

УДК 623.561

БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ИМИТАТОР ГОЛОВЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ШЛЕМОВ

BALLISTIC SIMULATOR HEADS TO DETERMINE THE PROTECTIVE PROPERTIES OF HELMETS

И.Е. Жуков¹, А.В. Миляев¹, Д.Ю. Ковалёв², канд. техн. наук А.А. Котосов²

I.E. Zhukov, A.V. Milyaev, D.Yu. Kovalev, PhD A.A. Kotosov

¹*ЗАО «Специальная и медицинская техника»,*

²*Пензенский артиллерийский инженерный институт*

Цель данной работы заключается в создании конструкции баллистического имитатора головы для оценки жизнедеятельности и безопасности человека при использовании средств защиты головы (шлемов), причём практический интерес представляет определение параметров процесса формирования тупой черепно-мозговой травмы (повреждения) при непробитии (неразрушении) шлема различными высокоскоростными поражающими элементами для оценки возможных последствий полученного повреждения (травмы).

Ключевые слова: баллистический имитатор головы, испытания шлема, травма головы, поражающий элемент, датчик ускорения, датчик давления, критерии травмы головы.

The aim of this work is to describe the design of ballistic Simulator head (BSH) to assess the viability and safety of individuals using head protection (helmets), and a practical interest is the definition of process parameters of blunt brain trauma (injury), with no breakout (not destroy) the helmet various high-speed striking elements to assess the possible consequences of damage (injury).

Keywords: ballistic Simulator, the test head helmet, head injury, hitting element, acceleration sensor, pressure sensor, the head injury criteria.

Многочисленные экспериментальные данные [1] свидетельствуют, что нанесение тупой черепно-мозговой травмы (ЧМТ) различной тяжести возможно и без пробития защитного шлема, и, соответственно, без непосредственного контакта поражающего элемента (ПЭ) с объектом защиты (головой). Формирование тупой ЧМТ при этом происходит по причине динамического воздействия защитного шлема на объект защиты вследствие смещения как конструкции шлема в целом, так и его локального деформирования в области удара ПЭ, рис. 1, которые сопровождаются контактом и передачей части энергии на голову.

Известен стандарт NIJ Standard 0106.01 [2], который регламентирует методы испытаний для

войсковых шлемов с намерением защиты головы владельца от воздействия поражающих элементов боеприпасов. В соответствии с данным стандартом, при испытаниях на тупой удар, при непробитии ПЭ шлема, используется сплошной макет головы, выполненный из любого подходящего материала, например магниевого сплава К-1А, с размещённым внутри датчиком ускорения. Макет головы должен быть жестко закреплен на основании (рис. 2), которое может свободно перемещаться в направлении движения ПЭ. Общая масса модели головы и инструментальной сборки должна быть $5,0 \pm 0,5$ кг ($11 \pm 1,1$ фунта) и статическая сила, направленная параллельно движению ПЭ, необходимая для начала движения сборки, не может превышать 9 Н.

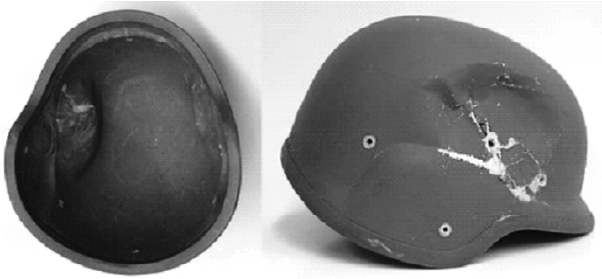


Рис. 1. Деформация шлема в области удара ПЭ

Регистрация ускорения позволяет рассчитать величину перегрузки и судить о её допустимой или недопустимой величине. Так по требованию выше названного стандарта величина пикового ускорения шлема не должна превышать 400 g.

