

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАСТИН
ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ**

**EXPERIMENTAL STUDIES OF COMPOSITE PLATES PROTECTIVE PROPERTIES
FOR PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT**

М.А. ФАРУХ¹, М.В. КИСЕЛЕВ¹, Д.А. САМОЙЛОВ²

M.A. FARUH¹, M.V. KISELEV¹, D.A. SAMOYLOV²

(¹ООО НПО «Программируемые композиты»)

(²ООО «Центр инжиниринга и проектирования «Аванс»)

(¹NPO "Programmable Composites" LLC)

(²Center of engineering and design "Advance")

E-mail: faruh_mihail@mail.ru, kisselev50@mail.ru, dmitrii_samoilov@mail.ru

В статье исследован процесс разрушения средств индивидуальной защиты из композитного материала при кинетическом воздействии с использованием стрелкового оружия. В работе описан поэтапный порядок проведения экспериментального исследования по пробитию средства индивидуальной защиты из композиционного материала, расположенного на регистрирующей среде (техническом пластилине), с определением глубины вмятины в пластилине. По результатам баллистических экспериментальных исследований проведено сравнение технических характеристик разработанного средства индивидуальной композиционной бронепластины с двумя другими аналогами. Сделан вывод о том, что разработанный композитный материал имеет существенно более высокие технические характеристики, чем рассмотренные аналоги отечественного и зарубежного производства.

The article examines the process of destruction of personal protective equipment made of composite material under kinetic impact using small arms. The paper describes a step-by-step procedure for conducting an experimental study on breaking through personal protective equipment made of a composite material located on a recording medium (technical plasticine) with determining the depth of the dent in the plasticine. Based on the results of ballistic experimental studies, the technical characteristics of the developed individual composite armor plate were compared with two other analogues. It was concluded that the developed composite material has significantly higher technical characteristics than the considered analogues of domestic and foreign production.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, баллистические экспериментальные исследования, разрушение композиционного материала на арамидной основе.

Keywords: personal protective equipment, ballistic experimental studies, destruction of aramid-based composite material.

В современном мире требования к средствам индивидуальной защиты, в том числе и бронезащиты, постоянно возрастают. В

Российской Федерации совершенствованию средств бронезащиты как с точки зрения их эффективности, так и экономичес-

ти уделяется значительное внимание со стороны широкого круга научных организаций и промышленных предприятий [1]. Одним из направлений совершенствования композитных материалов является замена таких дорогостоящих составляющих защитной системы, как карбид бора и специальные волокна из полиэтилена, используемые в различных иностранных средствах индивидуальной бронезащиты [2, 3].

Все новые образцы средств индивидуальной бронезащиты в обязательном порядке проходят большое количество баллистических испытаний на полигонах в соответствии со стандартами на испытания, и окончательные решения об их эффективности принимаются на основе практического опыта.

На этапе проектирования индивидуальных средств защиты активно применяются как методы компьютерного моделирования, так и прямые методы разрушающих испытаний. Моделирование динамического воздействия инденторов на элементы броневой защиты путем проведения вычислительной «стрельбы» на компьютере позволяет сократить время и значительные средства, необходимые для проведения натурных испытаний. На сегодняшний день представлено множество физических и математических моделей процессов высокоскоростного взаимодействия пуль и осколков с различными типами бронепреград [4-9]. Исследованиями вопросов деформирования и разрушения элементов бронезащиты, в том числе из арамидных тканей, при их взаимодействии с ударником и техническим пластилином занимались российские ученые А.В. Герасимов, Ю.И. Дмитриенко, И.Ф. Кобылкин, П.А. Моссаковский, Х.А. Рахматулин, С.Б. Сапожников, В.В. Селиванов, Е.Ф. Харченко, В.А. Григорян, В.М. Маринин и другие, авторами использовались экспериментальные методы компьютерное математическое моделирование.

