УДК: 623.445.1 DOI: 10.53816/20753608_2022_2_130

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ЗАКРЫТОЙ КОНТУЗИОННОЙ ТРАВМЫ В СИСТЕМЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ ВОЕННОСЛУЖАЩЕГО

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF REDUCING CLOSED CONTUSION INJURY IN THE SYSTEM OF INDIVIDUAL ARMOR PROTECTION OF A SERVICEMAN

Е.В. Коробова, чл.-корр. РАРАН В.А. Анискович

АО «ЦНИИСМ»

E.V. Korobova, V.A. Aniskovich

В статье рассмотрены методы изучения заброневой контузионной травмы, методы испытаний средств индивидуальной бронезащиты, образование запреградного выступа в случае непробития броневой структуры. Цель работы — проанализировать все открытые источники по созданию амортизирующего подпора, который снижает запреградное воздействие на тело человека.

Ключевые слова: заброневая контузионная травма, средства индивидуальной бронезащиты, запреградный выступ, амортизирующий подпор.

The article discusses methods for studying behind-armor contusion injury, test methods for personal armor protection, the formation of a protrusion in case of non-penetration of the armor structure. The purpose of the work is to analyze all open sources for the creation of a shock-absorbing support, which reduces the barrier effect on the human body.

Keywords: armored contusion injury, personal armor protection means, barrier protrusion, shock-absorbing support.

Опыт ведения боевых действий показывает, что в локальных войнах и вооруженных конфликтах для выполнения поставленных задач особую значимость приобретают вопросы оснащения бойца качественным вооружением и средствами индивидуальной бронезащиты. В современных боевых операциях против открытой живой силы применяется широкий спектр поражающих факторов.

На первый план выдвигаются повышенные требования к защите живой силы от поражения осколками различных боеприпасов и пулями стрелкового оружия (СО). СО и в будущем будет находиться на вооружении всех армий мира. По простоте устройства, надёжности действия,

эффективности стрельбы в настоящее время ему альтернативы нет.

В локальных конфликтах последних десятилетий вероятность ранений высокоскоростными пулями увеличилась, поэтому возрастает потребность в бронежилетах с более высоким классом защиты [1].

Индивидуальная защита от современного стрелкового оружия достаточно эффективно задерживает поражающие элементы, но остаточная энергия пули или её осколков зачастую может вызвать тяжелые поражения внутренних органов (отрывы почек, разрушение печени и т.д.), запреградную (заброневую контузионную) травму и даже летальный исход. Поэтому главной

задачей в системе бронезащиты человека после обеспечения непробития защитной структуры является обеспечение снижения заброневой контузионной травмы (ЗКТ) до безопасного (приемлемого) уровня.

Все используемые в настоящее время методы изучения заброневой контузионной травмы можно разделить на три большие группы. В первой группе в качестве объектов исследования используются небиологические макеты мягких тканей человека из тканеэквивалентных материалов, макеты-имитаторы фрагментов тела человека, например головы или грудной клетки, антропоморфные манекены.

Во второй группе баллистическому воздействию подвергаются биологические объекты (различного вида подопытные животные после обезболивания, костно-мышечные препараты и др.). Свиньи массой 80–85 кг имеют большое сходство с организмом взрослого человека. Многочисленные эксперименты позволили описать морфологические проявления закрытой локальной контузионной травмы, которые оказались чрезвычайно многообразными: от ссадин кожи до разрывов внутренних органов. Было выявлено отсутствие корреляции между тяжестью поражения кожи и внутренних органов.

Третья группа методов основана на непосредственном изучении заброневых тупых контузионных травм у раненых бойцов во время их лечения. В современной военно-полевой хирургии (ВПХ) тяжесть травмы является комплексным понятием, которое включает в себя морфологический компонент — тяжесть повреждений (ранений) и функциональный компонент тяжесть состояния. На практике данные параметры вычисляются при помощи шкал объективной оценки тяжести травмы: ВПХ-П (ОР), ВПХ-П (МТ), ВПХ-СП, ВПХ-СГ, где Π — повреждение, ОР — огнестрельное ранение, МТ механическая травма, СП — состояние при поступлении в лечебное учреждение, СГ — состояние госпитальное.

Оценка тяжести повреждений (ВПХ-П (ОР), ВПХ-П (МТ)) осуществляется путём присвоения конкретному повреждению балла тяжести. При сочетанных и множественных повреждениях (ранениях) определяется тяжесть каждого повреждения с последующим суммированием баллов.