Известен макет головы [3] для оценки динамического воздействия шлема, выполненный в соответствии с антропометрическими параметрами головы человека (см. ГОСТ 12.4.128-83), отличающийся тем, что он состоит из двух частей — жесткого основания и укрепленной на нем верхней съемной части, имеющей форму половины эллипсоида и выполненной из пластичного материала, имеющего заданную энергоемкость деформации единицы объема. Кроме того, в отличие от стандарта NIJ Standard 0106.01 в документе HPW-TP-0401.01B [4] представлен имитатор головы, который состоит из верхней части макета головы и нижней части — собственно муляжа, рис. 3.

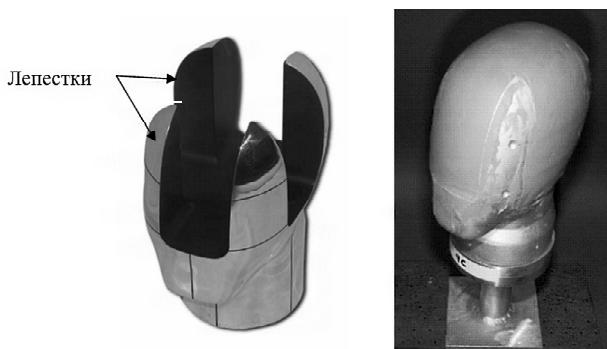


Рис. 3. Имитатор головы ATC (Aberdeen Test Center), не заполненный и заполненный пластилином «Roma Plastilina № 1» [4]

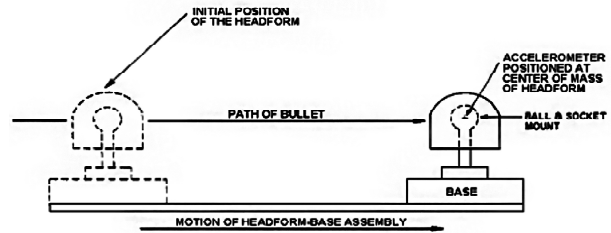


Рис. 2. Размещение макета головы и датчика ускорения [2]

Факт пробития или удара локально деформированного шлема по объекту защиты определяется по отпечатку в пластичном материале (баллистическом пластилине). Причём в документе [6] определено, что деформацию тыльной поверхности и отпечатка в пластилине следует измерять, используя лазерный сканер. Примером такой координатно-измерительной машины может служить продукция фирмы Фару (Faro Quantum Laser Scan Arm) с соответствующим программным обеспечением. Регистрация объёма отпечатка в пластилине позволяет выполнить сравнительную оценку ударостойкости двух и более шлемов.

Известны также биомеханические имитаторы головы человека БИГ-1 и БИГ-2, соответственно жёсткая и эластичная эллипсоидальная оболочка которых формируют полости, заполненные жидкостью, с установленными датчиками давления [5], рис. 4. Наличие датчика давления позволяет регистрировать изменение величины избыточ-

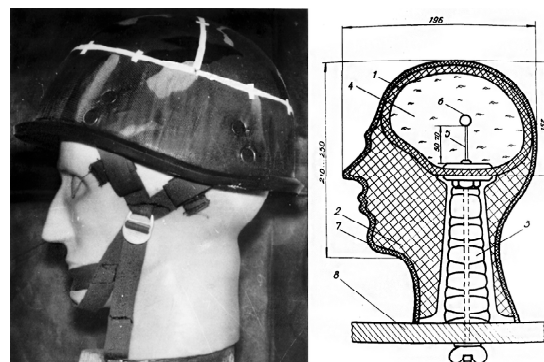


Рис. 4. Имитатор головы БИГ-1 [5]: 1 — оболочка эллипсоидальная; 2 — лицевая часть модели; 3 — имитатор ШОП; 4 — имитатор головного мозга; 5 — держатель датчика; 6 — датчик давления; 7 — маска головы; 8 — плита основания

