

УДК: 623.445

DOI: 10.53816/23061456\_2022\_7-8\_149

**ОРИГИНАЛЬНЫЙ БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ИМИТАТОР ТОРСА ЧЕЛОВЕКА  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ЗАБРОНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БРОНЕЖИЛЕТА**

**ORIGINAL BALLISTIC SIMULATOR OF A HUMAN TORSO INTENDED  
FOR DETERMINING THE LEVEL OF BEHIND ARMOR  
EFFECT WHEN USING BODY ARMOR**

*С.Г. Цуриков<sup>1</sup>, И.Е. Жуков<sup>2</sup>, канд. техн. наук. А.А. Котосов<sup>3</sup>, канд. мед. наук А.В. Денисов<sup>4</sup>*

*S.G. Tsurikov, I.E. Zhukov, Ph.D. A.A. Kotosov, Ph.D. A.V. Denisov*

*<sup>1</sup>в/ч 09703, <sup>2</sup>Ржевский научно-исследовательский испытательный сертификационный центр,  
<sup>3</sup>Филиал ВА МТО (г. Пенза), <sup>4</sup>НИЦ ВМедА им. С.М. Кирова*

Статья посвящена разработке устройства — баллистического имитатора торса для оценки травмобезопасности человека при использовании бронежилета. Рассмотрено несложное устройство подвижного имитатора торса. Торс выполнен в виде цилиндрической емкости, заполненной жидкостью, закрытой эластичной мембраной, и с установленными датчиками ускорения и внутриполостного давления. Баллистический имитатор торса позволяет реализовать известный способ оценки травмобезопасности бронежилета при отсутствии его перфорации высокоскоростным элементом, действии волны взрыва и ударе вторичного осколка. Это повышает информативность проводимых баллистических испытаний известных и перспективных бронежилетов.

**Ключевые слова:** бронежилет, имитатор торса, заброневая травма, кондиционное воздействие, поражающий элемент, воздушная ударная волна, вторичный осколок, перегрузка, внутриполостное давление.

The paper is concerned with the development of the ballistic torso simulator in order to assess injury prevention when using body armor. Simple device of a mobile simulator is considered. The trunk is made in the form of a cylindrical tank filled with fluid, closed by an elastic membrane, with installed acceleration and intracavitary pressure sensors. The ballistic trunk simulator allows realizing a popular estimation method for injury prevention parameters when there is no any perforation to the armor caused by high speed projectiles, as well as blast wave effect or any secondary fragments impact. This improves an informative value of ballistic tests for the available and perspective armor.

**Keywords:** body armor, trunk simulator, behind armor injury, conditioned effect, damaging projectile, air blast, secondary penetrator, overloading, intracavitary pressure.

С 1 марта 2019 года в качестве национального стандарта Российской Федерации, распространяющегося на бронеодежду (БО) (независимо от ведомственной принадлежности), предназна-

ченную для защиты туловища и конечностей человека (за исключением стоп ног и кистей рук) от воздействия холодного и огнестрельного стрелкового оружия, а также поражения осколками,

введен в действие ГОСТ 34286–2017 [1]. В данном стандарте определено понятие класса защитной структуры БО как показателя стойкости защитной структуры к воздействию регламентированного средства поражения при безопасном уровне броневое воздействие поражающих элементов (ПЭ), и при условии её непробития. Причём броневое воздействие трактуется как динамическое воздействие ПЭ при непробитии защитной структуры, определяемое показателем, нормируемым нормативным документом на конкретную продукцию или группу однородной продукции. В примечании уточняется, что показатель — параметр, через который задают критерий оценки изделия, значение которого получают в результате измерений, расчета и прогноза.

До принятия ГОСТ 34286–2017 степень допустимой тяжести броневой травмы при условии непробития БО, была регламентирована ГОСТ Р 50744–95 (с изменениями), «не выше второй» — средней степени тяжести нанесения вреда здоровью объекту защиты. Однако сейчас появилась некоторая неоднозначность в определении показателей броневое воздействие при непробитии защитной структуры БО и их допустимых значений, что требует обоснования единого подхода к поиску достоверных технических критериев оценки уровня броневое воздействие и разработки соответствующего методического аппарата.