Применительно к боевой огнестрельной патологии при наличии системы индивидуальной бронезащиты в настоящее время отсутствуют системы оценки тяжести повреждений, имеющие клиническую направленность. Вопрос о воздействии компонентов бронепанелей на ткани организма человека пока ещё не исследован, хотя это необходимо учитывать при проведении первичной хирургической обработки огнестрельных ранений через бронежилет (БЖ) [2].

По очевидным причинам наибольшее распространение среди разработчиков и производителей бронежилетов получили методы испытания с использованием небиологических макетов мягких тканей человека. Чаще всего в качестве макетов этих тканей используются либо пластичные материалы, такие как пластилин, глина, мастика, либо водные — 10...20 %-ные гели из желатина или вязкие жидкости типа жидкого мыла, плотность которых близка к плотности мягких тканей. Большинство недостатков этого метода связано с тем, что с помощью макетов невозможно воспроизвести все свойства мягких тканей человека, влияющие на тяжесть заброневой травмы [3].

Во многих работах по изучению механизма заброневой тупой травмы предпринимались попытки создания различных технических устройств, основанных на установлении взаимосвязи между характеристиками деформации имитаторов мягких тканей человека и максимальной амплитудой пиков давления, образующихся в материале имитатора при непробитии бронежилета. Несмотря на предпринимаемые усилия по созданию таких достаточно сложных моделей, вопрос обоснования и выбора значимых измеряемых параметров для оценки заброневого удара остаётся нерешенным.

Одним из возможных путей решения проблемы является поиск величины критерия повреждения, основанной на глубоком понимании физики процессов, происходящих при формировании ЗКТ. Решение этой задачи требует проведения большого объёма экспериментальных исследований с применением реальных стрельб, что является весьма дорогостоящим и проблематичным мероприятием в плане организации работ [4].

Методы, изложенные в стандартах организации ГУ НПО «СТиС» МВД России

СТО 002-2006 [5] и СТО 018-2010 [6], используют при проведении испытаний средств индивидуальной бронезащиты (СИБ), их деталей и частей, бронематериалов (в том числе периодических, приёмочных, приёмо-сдаточных, типовых, сертификационных и др.). Испытания проводят при температуре окружающей среды (20±5) °С, относительной влажности (55±30) % (испытания на открытых полигонах проводят при температуре окружающей среды не менее минус 5 °С и не более 35 °С).

СИБ и бронематериалы должны обеспечивать сохранение стойкости к воздействию средств поражения при заданных в нормативной документации (НД) на конкретное изделие условиях.

Для определения запреградного воздействия и характера поражения СИБ, его деталей и частей используют специальный мастичный блок размером 450×400×200 мм, на котором жестко закрепляют испытуемый образец. Короб мастичного блока должен быть выполнен из прочного дерева или металла размером 450×400×130 мм, заполненный скульптурным пластилином по всей площади без каких-либо пустот.

Мастичный блок должен быть заполнен пластилином, пластичность которого определяется глубиной отпечатка, образовавшегося при сбрасывании стального груза с высоты (0.5 ± 0.01) м и массой (4.1 ± 0.02) кг на лицевую поверхность блока. Груз должен иметь форму сферы диаметром 100 мм. Пластичность пласти-

лина на блоке обеспечивается за счет нагревания его в климатической камере. Среднее значение глубины отпечатка из пяти воздействий должно быть (10 ± 2) мм. Замеры глубины отпечатка производят измерительными приборами, обеспечивающими точность измерения не более 1 мм.

После тестирования мастичного блока проводят испытания (стрельбы). Образец СИБ считают выдержавшим испытание, если отсутствуют: сквозное пробитие образца пулями и её фрагментами; следы пробития в мастичном блоке от вторичных поражающих элементов броневых пластин СИБ; глубина вмятины в мастичном блоке не более 16 мм.

Образец считают не выдержавшим испытание, если получено сквозное пробитие образца вторичными поражающими элементами или если глубина вмятины в мастичном блоке превышает 16 мм, при непробитии испытуемого образца.

Другой метод по измерению ЗКТ основан на расшифровке рентгенограммы образования запреградного выступа в желатиновом блоке, по глубине и площади которого делают заключение о безопасности травмы.

На рис. 1 показаны кадры высокоскоростной съёмки (выстрел в керамокомпозитную броневую панель), а на рис. 2 — рентгенограмма формирования временной полости (запреградного выступа) в желатиновом блоке (ЖБ) с этой же панелью [7].

