила 32,23 мм для угла встречи 0°, 29 мм для 15° и 19,90 мм для 30°. Эти данные свидетельствуют о том, что при угле 30° пуля прошла наибольшее расстояние, вызвав наименьшие повреждения из-за максимальной потери энергии при ударе, по сравнению с углами 0° и 15°. Мы измерили и усреднили параметры повреждений при ударе по главной и малой осям [длина (l) и ширина (w) эллиптической формы входного отверстия] (табл. 6). Наблюдаемые значения α и расчётные значения θ для угла встречи с преградой указывают на то, что расчётный угол даёт приближённое значение $90 - \alpha$, а не α , который является фактическим углом встречи, поэтому для понимания отклонений

Таблица 5. Диаметр входного и выходного отверстий с учётом угла встречи пули с преградой

Table 5. The diameter of the inlet and outlet holes, taking into account the angle of the bullet meeting with the obstacle

Угол встречи с преградой	Число произведённых выстрелов	Средний диаметр входного отверстия, мм	Средний диаметр выходного отверстия, мм
0°	3	13,67	24,93
15°	3	14,42	12,36
30°	3	14,26	12,09
45°	3	22,93	Без перфорации

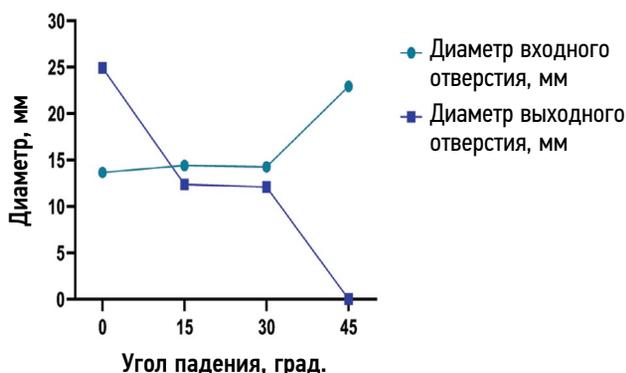


Рис. 7. Диаметр входного отверстия в сравнении с выходным отверстием.

Fig. 7. The diameter of the inlet hole in comparison with the outlet hole.

и погрешностей в известных и расчётных углах мы откорректировали формулу:

$$\theta = \sin^{-1} \frac{w}{l} \times \frac{180}{\pi}, (3)$$

$$\text{где } \theta' = 90 - \left(\sin^{-1} \left(\frac{w}{l} \right) \times \frac{180}{\pi} \right).$$

Таблица 6. Расчётный и известный угол встречи пули с преградой

Table 6. Calculated and known angle of meeting of a bullet with an obstacle

	Тестируемые параметры			
	0°	15°	30°	45°
Угол встречи с преградой (α)	0°	15°	30°	45°
Число произведённых выстрелов	3	3	3	3
Среднее значение по большой оси, мм (l)	15,83	15,64	16,85	29,37
Среднее значение по малой оси, мм (w)	15,75	14,99	14,48	19,99
Расчётный угол встречи $\theta' = 90 - \left(\sin^{-1} \left(\frac{w}{l} \right) \times \frac{180}{\pi} \right)$	84,24°	73,42°	59,24°	43,01°
Расчётный угол встречи по скорректированной формуле ($\theta' = 90 - \theta$)	5,76°	16,58°	30,76°	46,99°
Погрешность ($\theta' - \alpha$)	5,76°	1,58°	0,76°	1,99°
Стандартное отклонение	0,04	0,07	0,17	0,10

Погрешность угла встречи и регрессионный анализ

При расчёте погрешности между известными и расчётными значениями угла встречи становится очевидным неравномерный разброс, причём максимальный разброс наблюдается при угле 30°, а минимальный — при 0°. Однако интересно отметить, что наименьшая погрешность возникает при угле 30°, а наибольшая — при 0°, что свидетельствует об отклонении от ожидаемого сценария. Напротив, при углах 15° и 45° наблюдаются устойчивые закономерности без подобных аномалий. При использовании линейной и нелинейной регрессий данных и построении графика нелинейной регрессии (рис. 8) было установлено, что картина абсолютной погрешности лучше всего согласуется с квадратичным уравнением. С помощью программы GraphPad Prism 9.3.1 был получен статистически значимый результат по методу наименьших квадратов (R^2 0,9922).

На рис. 9 показана траектория пули при попадании в газобетонный блок с образованием небольшого отверстия. Выстрел был произведён с дистанции 5 м под углом 0°.