В настоящее время с этой целью в мире используются различные технические устройства, позволяющие определять значения некоторых физических показателей броневое удара.

В США по стандарту «Ballistic Resistance of Personal Body Armor, NIJ Standart — 0101.06», 2008 г., броневая травма при непробитии бронезилета поражающим элементом боеприпаса определяется по глубине отпечатка на блоке пластилина марки Roma#1. Пластилин расположен внутри деревянного ящика с размерами 61×61×14 см. Определение броневой травмы проводится без антитравматических вставок, которые перед испытаниями изымаются из структуры бронезилета. Полученный фрагмент бронезилета вдавливают в пластилин, исключая воздушные зазоры. После выстрела и установления того, что воздействие является кондиционным, глубину полученного отпечатка измеряют

лучом лазера. Допустимая глубина отпечатка не должна превышать 44 мм [3].

Аналогичный способ и соответственно устройство (ящик, наполненный пластилином) описаны в стандарте Германии — «TECHNISCHE RICHTLINIE SCHUTZWESTEN», редакция 2008 г., и Великобритании «HOSDB Body Armour Standards For UK Police», редакция 2007 г. Кроме того, данное устройство и способ оценки броневой травмы регламентированы в документе [2].

Известен баллистический имитатор торса для определения защитных свойств бронезилета, описанный в работе [3]: «Баллистический имитатор торса для определения защитных свойств бронезилета, выполненный в соответствии с антропометрическими параметрами торса человека, состоящий из корпуса и внутренней полости, разделенных эластичной перегородкой с двумя разнонаправленными обратными клапанами на грудную секцию и брюшную секцию, заполненные жидкостью, и содержащий измерительный блок из акселерометра и пьезоэлектрического датчика, расположенный по центру эластичной перегородки». К недостаткам данной модели торса следует отнести сложность и дороговизну изготовления модели торса — антропометрического аналога торса человека (методом 3D прототипирования), а также неподвижность модели торса.

Более детально остановимся на отечественном имитаторе торса, описанном в работах [4, 5], посвящённых разработке «Стенда для определения защитных свойств бронезилета». Стенд содержит горизонтально расположенную и заполненную жидкостью цилиндрическую емкость с размещенной с фронтальной стороны резиновой мембраной, установленный перед цилиндрической емкостью со стороны мембраны ударный механизм с линией удара, расположенной по оси цилиндрической емкости, и расположенный в цилиндрической емкости датчик давления сферической формы с центром на линии удара. Также стенд имеет расширительную емкость с источником давления, соединенную через вентиль с цилиндрической емкостью. Калибровку стенда выполняют ударами падающего груза маятникового копра с заданной энергией удара и регистрацией импульса давления в жидкости. Далее устанавливают на направляющие стенда

бронежилет (БЖ) и производят по нему удар поражающим элементом боеприпаса, также с регистрацией импульса давления в жидкости, который и сравнивают с импульсом, полученным при калибровке стенда.

К недостаткам данного стенда следует отнести:

- калибровка ударом маятникового копра (падающего груза) соответствует только случаю низкоскоростного удара вторичного осколка;

- горизонтально расположенная, заполненная жидкостью цилиндрическая емкость с размещенной с фронтальной стороны резиновой мембраной жёстко закреплена, что не позволяет получать данные по движению изделия после броневое воздействие;

- низкая инвариантность результатов испытаний, несмотря на введённую расширительную емкость с источником давления;

- неоднозначность способа обработки импульсов давления при ударах по защищенной БЖ и незащищенной мембране стенда (например, по способу приведенному в патенте № RU 2254544, [6]).

В работе [7] экспериментально показано, что в случаях кондиционного воздействия на бронежилет поражающего элемента боеприпаса (выстрел из 7,62-мм винтовки СВД патроном с пулей ЛПС со скоростью удара 828 м/с), в нагруднике (бронепанели) последнего проходит ударная волна, далее в течение 1...2 мс образуется выступ, после чего происходит перемещение нагрудника (в целом до 36 мс) и соответственно фрагмента бронежилета. Удар по объекту защиты (торсу), приводящий к формированию закрытой контузионной травмы (ЗКТ), возможен как при локальном ударе выступа со скоростью 40...50 м/с, так и при распределённом ударе нагрудника в целом со скоростью 1,25...2,25 м/с. Нанесение травмы за счет воздействия только ударной волны, формируемой в зоне контакта ПЭ с нагрудником, наиболее вероятно при отсутствии климатико-амортизационного подпора.