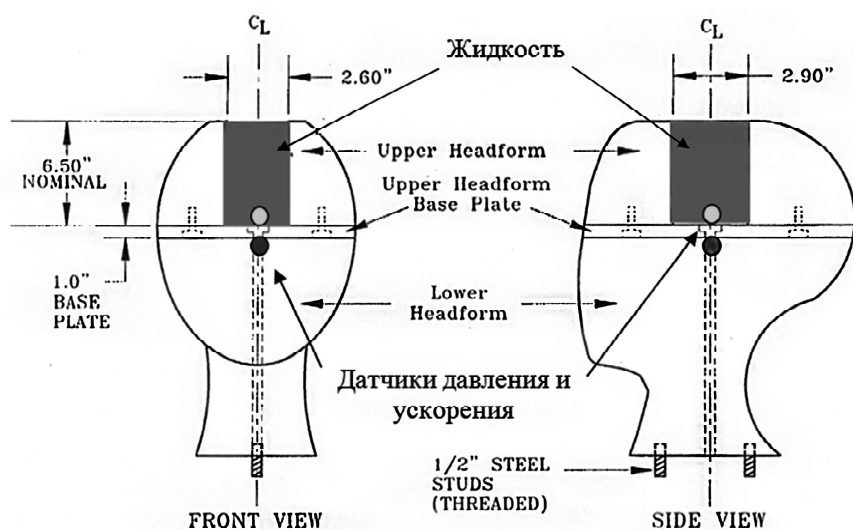


Рис. 5. Баллистический имитатор головы БИГ-3, на базе макета Н.Р. White

ного давления в реальном времени и рассчитывать такие величины как импульс давления и отношение импульса давления к его продолжительности, которые и используют для сравнительной оценки ударостойкости двух и более шлемов, при непробитии последних ПЭ боеприпаса.

Анализ представленных выше макетов и имитаторов головы показывает, во-первых, однообразный подход в геометрии модели имитатора и, во-вторых, в раздельном использовании двух типов датчиков: вибропреобразователя (акселерометра) и пьезоэлектрического датчика (датчика давления). Особенностью применения акселерометра является необходимость обеспечения его жёсткой связи с объектом защиты, особенностью использования пьезоэлектрического датчика является необходимость его размещения в жидкой (внутриполостной) среде.

Задачей, решаемой предлагаемой моделью головы, является реализация совместного применения в одном имитаторе акселерометра и пьезоэлектрического датчика, что существенно повышает информативность выполняемых баллистических испытаний шлемов, и позволяет определить параметры процесса формирования повреждения (тупой черепно-мозговой травмы) при непробитии высокоскоростными поражающими элементами шлема.

Сущность предложения поясняется эскизом, где показан общий вид баллистического имитатора головы, рис. 5. Выбираем типовой, по документу HPW-TP-0401.01B [4], имитатор головы

АТС (Aberdeen Test Center) и полость между алюминиевыми (дюралевыми) лепестками заполняем не пластилином, а жидкостью (водой). Для этого на верхнюю часть модели головы, по аналогии с моделью БИГ-2, надеваем каучуковую оболочку и фиксируем её на базовой пластине.

Верхние части, включая базовую пластину (base plate), сделаны из 6061-T6 алюминия или его эквивалента. Нижняя часть модели головы (lower head form), по сути, представляет собой муляж, который может быть изготовлен из пластизоли. При этом пьезоэлектрический датчик располагаем так же как и в модели БИГ-2 — у основания, т.е. над базовой пластиной, а акселерометр — под базовой пластиной [7].

Возможно увеличение числа датчиков ускорения до четырёх, и в этом случае их можно разместить непосредственно в каждом из четырёх алюминиевых лепестков, используя для этого отверстия для крепления последних к базовой пластине. Модель головы БИГ-4 (БИГ-3), для проведения испытаний ударостойкости шлемов, следует устанавливать на мини-сани (основание), как это показано на рис. 2, что соответствует требованиям стандарта NIJ Standard-0106.01. Либо использовать встраиваемый имитатор шейного отдела позвоночника, как это показано на рис. 6.