Осмотр извлечённых пуль

Извлечение пули было возможным при угле встречи 30°, в то время как при 45° для её извлечения

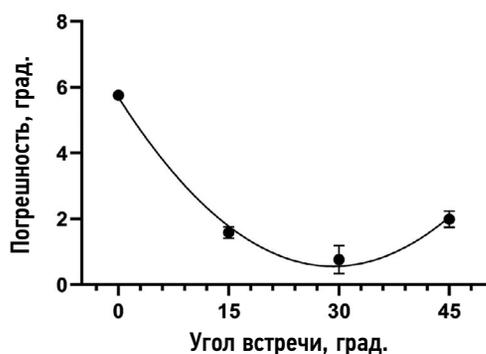


Рис. 8. Подгонка по методу наименьших квадратов.

Fig. 8. Least squares fitting.

приходилось резать газобетонный блок дисковой шлифовальной машиной. На извлечённых пулях была видна правая нарезка с закруткой по часовой стрелке, с одним оборотом и шестью канавками и бороздками, что свидетельствует об испытательном стволе калибра 9×19 мм. Деформация наблюдалась на наконечнике, следы фрагментации отсутствовали. Из табл. 7 следует, что при угле встречи 30° зафиксированы более выраженные изменения различных параметров извлечённой пули по сравнению с углом 45°.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали следующие типы разрушений: при углах встречи 0°, 15° и 30° — проникание и перфорация, при углах 30° и 45° — сколы

на поверхности. Перфорация под углом 45° не наблюдалась, соответственно, тыльная сторона газобетонных блоков не была повреждена. Примечательно, что в аналогичном исследовании железобетонных панелей, армированных стальными волокнами различной толщины и содержания, при ударе 9-миллиметровой пулей с цельнометаллической оболочкой по центру наблюдалась стабильная картина разрушения, причём за пределами 40 мм повреждений не было [1]. Благодаря толщине и наличию стальных волокон железобетонные панели показали отличную ударпрочность. Однако в нашем исследовании площадь поверхности пули и время контакта наконечника пули с поверхностью мишени оказались факторами, влияющими на характер разрушения. В другом исследовании было высказано предположение, что различия в типах разрушений под разными углами встречи могут быть связаны с составом бетонного образца, при этом энергия поглощения частично преобразуется в энергию разрушения, образуя поверхности разрушения [4]. Такая тенденция поглощения энергии согласуется с результатами исследования железобетонных панелей, армированных стальными волокнами, где поглощение энергии удара повышалось с увеличением толщины и содержания волокон [1].

Наш анализ фокусировался на энергии удара пули, чтобы понять различные типы разрушений при различных углах встречи с преградой. Максимальные повреждения и фрагментация наблюдались при угле 0°, что связано с минимальной потерей энергии. Напротив, при угле встречи 45° снаряд испытывал значительные потери энергии, что приводило к его остановке в мишени без перфорации. Анализ энергии удара 9-миллиметрового снаряда с цельнометаллической оболочкой по поверхности мишени,

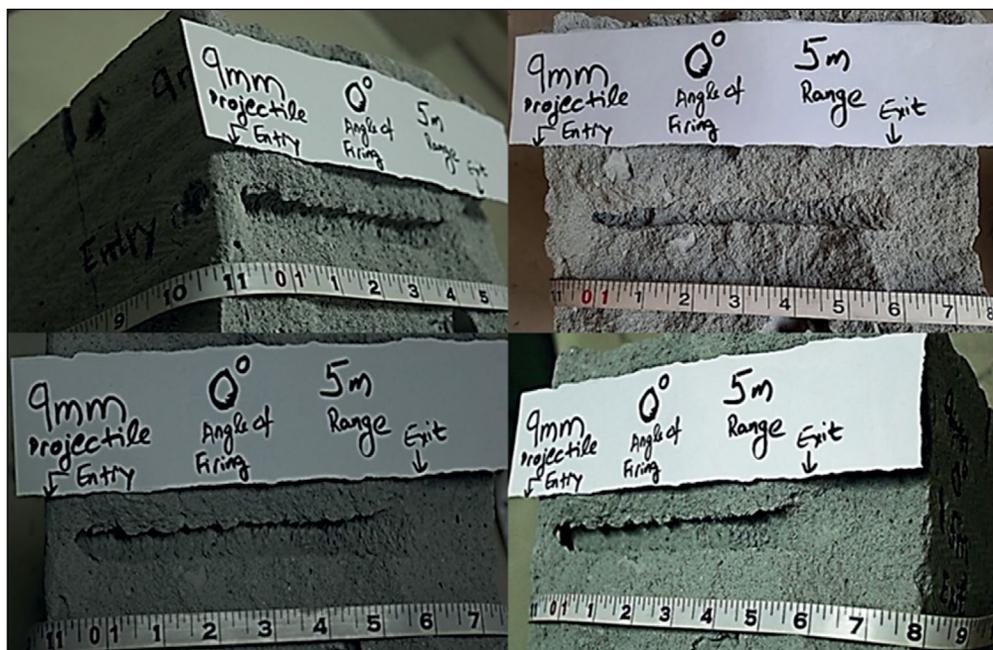


Рис. 9. Траектория полёта пули, выпущенной под углом 0° с дистанции 5 м.