Воздействие на объект защиты взрывной ударной волны (ВУВ), образуемой при взрыве боеприпаса, достаточно подробно изложено в работах [8, 9]. Опираясь на кривые И. Дж. Боуэна «пиковое избыточное давление инцидента взрыва – продолжительность фазы сжатия» выделяют такие пороги повреждения как баротрав-

ма, первичная травма лёгких и травма головы. При этом продолжительность фазы сжатия во фронте ударной волны (УВ) для артиллерийских снарядов калибра 105...155-мм изменяется в пределах от 1 до 10 мс, а диапазон внутрисполостного давления в лёгких для лёгкой степени тяжести травмы составит 70...100 кПа, а крайне тяжёлой степени тяжести травмы более 240 кПа.

Величина скорости перемещения грудной клетки при воздействии ВУВ, по мнению авторов [10], также хорошо коррелирует с уровнем (тяжестью) травмы и имеет устойчивый характер. Ими предсказан порог повреждения лёгких при скорости внутренней стенки груди 3...4,5 м/с, и 50 % вероятность летального исхода при скорости 12...17 м/с.

Целью настоящей работы является повышение информативности выполняемых баллистических испытаний бронежилетов на ударостойкость за счёт измерения ряда параметров процесса формирования повреждения (заброневой контузионной травмы) как при условии непробития бронежилета поражающим элементом боеприпаса (кондиционном воздействии), удара падающего груза (вторичных осколков), так и при воздействии воздушной ударной волны взрыва.

С этой целью нами была разработана оригинальная модель баллистического имитатора торса (БИТ), содержащая горизонтально расположенную, заполненную жидкостью цилиндрическую емкость, с размещенной с фронтальной стороны эластичной мембраной, перемещающаяся в направлении удара ПЭ или ВУВ, с опорой в горизонтальной плоскости, проходящей через ось симметрии емкости, имеющую фиксированные массу емкости и площадь мембраны, соответствующие антропометрическим массе торса и площади торса человека во фронтальной плоскости; датчика давления и датчика ускорения, расположенные с центром каждого датчика на оси симметрии цилиндрической емкости, первый датчик давления по центру цилиндрической емкости, второй датчик ускорения (акселерометр) снаружи тыльной поверхности цилиндрической емкости (рис. 1).

Устройство состоит из горизонтально расположенной цилиндрической емкости 1, заполненной жидкостью 4, с размещенной с фронтальной стороны эластичной мембраной 2, перемещающаяся в направлении удара ПЭ или ВУВ с по-

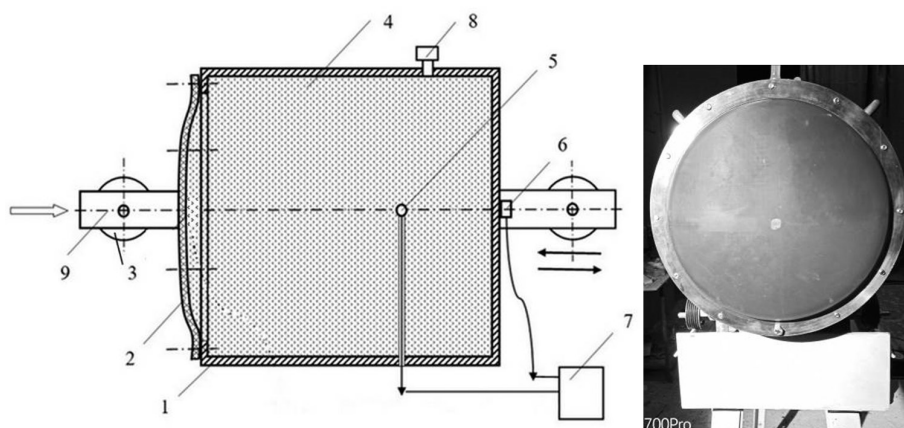


Рис. 1. Баллистический имитатор торса: 1 — цилиндрическая емкость; 2 — мембрана (полиуретановая); 3 — колесо; 4 — жидкость; 5 — датчик давления; 6 — датчик ускорения; 7 — усилитель блока измерительно-регистрирующего тракта; 8 — штуцер с перепускным клапаном; 9 — планка с роликами для перемещения имитатора