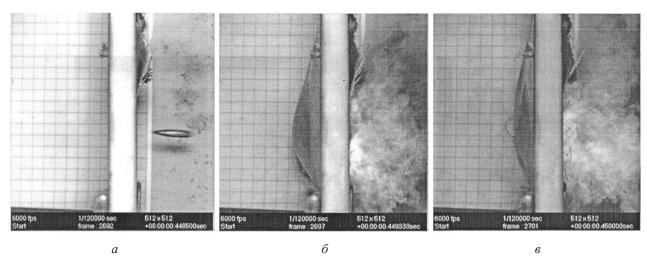


Рис. 1. Кадры высокоскоростной съёмки взаимодействия бронебойно-зажигательной пули Б-32 калибра 7,62 мм с керамокомпозитной броневой панелью: а — пуля на подлёте к бронепанели (485 мкс); б — развитие максимального запреградного выступа, H = 18 мм (493 мкс); в — спад запреградного выступа (500 мкс)

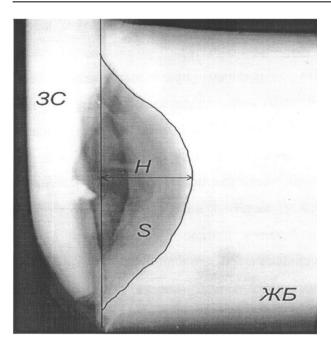


Рис. 2. Импульсная рентгенограмма образования запреградного выступа в желатиновом блоке за бронепанелью (3С — защитная структура БЖ; ЖБ — желатиновый блок; Н — глубина; S — площадь)

Образование запреградного выступа, показанного на рис. 1 и 2, приводит к различной степени тяжести контузионной травмы.

В Российской федерации (РФ) определено 4 степени запреградных травм:

1-я — это потеря боеспособности на несколько секунд после поражения без обязательного лечения (ссадины, кровоподтеки и ограниченные подкожные гематомы, единичные очаговые субплевральные кровоизлияния);

2-я — на несколько минут с обязательным медицинским обследованием после поражения (ушибленные раны, очаговые внутримышечные кровоизлияния, единичные кровоизлияния в брыжейку кишечника);

3-я — вывод из строя с лечением в стационаре (закрытые и открытые переломы ребер, разрывы плевры, кровоизлияния в ткань легких, кровоизлияния под оболочки сердца, под капсулу внутренних органов брюшной полости и забрюшинного пространства, субсерозные кровоизлияния в кишечнике, разрывы брыжейки, ограниченный пневмоторакс, гемоперитониум, переломы отростков позвонков без повреждения спинного мозга); 4-я — вывод бойца из строя с высокой вероятностью инвалидности и летального исхода (разрывы и размозжение внутренних органов, массивные обширные кровоизлияния в вещество внутренних органов, закрытая травма позвоночника с повреждением спинного мозга, повреждение крупного кровеносного сосуда).

При сертификации бронежилета, с условием непробития, допускается травма не выше 2-й степени [8].

Для снижения запреградной травмы, как необходимый структурный элемент керамокомпозитного броневого пакета, применяется амортизирующий подпор (АП), имеющий каналы вентиляции заброневого пространства для повышения комфортности использования бронежилета в жарком климате.

На рис. 3 представлена схема бронежилета, где h_b — толщина композитной тыльной панели, h_p — общая толщина амортизирующего слоя (протектора), h_{pr} и h_{ps} — соответственно толщины жесткого и мягкого слоя.

Жесткий слой представлен в виде пакета слоев высокопрочной арамидной ткани общей толщиной до 5 мм. Он предназначен для задержания разрушенной керамики и фрагментов поражающего элемента, если броневой пакет будет пробит.

Мягкий слой, как правило, изготавливается из пенистых полимерных материалов, таких как пенополиэтилен, пенополипропилен, поликарбонат, пенополиуретан, полистирол, пеносевилен, модуль упругости которых при поперечном

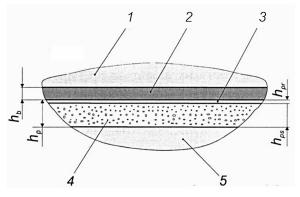


Рис. 3. Схема керамико-композитного броневого пакета с амортизирующим слоем:
1 — керамика; 2 — композитная тыльная панель;
3 — жесткий амортизирующий слой; 4 — мягкий амортизирующий слой; 5 — запреградная среда (тело человека)

сжатии существенно, в 500-800 раз меньше, чем соответствующая характеристика жесткого слоя [9].

Максимально допустимое перемещение подложки (запреградный выступ) при воздействии пули на защищаемое тело — не более 22 мм [10]. Для надежной защиты тела от прогнувшейся пластины толщина АП должна быть не менее 30 мм [11]. При попадании пули в край пластины запреградная травма значительно больше. В частности, при попадании пули ПМ на расстояние 10 см от края бронежилета степень травмы 1-2, а на расстоянии 5 см — уже 2-4 степени, что превышает допустимые параметры. Поэтому следует стремиться к максимально возможному усилению на краях бронежилета амортизирующего подпора без увеличения массы.