Следует отметить, что данное направление в создании имитатора головы было реализовано ЗАО «Специальная и медицинская техника» (г. Санкт-Петербург). При этом модель головы изготавливалась на 3D-принтере методом бы-

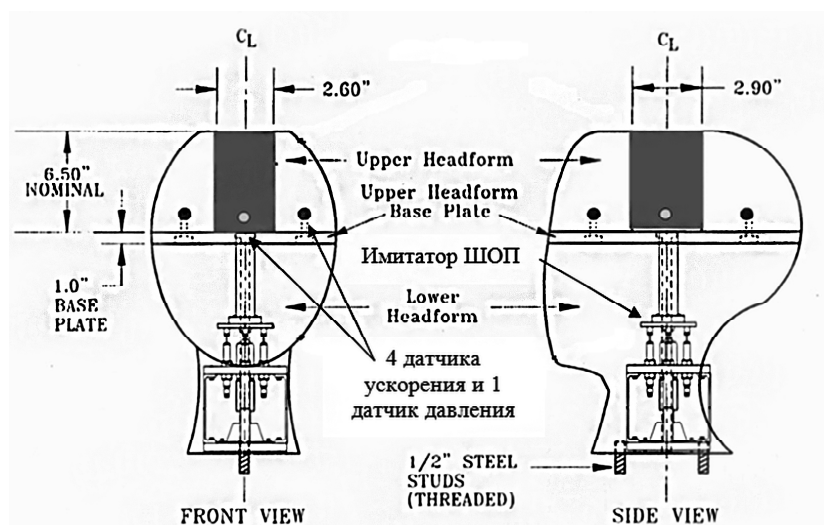


Рис. 6. Размещение датчиков в имитаторе головы БИГ-4, в том числе показан установленный имитатор шейного отдела позвоночника (ШОП)

строого прототипирования (Rapid Prototyping) из полиуретана. Внутри ёмкости имитатора (без лепестков) был размещён датчик давления PS 2001, а в основании базовой плиты трёхосевой акселерометр AP-79, выполненный в подводном исполнении, производства ООО «ГлобалТест». Для регистрации и анализа сигналов использовалось программное обеспечение «PowerGraph» [8].

Внешний вид данного имитатора головы в составе испытательного стенда показан на рис. 7. Пример полученных регистраций сигналов от трёхосевого акселерометра и пьезоэлектрического датчика давления показан на рис. 8.

Одновременная регистрация сигналов трёхосевого акселерометра и датчика давления на каждом воздействии по имитатору головы позволяет установить такие функции как изменение величин перегрузки и избыточного давления в реальном времени. Именно эти функции в дальнейшем используют для формирования массива данных с последующим расчётом нормированных кривых (реже ломаных) перегрузки и сжатия для каждой локализации воздействия. Причём для нормирования (тарирования) имитатора головы можно использовать не только удары копром, но и удары резиновыми пулями травматического оружия.

Для реализации этого направления «нормирования кривых» и расчёта критериев тупой черепно-мозговой травмы [9] независимо друг от друга были разработаны два пакета прикладного программного обеспечения (ПО): «Helmet» и «Сигнал». Так на рис. 9 показано сравнение кривых сжатия, расчи-

танных с использованием данных программ на основании проведённых тестов выстрелами из пистолета ИЖ79-9ТМ резиновыми пулями патронов 9-мм РА по имитатору головы (локализация — лоб).

Величина $Q_{t_2-t_1}^{\max}$ определялась по формуле

$$Q_{t_2-t_1}^{\max} = \max \left[\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} |p(t)| \cdot dt \right]$$

и представляла собой максимальную величину среднего давления для каждого интервала оценки ($t_2 - t_1$) по суммарной площади под регистрируемым датчиком сигналом абсолютной величины избыточного давления как положительного, так и отрицательного, отнесённой к величине интервала оценки.