мощью двух планок с роликами 9, опирающихся на станину (не показана), расположенными по бокам емкости вдоль её оси симметрии, двух датчиков ускорения и одного давления, расположенных на оси симметрии цилиндрической емкости, колеса 3, датчик давления 5 по центру цилиндрической емкости, датчик ускорения 6 снаружи тыльной поверхности цилиндрической емкости. Датчики через усилитель 7 подключены к измерительно-регистрирующему тракту (ИРТ). Регулирование наполнения емкости жидкостью осуществляется штуцером с перепускным клапаном 8.

Дополнительно к БИТ испытательный стенд должен содержать ИРТ, компьютер и программное обеспечение, например, «PowerGraph 3.3 Professional».

Для оценки ударостойкости бронезилета при условии его непробития поражающим элементом боеприпаса (кондиционном воздействии), ударах падающего груза (вторичных осколков) и воздействии воздушной ударной волны можно воспользоваться способом оценки травмобезопасности бронешлема при взрыве боеприпаса, изложенным в работе [11]. Для этого, после изготовления и сборки БИТ, его тарируют нормированными по величине кинетической энергии ударами ПЭ, например, стальным шаром, имитируя удар запреградного выступа по объекту защиты. Опираясь на аналогичные воздействия на подопытных животных устанавливают соответствие того или иного воздействия

заданной степени тяжести ЗКТ, используя зарегистрированные показания датчиков ускорения и датчика внутриполостного давления, реализуя выше указанный способ оценки травмобезопасности, получают нормированные кривые перегрузки и внутриполостного давления, которые и используют для сравнения.

Определение ударостойкости бронезилета реализуют следующим образом. БИТ экипируют бронезилетом (или фрагментом бронезилета) заданного класса защиты [1], выбирают оружие и патрон, дистанцию выстрела и локализацию удара, выполняют кондиционные выстрелы [12]. На каждом выстреле регистрируют показания акселерометра и пьезоэлектрического датчика, например, как это показано на рис. 2. Далее реализуют способ оценки травмобезопасности, изложенный в работе [11], и рассчитывают кривые перегрузки и внутриполостного давления, которые и используют для сравнения с нормированными кривыми по заданной степени тяжести ЗКТ.

Кроме этого, можно выполнить сравнение кривых перегрузки и внутриполостного давления штатного бронезилета, травмобезопасность которого проверена в условиях боевой эксплуатации, с кривыми перегрузки и внутриполостного давления, полученными для перспективного бронезилета. Так, на рис. 3 представлено сравнение ударостойкости грудных секций БЖ, состоящих из пакета класса Бр1 (ткань типа ТСВМ 14 слоев + ВСМПЭ 14 слоев + противо-