Однако несмотря на наличие аналитических и численных методов, а также современного программного обеспечения численного моделирования типа LS-DYNA,

позволяющих выполнять достоверный анализ многомерных динамических процессов, связанных с пробиванием преград со сложной структурой индентором, до сих пор полученные расчетные показатели проверяются экспериментальной верификацией компьютерных данных.

Необходимо отметить, что при компьютерном моделировании встает проблема задания большого количества различных параметров, в частности, физико-механических характеристик материалов (прочностных и деформационных характеристик нитей, ткани при динамическом деформировании), учета геометрических особенностей внутренней структуры бронематериала на макро- и микроуровне, учета деформаций, неупругих эффектов, фазовых превращений, в том числе полиморфных, связанных с перестройкой кристаллической решетки материала в процессе деформирования, использования корректных механизмов разрушения, что часто приводит к большому числу допущений. Вследствие этого любая математическая модель всегда оказывается в некоторой степени ограниченной, применяемой лишь при определенных условиях и в конкретной задаче.

При этом экспериментальная отработка защитных структур, кроме верификации расчетных данных, дает возможность получить численные значения отдельных параметров, которые позволяют уточнить модели, полученные при компьютерном моделировании.

Анализ критериев оценки баллистической стойкости керамических материалов показал, что физико-механические показатели керамики, получаемые при статических испытаниях, позволяют оценивать баллистические характеристики керамики только на качественном уровне и не позволяют дать достоверную количественную оценку баллистической стойкости керамического материала. Поэтому необходимо опираться на прямые баллистические испытания в условиях высокоскоростного соударения, обеспечивающие оценку работоспособности керамики при высоких скоростях ее взаимодействия с ударником [10].

Прямой натурный баллистический эксперимент остается основным методом испытаний при разработке новых типов средств индивидуальной бронезащиты (СИБ). По стандартам Российской Федерации и других стран (США и Евросоюза) на пулезащитную экипировку сертификационные испытания (обстрел) СИБ проводят на техническом пластилине, являющемся регистрирующей средой. Глубина вмятины на поверхности такой среды (прогиб тыльной стороны бронезилета) является критерием качества защитной структуры и не должна превышать величины, заданной конкретным стандартом. Считается, что чем меньше глубина вмятины, тем выше качество бронезилета при прочих равных характеристиках и тем меньшую травму получит человек. В связи с этим задача достижения снижения глубины вмятины в регистрирующей среде при обязательном условии отсутствия увеличения веса бронезилета является актуальной.

В данной работе проведены экспериментальные испытания конкретных образцов защитных композиционных структур, разработанных и изготовленных авторами [11]. В ходе баллистических испытаний, реализованных в процессе исследования, были приняты соответствующие меры безопасности для персонала и окружающей среды.

Целью данного этапа исследования стали экспериментальные исследования деформирования и разрушения основных элементов средства индивидуальной бронезащиты, изготовленного на основе оригинальных бронепанелей и броневставок, предлагаемых авторами, при высокоскоростном локальном ударе и оценка их эффективности.

Планирование и проведение баллистического эксперимента предполагает среди прочего знание основных определений и понятий, которые важны для проводимого исследования и изложены в различных нормативных документах для данного типа изделий: ГОСТ 34286-2017 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования», ГОСТ Р 55623-2013 «Бронеодежда. Методы испытаний».

Экспериментальные исследования выполнены в условиях специализированного стрелкового комплекса.

В рамках натурального эксперимента проверялась гипотеза о возможности существенного снижения глубины вмятины в пластилине и повышения баллистического предела при локальном ударе за счет разработанной оригинальной структуры бронепанелей, изготовленных на основе оксида алюминия, карбида бора и арамидной ткани.

Перед проведением экспериментальных исследований защитных свойств баллистической преграды бронезилета был определен порядок работы в следующей последовательности:

1. Подбор сравниваемых бронеплит по классам.
2. Подготовка испытуемого образца.
3. Замер массы образца.
4. Подготовка и установка макета из пластилина (баллистической глины).
5. Установка преградного арамидного пакета с климатико-амортизационной подпорой (демпферного буфера) из ватина.
6. Добавление 10 мм плиты из прессованного СВМП.
7. Проведение отстрела 7,62x54 мм патронами с пулей Б-32, инд. 7-БЗ-З.
8. Проверка испытуемого образца после окончания опыта.
9. Фиксация количества пробитий или отсутствия пробития.