Fig. 9. Trajectory of a bullet fired at an angle of 0° from a distance of 5 m.

Таблица 7. Анализ извлечённых пуль с учётом угла встречи с преградой**Table 7.** Analysis of extracted bullets taking into account the angle of encounter with an obstacle

Тестируемые параметры	Длина, мм		Вес, г		Диаметр основания (калибр), мм		Диаметр оживальной части, мм		Диаметр наконечника, мм	
	30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°
Угол встречи с преградой	30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°	30°	45°
Число произведённых выстрелов	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Число извлечённых пуль	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Размеры пули	Исходный (А)		7,507		8,96		8,52		7,37	
	После стрельбы (В)	14,02	14,51	7,430	7,445	8,86	8,95	8,87	8,66	6,83
Разница в размерах до и после стрельбы (С = А-В)	0,87	0,38	0,077	0,062	0,10	0,01	0,35	0,14	0,54	0,17
Потери в размерах, % ($\frac{C}{A} \times 100$)	5,84	2,55	1,03	0,83	1,12	0,11	4,11	1,64	7,33	2,31

выпущенной с дистанции 5 м, указывает на возможное достижение критического угла в диапазоне от 15° до 30°. В обзорном исследовании изучены параметры, необходимые для воспроизведения обстоятельств преступлений с участием неодушевлённых предметов и определения характерных следов воздействия на различных поверхностях мишени. Бетонные и деревянные поверхности с круглыми или эллиптическими входными отверстиями и выброс поверхностного слоя материалов из выходных отверстий свидетельствовали о непрочности этих материалов [12]. В нашем исследовании измеренные диаметры входных отверстий превышали калибр 9-миллиметрового снаряда, что свидетельствует о непрочности газобетонных блоков. Следует отметить, что между углом встречи пули с преградой, рассчитанным по методу подгонки эллипса, и углом встречи на газобетонных блоках наблюдалось отклонение. Для точного определения угла встречи и повторяемости ударов одиночными пулями были проведены различные измерения с использованием методов подгонки эллипса и построения эллипса в двухмерном режиме. Хотя метод подгонки эллипса эффективно рассчитывает углы встречи до 30°, при увеличении угла следы ударного воздействия, как правило, становятся более круглыми, чем эллиптическими. Это наблюдение согласуется с результатами предыдущих исследований, в которых круговые удары под углом 0° демонстрировали пониженную точность [10, 11]. Физический осмотр извлечённых пуль выявил признаки деформации без фрагментации. Кроме того, на пулях были обнаружены частицы газобетонных блоков и детали нарезки, что даёт возможность соотнести это с огнестрельными отверстиями и огнестрельным оружием, используемым на месте преступления.

Таким образом, наше исследование было посвящено изучению огневого воздействия 9-миллиметрового снаряда с цельнометаллической оболочкой на газобетонные блоки при стрельбе под разными углами. Наблюдалась отчётливая зависимость между углом встречи

и диаметрами входного и выходного отверстий. Увеличение угла встречи приводило к увеличению диаметра входного отверстия и уменьшению диаметра выходного отверстия, что объясняется энергией удара и площадью контакта пули с поверхностью мишени в точке удара. При угле 0° взаимодействие наконечника пули с поверхностью мишени было максимальным, что вызывало значительное воздействие в точке выхода. Отклонение при расчёте угла встречи по методу подгонки эллипса было устранено путём модификации, в результате чего была получена неоднородная вариация, лучше всего объясняемая графиком квадратного уравнения. Аналогичное исследование, посвящённое моделированию траектории винтовочных пуль калибра 7,62 мм/.308", было ранее проведено одним из авторов с использованием численного решения уравнений движения точечной массы [13].