Современные открытые источники по системе индивидуальной бронезащиты не дают ответов на следующие вопросы:

- 1. Какие должны быть структура и состав АП для бронежилетов различных классов защиты?
- 2. Какими физико-механическими характеристиками должны обладать материалы для изготовления АП?
- 3. Какова связь данных, полученных на основе методик с испытаниями БЖ на контузионную травму, с физико-механическими характеристиками материалов АП?
- 4. Существуют ли математические модели расчета характеристик АП, снижающего запреградное воздействие бронежилета на защищаемое тело до приемлемого (безопасного) уровня.

В открытых монографиях и статьях по индивидуальной бронезащите описываются различные структуры бронежилета, заброневое действие высокоскоростного удара пуль при непробитии бронезащиты, методы изучения контузионной травмы, но структура и состав АП рассматривается поверхностно.

В работе Ермоленко А.Ф. описывается математическая модель взаимодействия поражающего элемента с полимер-керамической броневой панелью [12]:

- уравнение движения тыльной панели:

$$\alpha m_h \ddot{w}_{h0} + F_{hr} + F_{he} - P = 0$$
,

где $\alpha = 1/3$ — для принятой формы прогиба тыльной панели;

 m_h — масса тыльной панели, вовлеченная в движение;

 w_{b0} — прогиб тыльной панели. Начальные условия: $w_{b0}(0) = 0$, $\dot{w}_{b0}(0) = 0$; уравнение движения сердечника:

$$m\ddot{w} + F = 0$$
,

где m — масса сердечника;

w — максимальное перемещение сердечника; Начальные условия: w(0) = 0, $\dot{w}(0) = v_0$;

- уравнение движения отделившейся и вовлечённой в движение керамики:

$$\left(m_c + m_0\right) \ddot{w}_c + F_c = 0,$$

где m_c — масса отделившейся от броневой керамической панели и вовлечённой в движение керамики;

 m_0 — масса мягких элементов пули; w_c — максимальное перемещение отделившейся керамики.

Начальные условия:

$$w_c(0) = 0, \ \dot{w}_c(0) = \frac{v_0}{1 + m_c / m_0},$$

где v_0 — начальная скорость сердечника.

Задача о проникании сердечника в полимер-керамическую броню сводится к системе трёх обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений с начальными условиями (задача Коши) относительно перемещений сердечника, раздробленной керамики и тыльной панели.

Расчёты в программе Matlab, разработанные на основе математической модели, показали хорошую сходимость с экспериментальными опытами. Однако вопрос контузионной травмы до конца проработан не был.

На рис. 4 показана зависимость прогиба (w_{b0}) тыльной панели от времени (t), полученная расчётным путём по данной математической модели.

На рис. 4 видно, что максимальный прогиб ~ 18 мм получается на 400 мкс с начала воздействия поражающего элемента на бронепанель. Именно эта быстротечность ударного процесса и вызывает ЗКТ, снизить или нейтрализовать которую призван АП. И если проектирование керамокомпозитной брони на сегодняшний день

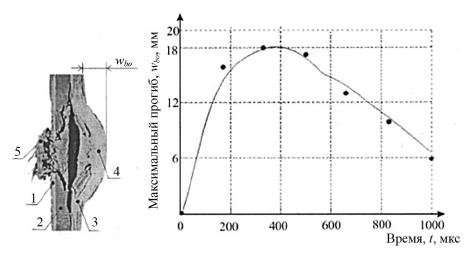


Рис. 4. Зависимость прогиба (w_{b0}) тыльной панели от времени (t). 1 — фронтальный слой (органопластик); 2 — керамический экран; 3 — органопластиковая положка — тыльная панель; 4 — запреградный выступ; 5 — зона поражения

является вопросом решенным (расчёты по математической модели, апробированные материалы, опыты десятилетий и т.д.), то вопрос создания АП остаётся открытым: нет четкого понимания какие материалы и с какими характеристиками должны применяться, отсутствуют расчётные модели состава и структуры подпора для соответствующих классов защиты, не представлена и не проанализирована база данных об опыте прошлых лет.