Для сравнения полученных экспериментальных данных с эталоном использованы бронезащитный элемент керамокомпозитный с двояковыпуклой анатомической формой по классу защиты БР5 (ГОСТ 34286-2017), размер (L) 260*340 мм, уровень защиты IV по стандарту США NIJ 01.01.06 от компании «Щелковская шелкоткацкая фабрика» и бронеплита тип XIV-A от производителя KLUZ (г. Белград) с уровнем защиты IIIA в соответствии с NIJ стандартом 01.01.03.

Броня пятого класса рассчитана на отражение ударов небронбойных пуль калибра 5,45 и 7,62 мм. Дальность выстрела обычными пулями здесь не превышает 5 м, бронбойными – 10 м, от пистолетных выстрелов защищает в упор. Вес бронжилетов может варьироваться в пределах от 11 до 20 кг.

Шестой класс предполагает обеспечение защиты от поражения снайперской винтовкой СВД. Патроны 7,62 мм и 57-БЗ-231 с пульей БЗ не смогут проникнуть через бронежилет. Также броня устраняет убойное действие 7,62 мм патрона 7Н13 и 7,62 мм патрона 7-БЗ-3 с пульей Б-32.

Таблица 1

ГОСТ (Россия)	NIJ (США)	DIN (Германия)	CEN (Европа)
С, С1, С2	I	L	BR1
Бр 1	I - IIIA	I	BR2, BR3
Бр 2	—	II	SG1, SG2
Бр 3	—	II	BR4
Бр 4	III	III	BR5
Бр 5	—	—	BR6
Бр 6	IV	IV	BR7

Соответствие классов стандартов разных стран представлено в табл. 1 [12].

Из классификации бронеодежды (табл. 1) следует, что наиболее полный ее вариант существует в России и Европе.

Подготовка к испытаниям и выставление макета из пластилина с климатико-амортизационной подпорой, предназначенной для циркуляции воздуха и отвода влаги из-под бронежилета, а также для некоторого смягчения запреградной (компрессионной) травмы, наносимой попаданием в бронежилет из огнестрельного оружия, представлены на рис. 1.



а) б)

Рис. 1

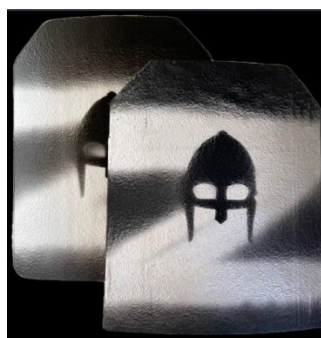


Рис. 2

Испытуемый объект представлен на рис. 2.

По объекту испытаний – бронежилет – произвели стрельбу боевыми патронами с применением специальных баллистических стволов. Баллистическая оценка бронежилет

проводилась при ударе из автоматического стрелкового оружия следующим индентором: 7,62x54 мм патрон с пульей Б-32, инд. 7-БЗ-3. Произведено пять выстрелов, начальная скорость пули 825 м/с (2707 футов/с). Результат представлен на рис. 3.



Рис. 3

Как видно на фото (рис. 3), пробитие отсутствует, заброневое воздействие после выстрелов минимальное (7 мм) при допустимом – 21 мм. Это означает, что человек, защищенный такой плитой, не получит травмы и сможет продолжить выполнять поставленные задачи. Анализ результатов испытаний посредством визуального обследования кратеров после эксперимента позволил сделать вывод, что плита способна выдержать пять прямых попаданий от патронов 7,62x54 с бронебойными пулями ТУС, Б32 и от пистолетных патронов 9x18, 9x19, 7,62x25 с мягкими сердечниками, тем самым рассеять и поглотить кинетическую энергию ударника.