Величина $P_{t_2-t_1}^{\max}$ определялась по формуле

$$P_{t_2-t_1}^{\max} = \max \left[\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt \right],$$

причём при расчёте величины импульса давления (интеграла) площадь под кривой сжимающего давления (положительного) суммируется с площадью под кривой растягивающего давления (отрицательного) и полученные значения относятся к величине интервала оценки ($t_2 - t_1$).

Величина $P_{t_2-t_1}^{\max}$, рассчитанная в ПО «Helmet» занимает, как это видно из рис. 9 промежуточное положение между величинами $Q_{t_2-t_1}^{\max}$ и $P_{t_2-t_1}^{\max}$, полученными при помощи ПО «Сигнал».

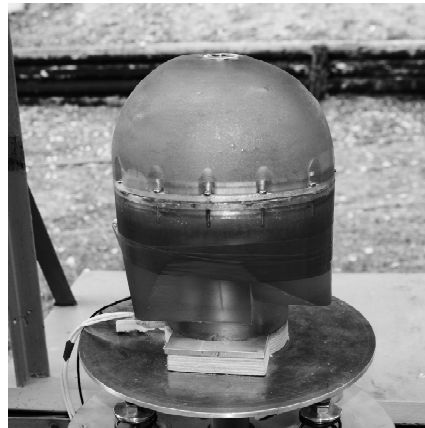


Рис. 7. Имитатор головы ЗАО «Специальная и медицинская техника» (г. Санкт-Петербург)

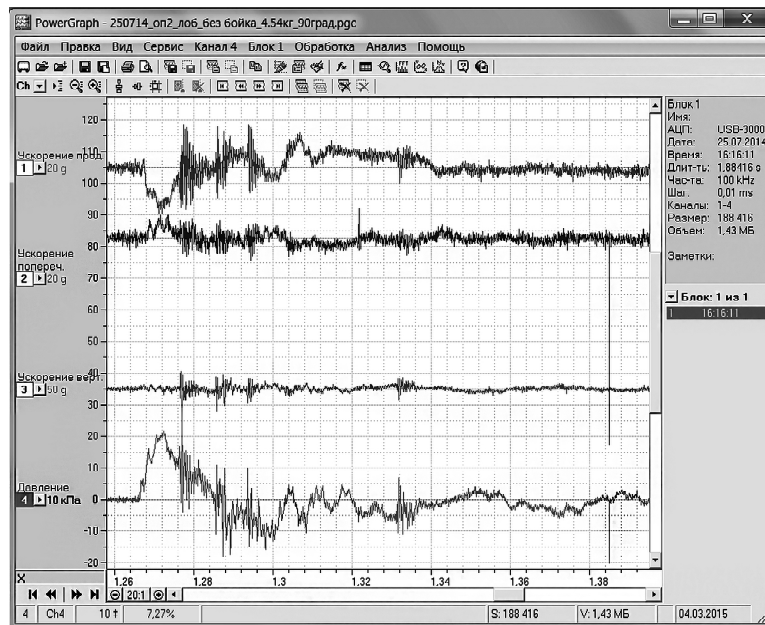


Рис. 8. Регистрация сигналов, верхние три канала — сигналы 3-х осевого акселерометра AP-79 и четвертый канал — сигнал датчика давления PS 2001. Удар падающего груза массой 4,54 кг по имитатору головы