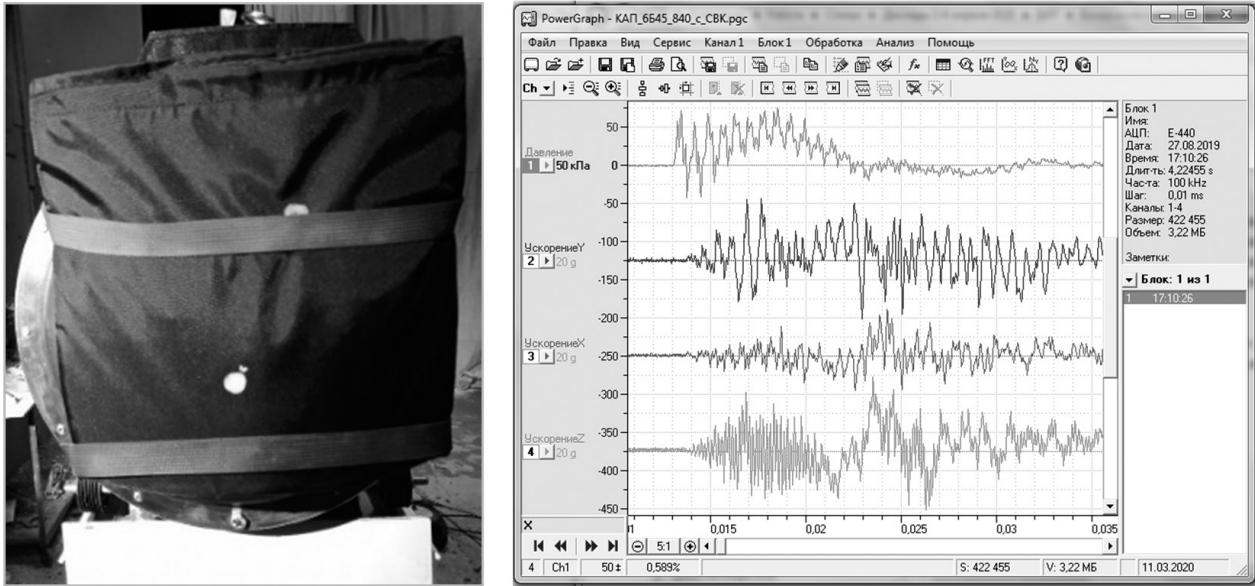


Рис. 2. Размещение грудной секции БЖ, состоящей из пакета класса Br1, керамической бронепанели и штатного КАП, на БИТ-3, фото слева. Регистрируемые сигналы датчика давления (1 канал) и 3-хосевого акселерометра (2, 3 и 4 канал), фото справа. Выстрел из 7,62-мм винтовки СВД, патрон с пулей ЛПС с дистанции 10 м

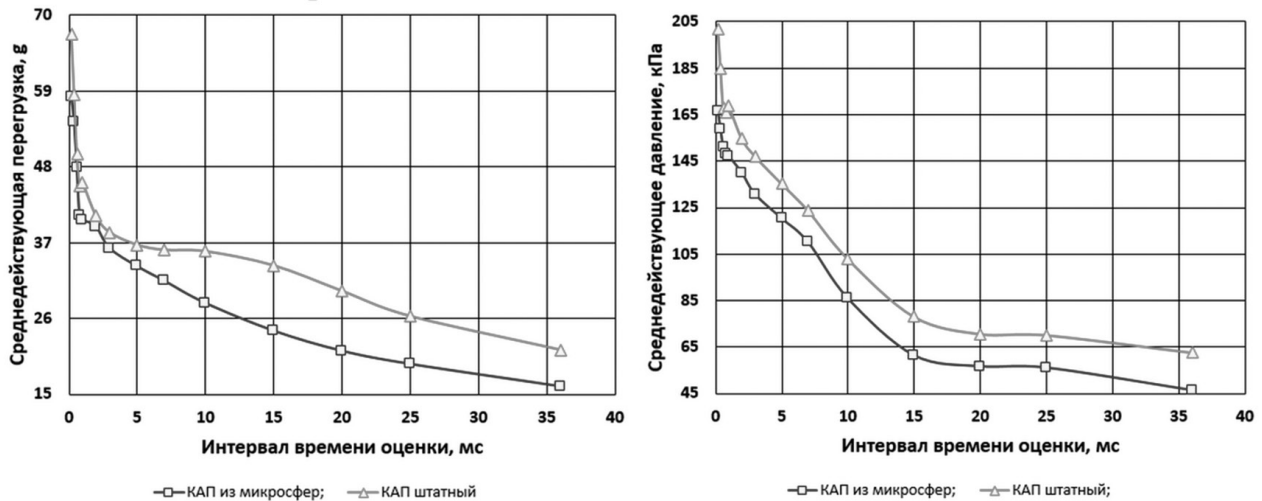


Рис. 3. Сравнение ударостойкости грудной секции БЖ для штатного и опытного КАП на БИТ-3 с использованием зависимостей среднедействующей перегрузки и среднедействующего давления от интервала времени оценки. Выстрел из 7,62-мм винтовки СВД патронами с пулей ЛПС

рикошетный чехол), керамического нагрудника и либо штатного КАП, либо из опытного КАП в очертаниях штатного, но наполненного полиэтиленовыми микросферами 461 DET 40 d25 компании Akzo Nobel с диаметром  $40 \times 10^{-6}$  м и плотностью  $25 \text{ кг/м}^3$ . Выстрелы были произведены из 7,62-мм винтовки СВД патронами с пулей ЛПС, скорость соударения  $840 \text{ м/с}$ .