Сравнение технических характеристик бронежилета, основу которого составляет разработанная в ходе исследования композиционная бронепластина, выполнялось с аналогом отечественного производства – штурмовым бронежилетом «ББ43», стоящим на вооружении в РФ в настоящее время, и иностранным аналогом IOTV Gen II (Improved Outer Tactical Vest), использующим кевларовые или керамокомпозитные материалы в качестве основного элемента бронезащиты. Сравнительные данные приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Марка (название) бронежилета	Вес бронежилета (без брони), кг	Вес бронеплиты, кг	Размер	Общая площадь защиты, дм ²	Дополнительные элементы	Класс защиты
Разработанный бронежилет	4,5	2,95	М	90	Система MOLLE	6А по ГОСТ Р 50744-95
ББ43	5	5	М	69,5	-	6 по ГОСТ Р 50744-95
IOTV Gen II	6,85	3,25	М	83,19	Система MOLLE	IV (NIJ) (6 по ГОСТ Р 50744-95)

Анализ данных табл. 2 показывает, что разработанная новая модель средства индивидуальной бронезащиты имеет существенно более высокие технические характеристики, чем рассмотренные аналоги отечественного и зарубежного производства. В частности, вес бронежилета снизился на 10% по сравнению с имеющимся российским аналогом и на 34% ниже зарубежного. Соответственно вес бронеплиты в новом бронежилете самый меньший из аналогов. При этом новый вариант бронежилета имеет наибольшую площадь защиты, дополнительные элементы и отвечает самому высокому классу защиты 6А.

В Ы В О Д Ы

1. Экспериментальным путем выполнено сравнение технических характеристик разработанного нового бронежилета с двумя другими аналогами отечественного и зарубежного производства: штурмовым бронежилетом «ББ43», стоящим на воору-

жении в РФ в настоящее время, и американским аналогом IOTV Gen II (Improved Outer Tactical Vest).

2. Проведены баллистические испытания бронеплит производителя KLUZ (г. Белград, Сербия) и компании «Щелковская шелкоткацкая фабрика» (г. Щелково, Московская область, Россия).

3. Экспериментально показано, что разработанная модель композиционной бронепластины, являющейся основным элементом бронежилета, превосходит все имеющиеся аналоги по техническим характеристикам, определяющим эффективность средства индивидуальной бронезащиты, – баллистической прочности и предельной массе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Птичкин С.* Российские бронежилеты и шлемы стали лучшими в мире. – <https://tg.ru/2022/07/11/rossijskie-bronezhilet-y-i-shlemy-stali-luchshimi-v-mire.html>.

2. *Зайцев Г.П.* Корундовая бронекерамика: опыт производства и применения // Экспертный союз. – <http://unionexpert.su/korundovaya-bronekeramika-opyt-proizvodstva-i-primeneniya>.

3. В России провели успешные баллистические испытания керамической брони. – <https://topwar.ru/174736-v-rossii-proveli-uspeshnye-ballisticheskie-ispytaniya-keramicheskoy-broni.html>.

4. *Григорян В.А., Кобылкин И.Ф., Маринин В.М., Чистяков Н.Н.* Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / под ред. В.А. Григоряна. М.: РадиоСофт, 2008. 406 с.

5. *Берендеев Н.Н.* Описание поведения тканого композита при статическом нагружении с использованием структурной модели // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 4 (1). С. 173...179.

6. *Долганина Н.Ю.* Оценка баллистического предела и прогиба многослойных тканевых пластин при ударе индентором // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. 2010. Вып. 15. № 10(186). С. 17...23.

7. *Моссаковский П.А., Антонов Ф.К., Белякова Т.А., Костырева Л.А., Брагов А.М., Баландин В.В.* Экспериментальное исследование и конечно-элементный анализ тканевых композитов в условиях ударного нагружения // Проблемы прочности и пластичности. 2014. Вып. 76(1). С. 39...45.