Именно исследования в этих направлениях будут являться основой для дальнейшей работы по созданию рациональной структуры АП для БЖ различных классов защиты. Будут испытаны различные материалы, построены диаграммы локального поперечного сжатия. Полученные зависимости между объёмной деформацией и давлением описываются уравнением Мурнагана:

$$p = \frac{K_e}{K_e'} \left[\left(1 - \varepsilon_V \right)^{-K_e'} - 1 \right],$$

где ε_V — объемная деформация; K_{ρ} — модуль упругости эластомера.

Экспериментальные диаграммы с удовлетворительной для дальнейших расчётов точностью могут быть аппроксимированы уравнением Мурнагана с соответствующим показателем (параметром) Мурнагана K'. А также будут проведены расчёты характеристик запреградного воздействия с учётом амортизи-

рующего слоя, и, самое главное, разработана математическая модель для расчёта рационального состава AП.

Выводы

Амортизирующий подпор в системе индивидуальной бронезащиты выполняет важную роль — обеспечивает снижение ЗКТ в случае непробития броневой структуры до приемлемого (безопасного) уровня для человека.

Вопросы проектирования АП в системе бронезащиты не проработаны в достаточной степени. Разработка АП в каждом конкретном случае производится по остаточному принципу после проектирования защитной бронепанели путем многочисленной подборки различных материалов и комбинаций на их основе, и проведения огнестрельных испытаний. То есть отсутствуют инженерные методики расчёта рациональной структуры АП для различных классов защиты. Кроме того, отсутствуют требования (рекомендации) к материалам и конструкциям на их основе, пригодным для изготовления АП соответствующего класса защиты.

Инженеру-разработчику системы индивидуальной защиты на этапе проектирования новых образцов необходим математический аппарат, который позволит на основе требуемого класса защиты БЖ рассчитать конструкцию АП, обеспечивающую снижение ЗКТ до приемлемого (безопасного) уровня для человека.

Литература

- 1. Анискович В.А., Маркелов Е.Б. Комбинированная броня на основе керамико-композитных материалов: монография / под ред. Е.Ф. Харченко. М.: «Граница», 2018. С. 14–17.
- 2. Сохранов М.Ю. Диссертация: Структура и тяжесть огнестрельных ранений груди и живота в аспекте моделирования средств индивидуальной бронезащиты военнослужащих. 2006. 138 с.
- 3. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / В.Л. Григорян, И.Ф. Кобылкин, В.М. Маринин, Е.Н. Чистяков. Под ред. В.А. Григоряна. М.: Изд. РадиоСофт, 2008. 406 с.: ил. 123.
- 4. Денисов А.В., Жуков И.Е., Трофимов П.В., Миляев А.В., Демченко К.Н. Выбор критерия прогнозирования степени тяжести заброневой контузионной травмы при испытании бронежилетов // Сборник трудов XVI Всероссийской научно-практической конференции «Новейшие тенденции в области разработки бронезащитных и конструкционных композитных материалов». 2019. 265 с.
- 5. СТО 002-2006 Пулестойкость средств индивидуальной бронезащиты, их деталей и частей, бронематериалов. Методы и порядок проведения испытаний. Москва: ГУ НПО «Специальная техника и связь» МВД России, 2008. 19 с.
- 6. СТО 018-2010 Противоосколочная стойкость средств индивидуальной бронезащиты (их

- деталей и частей, бронематериалов). Методы и порядок проведения испытаний. Москва: ГУ НПО «СТиС» Мвд России, 2010. 19 с.
- 7. Денисов А.В., Крайнюков П.Е., Логаткин С.М., Юдин А.Б., Кокорин В.В., Альтов Д.А., Демченко К.Н. Огнестрельные ранения груди и живота при использовании бронежилетов. 2020 (https://journals.eco-vector.com/1682-7392/article/view/50056).
- 8. ГОСТ Р 50744-95 Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 12 с.
- 9. Ермоленко А.Ф. Расчёт характеристик запреградного воздействия керамико-композитной брони на защищаемое тело с учётом влияния амортизирующего слоя // Вопросы оборонной техники. Серия 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 2017. Вып. 4 (187). С. 3–15.
- 10. Концептуальные основы создания средств индивидуальной защиты. Часть І. Бронежилеты. Под общ. ред. В.Г. Михеева. М.: Межакадемическое изд. «Вооружение. Политика. Конверсия», 2003. 340 с.
- 11. Смирнов В.П. Средства индивидуальной бронезащиты (СИБЗ), 2010 (http://zhurnal.lib.ru/s/smirnow wasilij/brpnik.shtml).
- 12. Харченко Е.Ф., Ермоленко А.Ф. Композитные, текстильные и комбинированные бронематериалы. Том 1. Механизмы взаимодействия с баллистическими поражающими элементами. 2013. С. 108–137.