Тарирование БИТ нормированной по величине пикового избыточного давления и продолжительности фазы сжатия воздушной ударной волны реализуют в ударной трубе, позволяющей по своим габаритным размерам размещение торса на участке движения плоской УВ (волны Маха). Для установления связи параметров ВУВ с вероятностью летального исхода или выжива-

ния объекта защиты, а, следовательно, и нормированных кривых перегрузки и внутриволостного давления, можно использовать известные модифицированные кривые Боуэна [8, 9].

Таким образом, представленная оригинальная модель баллистического имитатора торса обеспечивает единство количественной оценки параметров процесса формирования забронированного повреждения объекта защиты при непробитии бронезиловыми различными высокоскоростными поражающими элементами, ударах вторичных осколков и воздействии воздушной ударной волны взрыва боеприпаса. В перспективе это позволит делать адекватные выводы о защитной эффективности БО от широкого спектра ударного воздействия без применения методик, требующих использования сложного дорогостоящего оборудования и экспериментальных животных.

### Литература

1. ГОСТ 34286-2017 Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. МГС. — М.: Стандартинформ, 2018. 11 с.

2. Testing of Body Armor Materials: Phase III. The National Academies Press 500 Fifth Street, NW Keck 360 Washington, DC 20001. Режим доступа: <https://www.nap.edu/read/13390/chapter/1> (дата обращения 20.11.2019).

3. Патент на полезную модель RU 191733U1. Баллистический имитатор торса для определения защитных свойств бронезилов / Жуков И.Е., Котосов А.А., Миляев А.В. и др. — заявл. 19.02.2019; опубл. 19.08.2019. Бюл. № 23. 8 с.

4. Патент RU 2397468. Стенд для определения защитных свойств бронезилов / П.В. Трофимов, В.И. Мельников, В.В. Дворников, Т.С. Романова, С.М. Логаткин, Е.П. Тырнов, — заявл. 25.09.2008; опубл. 27.03.2010. Бюл. № 23. 6 с.

5. Патент на полезную модель RU 82308 U1. Стенд для определения защитных свойств бронезилов / П.В. Трофимов, Т.С. Романова, С.М. Логаткин, Е.П. Тырнов и др. — заявл. 25.09.2008; опубл. 20.04.2009.

6. Патент RU 2254544. Способ определения защитных свойств средств индивидуальной защиты / П.В. Трофимов, В.А. Знахурко, Т.С. Романова, В.Г. Михеев, С.М. Логаткин, Е.П. Ты-

рнов. — заявл. 25.03.2003; опубл. 20.06.2005. Бюл. № 17. 9 с.

7. Оценка параметров выступа при непробитии бронепанели поражающим элементом с помощью однокамерной высокоскоростной видео регистрации / И.Е. Жуков, А.А. Котосов, А.В. Миляев, С.Г. Цуриков и др. // Новейшие тенденции в области разработки бронезащитных и конструкционных композитных материалов. Труды XVI всероссийской научно-практической конференции РАРАН (с 23 по 27 сентября 2019 г.) — Ялта, Республика Крым. 2019. С. 111–112.

8. Механизмы и критерии травмы дыхательной системы / А.В. Денисов, И.Е. Жуков, А.А. Котосов, А.В. Миляев // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2015. № 11–12 (89–90). С. 53–58.

9. Подход к оценке вероятности травмы ударной волной взрыва / И.Е. Жуков, А.А. Котосов, А.В. Миляев // Комплексная безопасность и физическая защита. Труды XIV Международной НПрК РАН и РАРАН (1–3 октября 2018 г.) том 2. Теоретические проблемы обеспечения безопасности. — СПб.: СПб УГПС МЧС России. 2018. С. 90–99.

10. Hakan Axelsson, John T. Yelverton. Chest Wall Velocity Predictor of Nonauditory Blast Injury in a Complex Wave Environment. The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care. 40(3S):31S-37S, MARCH 1996. [https://journals.lww.com/jtrauma/Abstract/1996/03001/Chest\\_Wall\\_Velocity\\_as\\_a\\_Predictor\\_of\\_Nonauditory.6.aspx](https://journals.lww.com/jtrauma/Abstract/1996/03001/Chest_Wall_Velocity_as_a_Predictor_of_Nonauditory.6.aspx) (дата обращения 21.11.2019).