8. *Ignatova A.V., Kudryavtsev O.A., Zhikharev M.V.* Influence of surface polymer coating on ballistic impact response of multi-layered fabric composites: Experimental and numerical study // International Journal of Impact Engineering. 2020. Vol. 144.No. 103654. – DOI: 10.1016/i.iiimpeng.2020.103654.

9. *Киселев М.В., Фарух М.А., Елсуков Е.С.* Математическая модель динамического поведения арамидной ткани «Русар» при пробитии пульей // Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Н.А. Васильева. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. Ч. 1. С. 127...131.

10. *Гриневич А.В., Лавров А.В.* Оценка баллистических характеристик керамических материалов // Труды ВИАМ: научно-технический журнал. 2018. №3(63). С. 91...102.

11. *Фарух М.А., Киселев М.В., Самойлов Д.А.* Разработка структуры защитных композиционных пластин для средств индивидуальной защиты // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. №4 (406). С. 231...235.

12. *Тактический бронежилет: классы защиты и правила эксплуатации.* – <https://ria.ru/20221017/bronezhilet-1824664542.html> (дата обращения: 01.07.2023).

REFERENCES

1. *Ptichkin S.* Russian body armor and helmets have become the best in the world. –

<https://rg.ru/2022/07/11/rossijskie-bronezhilye-i-shlemy-stali-luchshimi-v-mire.html>.

2. *Zaitsev G.P.* Corundum armored ceramics: production and application experience // Expert Union. – <http://unionexpert.su/korundovaya-bronekeramika-opyt-proizvodstva-i-primeneniya>.

3. Successful ballistic tests of ceramic armor were carried out in Russia. – <https://topwar.ru/174736-v-rossii-proveli-uspeshnye-ballisticheskie-ispytaniya-keramicheskoy-broni.html>.

4. *Grigoryan V.A., Kobylykin I.F., Marinin V.M., Chistyakov N.N.* Materials and protective structures for local and individual armor / edited by V.A. Grigoryan. M.: Publishing house. RadioSoft, 2008. 406 p.

5. *Berendeev N.N.* Description of the behavior of a woven composite under static loading using a structural model // Bulletin of Nizhny Novgorod University N.I. Lobachevsky. 2013. No. 4 (1). P. 173...179.

6. *Dolganina N.Yu.* Evaluation of the ballistic limit and deflection of multilayer fabric plates upon impact with an indenter // Bulletin of SUSU. Series: Mechanical engineering. 2010. 15. No. 10(186). P. 17...23.

7. *Mossakovsky P.A., Antonov F.K., Belyakova T.A., Kostyeva L.A., Bragov A.M., Balandin V.V.* Experimental study and finite element analysis of fabric composites under impact loading // Problems of Strength and Plasticity. 2014. Issue. 76(1). Pp. 39...45.

8. *Ignatova A.V., Kudryavtsev O.A., Zhikharev M.V.* Influence of surface polymer coating on ballistic impact response of multi-layered fabric composites: Experimental and numerical study // International Journal of Impact Engineering. 2020. Vol. 144. No. 103654. – DOI: 10.1016/i.iiimpeng.2020.103654.

9. *Kiselev M.V., Farukh M.A., Elsuikov E.S.* Mathematical model of the dynamic behavior of aramid fabric “Rusar” when pierced by a bullet // Collection of scientific papers of the International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor N.A. Vasilyeva. Moscow, May 26, 2021. M.: RSU named after. A.N. Kosygina, 2021. Part 1. P. 127...131.

10. *Grinevich A.V., Lavrov A.V.* Assessment of ballistic characteristics of ceramic materials // Proceedings of VIAM: Scientific and technical journal. 2018. No. 3(63). P.91...102.

11. *Farukh M.A., Kiselev M.V., Samoilo D.A.* Development of the structure of protective composite plates for personal protective equipment // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 4 (406). P. 231...235.

12. *Tactical body armor: protection classes and operating rules.* – <https://ria.ru/20221017/bronezhilet-1824664542.html> (date of access: 07/01/2023).

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения Костромского государственного университета. Поступила 09.10.23.