Ограничения исследования

К недостаткам данного экспериментального исследования можно отнести единичное воздействие пули на газобетонный блок, при этом при углах встречи 0° и 15° пули не были извлечены из блоков, что не позволяет провести логический анализ. Для более полного анализа и воспроизведения обстановки на месте преступления полезным может оказаться исследование стены из газобетонных блоков со множественными пулевыми повреждениями. Дальнейшие исследования могут быть посвящены моделированию проникающей и рикошетирующей способности пуль и их траекторий, а также изучению комбинаций боеприпасов и газобетонных блоков, обычно используемых в преступной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изъятие пуль с места преступления имеет существенное доказательственное значение, позволяя определить

характеристики огнестрельного оружия, калибр и особенности снаряда, такие как количество канавок и бороздок. Кроме того, микроскопическое исследование и определение характеристик пули помогают установить тип оружия, из которого был произведён выстрел.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Малика Сингх — концепция и дизайн работы под руководством доктора Ричи Рохатги, проведение экспериментов под руководством доктора Саураба Кумара; Малика Сингх, доктор Саураб Кумар — формулировка результатов исследования; доктор Рича Рохатги — оценка интерпретации результатов и внесение личного вклада в представление ограничений и объёма исследования; доктор Санджай Гупта — интеллектуальный вклад для улучшения содержания и написания.

Благодарности. Авторы благодарны за оборудование и экспериментальную поддержку, предоставленную Кампусом NFSU в Дели, Центром баллистических исследований и испытательным полигоном (BRCTR), Национальным университетом судебных наук (NFSU) Гандинагар. Руководство и поддержка во время баллистических испытаний оказаны Шри С.Г. Хандельвалом, руководителем BRCTR, г-ном Абхиджиджинхом Пармаром, научным помощником BRCTR, и г-жой Крути Панара, BRCTR. Мы благодарны всем оказавшим помощь в период от проведения исследования

до подготовки рукописи. Выражаем благодарность г-ну Рави, инженеру-строителю, предоставившему образцы.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Malika Singh conceptualized the idea and design of the work under the guidance of Dr. Richa Rohatgi and carried out the experiments under the supervision of Dr. Saurabh Kumar. Malika Singh and Dr. Saurabh Kumar formulated the results. Dr. Richa Rohatgi critically evaluated interpretation of results and contributed in submitting limitations and scope of study. Dr. Sanjay Gupta critically reviewed the article and suggested intellectual inputs to improve on content and writing. All the authors read and approved the final version of the manuscript before publication, agreed to be responsible for all aspects of the work, implying proper examination and resolution of issues relating to the accuracy or integrity of any part of the work.

Acknowledgements. The authors are thankful to the facilities and experimental support provided by NFSU Delhi Campus and Ballistic Research Centre and Testing Range (BRCTR), National Forensic Sciences University (NFSU) Gandhinagar. The guidance and support offered by Shri S.G. Khandelwal, Head, BRCTR, Mr. Abhijitsinh Parmar, Scientific Assistant, BRCTR, and Ms. Kruti Panara, BRCTR, during the ballistic trial. We are thankful to everyone who rendered their help throughout the research process till the manuscript preparation. Token of thanks to Mr. Ravi, Civil Engineer, who helped procure the samples.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Heard B. Handbook of firearms and ballistics, 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2013.
2. Jamnam S., Maho B., Techaphatthanakon A., et al. Steel fiber reinforced concrete panels subjected to impact projectiles with different caliber sizes and muzzle energies // Case Studies Construction Materials. 2020. N 13. P. e0030.
3. Backman M. Terminal ballistics. China Lake, Calif: Naval Weapons Center, 1976. 232 p.
4. Werner S., Thienel K., Kustermann A. Study of fractured surfaces of concrete caused by projectile impact // Int J Impact Engineering. 2013. N 52. P. 23–27.
5. Mattijssen E., Kerkhoff W. Bullet trajectory reconstruction: Methods, accuracy and precision // Forensic Sci Int. 2016. N 262. P. 204–211.
6. Bureau of Indian Standards: E-Sale Search Result. Standardsbis.bsbedge.com, 1984. [интернет-ресурс]. Режим

доступа: https://standardsbis.bsbedge.com/BIS_SearchStandard.aspx?keyword=autoclaved%20&id=0. Дата обращения: 11.02.2022.

7. AAC Block. Satyambuildtech.com. [интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.satyambuildtech.com>. Дата обращения: 28.04.2022.

8. Visit of Bimstecnations Army Chiefs, Ficci.in, 2018. [интернет-ресурс]. Режим доступа: https://ficci.in/events/23972/ISP/FICCI_ADB_Defence_EquipmentCatalogue_For_BIMSTEC_Nations.pdf. Дата обращения: 13.05.2022.

9. Li Q., Chen X. Penetration and perforation into metallic targets by a non-deformable projectile // Engineering Plasticity Impact Dynamics. 2001.

10. Liscio E., Imran R. Angle of impact determination from bullet holes in a metal surface // Forensic Sci Int. 2020. N 317. P. 110504.