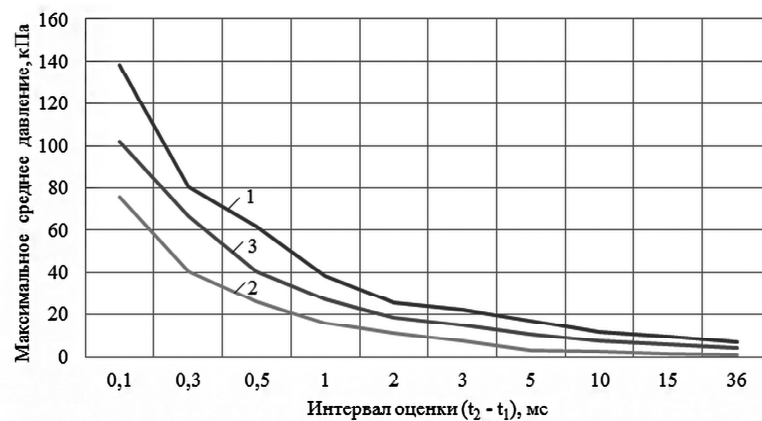


Рис. 9. Диаграмма результатов расчёта кривых сжатия: 1 — $Q_{t_2-t_1}^{\max}$, ПО «Сигнал»; 2 — $P_{t_2-t_1}^{\max}$, ПО «Сигнал»; 3 — $P_{t_2-t_1}^{\max}$, ПО «Helmet»

Таким образом, рассмотренный баллистический имитатор головы позволяет на одном испытании при непробитии (неразрушении) шлема различными поражающими элементами регистрировать одновременно такие параметры процесса формирования повреждения как ускорение (перегрузка) объекта защиты (головы) и величину избыточного внутриполостного давления в реальном времени [10, 11]. Это позволяет, с учётом разработанного прикладного программного обеспечения, рассчитывать критерии тупой черепно-мозговой травмы и прогнозировать тяжесть последней.

Литература

1. Котосов А.А., Логаткин С.М., Зигунов С.П. Критерии и методы оценки эффективности поражающих элементов боеприпасов при непробитии общевойскового шлема / под общ. ред. А.А. Котосова. — Пенза: ПАИИ, 2007. — 195 с.
2. Standard for Ballistic Helmets (NIJ Standard-0106.01), U.S. Department of Justice, National Institute of Justice, Washington D.C., December 1981.
3. Патент 2115957 Российская Федерация, МКИ6 G 09 В 23/30. Модель головы / Котосов А.А., Тюрин М.В. и др.; заявитель и патентообладатель они же. № 96124792/12; заявл. 31.12.96; опубл. 20.07.98. Бюл. №20. — 3 с.
4. HPW-TP-0401.01B (1995). Bullet resistant helmet. Test procedure.
5. Патент (полезная модель) 7537. Модель головы человека биомеханическая. МКИ6 G 09 В 23/30. А.В. Морозкин и др. (Россия), НИИСтали, заявл. 97110792 от 04.07.97, опубл. 16.08.98.
6. DOT&E. 2010. Memo on Standardization of Hard Body Armor Testing, 27 April 2010, Director, Operational Test and Evaluation.
7. Патент на полезную модель № 148811, Российская Федерация, МПК G 09 В 23/30 (2006.01). Баллистический имитатор головы для определения защитных свойств шлемов / Котосов А.А., Тюрин М.В. и др.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Военная академия тыла и транспорта им. А.В. Хрулёва». № 2014112401; заявл. 31.03.14; опубл. 20.12.14. Бюл. №35. — 3 с.
8. Программное обеспечение «PowerGraph»® Copyright © D. Izmailov, 2002–2012.
9. Разработка стенда для оценки контузионной травмы головы при непробитии общевойскового шлема / И.И. Грачёв, А.А. Котосов, Д.Ю. Ковалёв, М.В. Тюрин; под общ. ред. А.А. Котосова. — Пенза: ПАИИ, 2013. — 306 с.
10. Сильников М.В., Аносов Ю.М., Аносов М.Ю. Получение объемно-структурированных гетерогенных композиционных материалов. — СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2008. — 151 с.
11. Васильев Н.Н., Дмитриев В.Я., Пугачев А.Н., Спивак А.И. Методологические проблемы информационной неопределенности при разработке средств индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Вып. 11–12. 2014. — С. 11–16.