11. Патент RU 2644901 C1. Способ определения травмобезопасности бронешлема при взрыве боеприпаса / И.Е. Жуков, А.А. Котосов, А.В. Миляев и др. — заявл. 11.01.2017, опубл. 14.02.2018.

12. ГОСТ Р 55623-2013 Бронеодежда. Методы испытаний. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.

### References

1. GOST 34286-2017 Armoured garment. Classification and general technical requirements. MGS. — М.: Standartinform, 2018. 11 p.

2. Testing of Body Armor Materials: Phase III. The National Academies Press 500 Fifth Street, NW Keck 360 Washington, DC 20001. Access mode: <https://www.nap.edu/read/13390/chapter/1> (date of the address 20.11.2019).
3. Patent for the useful model RU 191733U1. The ballistic simulator of a torso for determination of protective properties bullet-proof vest / I.E. Zhukov, A.A. Kotosov, A.V. Milyaev, etc. — *zayavl.* 19.02.2019; *publ.* 19.08.2019. *Bulletin* № 23. 8 p.
4. RU 2397468 patent. The stand for determination of protective properties of a bullet-proof vest / P.V. Trofimov, V.I. Melnikov, V.V. Dvornikov, T.S. Romanova, S.M. Logatkin, E.P. Tyrnov, — *zayavl.* 25.09.2008; *published* 27.03.2010. *Bulletin* № 23. 6 p.
5. Patent for the useful model RU 82308 U1. The stand for determination of protective properties of a bullet-proof vest / P.V. Trofimov, T.S. Romanova, S.M. Logatkin, E.P. Tyrnov, etc. — *zayavl.* 25.09.2008; *published* 20.04.2009.
6. RU 2254544 patent. Way of determination of protective properties of individual protection equipment. / P.V. Trofimov, V.A. Znakhurko, T.S. Romanova, V.G. Mikheyev, S.M. Logatkin, E.P. Tyrnov. — *zayavl.* 25.03.2003; *published* 20.06.2005. *Bulletin* № 17. 9 p.
7. Assessment of parameters of a ledge in the absence of armor perforation by the striking element by means of single-chamber high-speed video of registration / I.E. Zhukov, A.A. Kotosov, A.V. Milyaev, S.G. Tsurikov, etc. // *The Latest trends in the field of development of armor and structural composite materials. Works XVI of the All-Russian academic and research conference RARAN (from September 23 to September 27, 2019) — Yalta, Republic of Crimea, 2019. P. 111–112.*
8. Mechanisms and criteria of a trauma of a respiratory system / A.V. Denisov, I.E. Zhukov, A.A. Kotosov, A.V. Milyaev // *Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2015. № 11–12 (89–90). P. 53–58.*
9. Approach to trauma probability assessment by a shock wave of explosion / I.E. Zhukov, A.A. Kotosov, A.V. Milyaev // *Complex safety and physical protection. Works XIV of the International NPrK RAN and RARAN (on October 1–3, 2018) volume 2. Theoretical problems of safety. — SPb.: SPb UGPS Emercom of Russia, 2018. P. 90–99.*
10. Hakan Axelsson, John T. Yelverton. Chest Wall Velocity Predictor of No auditory Blast Injury in a Complex Wave Environment. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care.* 40 (3S): 31S-37S, MARCH 1996. [https://journals.lww.com/jtrauma/Abstract/1996/03001/Chest\\_Wall\\_Velocity\\_as\\_a\\_Predictor\\_of\\_Nonauditory.6.aspx](https://journals.lww.com/jtrauma/Abstract/1996/03001/Chest_Wall_Velocity_as_a_Predictor_of_Nonauditory.6.aspx) (date of the address 21.11.2019).
11. Patent RU 2644901 C1. A method for determining the injury safety of an armored helmet during an explosion of ammunition / I.E. Zhukov, A.A. Kotosov, A.V. Milyaev, etc. — *application.* 11.01.2017, *publ.* 02/14/2018.
12. GOST P 55623-2013 Armoured garment. Test methods. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. — M.: Standartinform, 2014. 12 p.