11. Walters M., Liscio E. The accuracy and repeatability of reconstructing single bullet impacts using the 2D ellipse method // J Forensic Sci. 2020. Vol. 65, N 4. P. 1120–1127.

12. Nordin F., Bominathan U., Abdullah A., Chang K. Forensic significance of gunshot impact marks on inanimate objects: The need for translational research // *J Forensic Sci.* 2019. Vol. 65, N 1, P. 11–25.

13. Gangopadhyay S., Rohatgi R. Trajectory simulations by the numerical solution of the point-mass equations of motion for 7.62 mm/.308" rifle bullets // *Russ J Forensic Med.* 2022. Vol. 8, N 2. P. 23–36. doi: 10.17816/fm730

REFERENCES

1. Heard B. Handbook of firearms and ballistics, 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley; 2013.
2. Jamnam S, Maho B, Techaphatthanakon A, et al. Steel fiber reinforced concrete panels subjected to impact projectiles with different caliber sizes and muzzle energies. *Case Studies Construction Materials.* 2020;(13):e0030. doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00360
3. Backman M. Terminal ballistics. China Lake, Calif: Naval Weapons Center; 1976. 232 p.
4. Werner S, Thienel K, Kustermann A. Study of fractured surfaces of concrete caused by projectile impact. *Int J Impact Engineering.* 2013;(52):23–27. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2012.09.005
5. Mattijssen E, Kerkhoff W. Bullet trajectory reconstruction: Methods, accuracy and precision. *Forensic Sci Int.* 2016;(262):204–211. doi: 10.1016/j.forsciint.2016.03.039
6. Bureau of Indian Standards: E-Sale Search Result. Standardsbis. bsbdege.com; 1984. [Online]. Available from: https://standardsbis.bsbdege.com/BIS_SearchStandard.aspx?keyword=autoclaved%20&id=0. Accessed: 11 Feb 2022.
7. AAC Block. Satyambuildtech.com. [Online]. Available from: <https://www.satyambuildtech.com>. Accessed: 28 Apr 2022.

8. Visit of Bimstec Nations Army Chiefs, Ficci.in, 2018. [Online]. Available from: https://ficci.in/events/23972/ISP/FICCI_ADB_Defence_EquipmentCatalogue_For_BIMSTEC_Nations.pdf. Accessed: 13 May 2022.
9. Li Q, Chen X. Penetration and perforation into metallic targets by a non-deformable projectile. *Engineering Plasticity Impact Dynamics.* 2001. doi: 10.1142/9789812794536_0010
10. Liscio E, Imran R. Angle of impact determination from bullet holes in a metal surface. *Forensic Sci Int.* 2020;(317):110504. doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110504
11. Walters M, Liscio E. The accuracy and repeatability of reconstructing single bullet impacts using the 2D ellipse method. *J Forensic Sci.* 2020;65(4):1120–1127. doi: 10.1111/1556-4029.14309
12. Nordin F, Bominathan U, Abdullah A, Chang K. Forensic significance of gunshot impact marks on inanimate objects: The need for translational research. *J Forensic Sci.* 2019;65(1):11–25. doi: 10.1111/1556-4029
13. Gangopadhyay S, Rohatgi R. Trajectory simulations by the numerical solution of the point-mass equations of motion for 7.62 mm/.308" rifle bullets. *Russ J Forensic Med.* 2022;8(2):23–36. (In Russ). doi: 10.17816/fm730

ОБ АВТОРАХ

* **Рича Рохатги**, д-р мед. наук, доцент;
адрес: Нью-Дели, 110085, Индия;
ORCID: 0000-0001-5514-953X;
e-mail: rrohathgi2020@gmail.com

Малика Сингх;
ORCID: 0009-0005-4749-1622;
e-mail: singhmalika98@gmail.com

Саураб Кумар, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0001-8442-1096;
e-mail: saurabh.kumar@nfsu.ac.in

Санджай Гупта, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0003-3829-3155;
e-mail: drsanjaymdfm@gmail.com

AUTHORS' INFO

* **Dr. Richa Rohatgi**, MD, Dr. Sci. (Med.), Assistant Professor,
Forensic Science;
address: New Delhi, 110085, India;
ORCID: 0000-0001-5514-953X;
e-mail: rrohathgi2020@gmail.com

Malika Singh, MSc Forensic Science;
ORCID: 0009-0005-4749-1622;
e-mail: singhmalika98@gmail.com

Saurabh Kumar, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0001-8442-1096;
e-mail: saurabh.kumar@nfsu.ac.in

Sanjay Gupta, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0003-3829-3155;
e-mail: drsanjaymdfm@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author