

УДК: 53.03: 53.043: 53.047

DOI: 10.53816/23061456_2022_5-6_76

**МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПОРАЖЕНИЯ ЖИВОЙ СИЛЫ
В СРЕДСТВАХ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ**

**MODEL FOR ASSESSING HUMAN DAMAGE
IN INDIVIDUAL ARMOR PROTECTION**

С.Н. Васильева^{1,2}, канд. мед. наук А.В. Денисов², канд. техн. наук И.В. Гук¹

S.N. Vasilieva, Ph.D. A.V. Denisov, Ph.D. I.V. Guk

¹АО «НПО Спецматериалов», ²Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова

В статье рассмотрена возможность моделирования процесса проникания ранящего снаряда в тело человека. Предложена оригинальная аналитическая модель, позволяющая оценивать эффективность образцов средств индивидуальной бронезащиты при условии защиты ими различных областей тела человека. Данная модель разработана с учетом толщины костей и мягких тканей и разделяет тело человека на голову и шею, туловище и конечности. Адекватность модели была оценена по известным экспериментальным данным, а также данным, полученным в результате проведения численного моделирования. Рассмотрен пример поражения осколочной гранатой выстрела ВОГ-30 живой силы в боевой экипировке военнослужащего «Ратник». Разработанная модель в перспективе может позволить проводить оценку эффективности поражающего действия осколочных боеприпасов по живой силе, находящейся в средствах индивидуальной бронезащиты.

Ключевые слова: поражающий элемент, проникновение, пробитие, военнослужащий, области тела человека, оценка поражения, аналитическая модель, бронезиловый жилет, бронешлем, средства индивидуальной бронезащиты.

The article considers the possibility of modeling the process of penetration of a wounding projectile into the human body. An original analytical model is proposed that allows evaluating the effectiveness of samples of personal protective equipment provided they protect various areas of the human body. This model is designed taking into account the thickness of bones and soft tissues, and divides the human body into head and neck, trunk and limbs. The adequacy of the model was evaluated based on known experimental data, as well as data obtained as a result of numerical modeling. An example of the defeat of a FGLR-30 grenade by a fragmentation grenade in the combat equipment of a soldier "Ratnik" is considered. In the future, the developed model may allow assessing the effectiveness of the damaging effect of fragmentation ammunition on the manpower contained in the means of individual armor protection.

Keywords: striking element, penetration, penetration, soldier, human body areas, assessment of damage, analytical model, bulletproof vest, bulletproof helmet, personal armor protection equipment.

Введение

Наблюдаемый во всех развитых странах мира процесс постоянного усовершенствования боеприпасов огнестрельного оружия с целью увеличения его поражающего воздействия на живую силу (ЖС) противника диктует необходимость разработки эффективных средств индивидуальной противопульной и противоосколочной защиты военнослужащих.

Для определения основных путей развития средств индивидуальной бронезащиты (СИБ) необходимо учитывать изменение структуры огнестрельных ранений в современных военных конфликтах. Такой анализ позволяет определить наиболее уязвимые области тела бойца, для уменьшения тяжести травм которых требуется

поиск соответствующих технических решений по усовершенствованию СИБ.

Проведенный анализ литературных источников [1–7] показал существенное изменение структуры огнестрельных ранений по механизму (рис. 1) и локализации (рис. 2) боевых повреждений в современных вооруженных конфликтах.

Представленные на рисунках данные свидетельствуют о том, что в последние десятилетия по механизму ранения на первое место выходят минно-взрывные и осколочные ранения, что связано с широким использованием противоборствующими сторонами осколочно-фугасных боеприпасов и минных заграждений. Ведущими локализациями повреждений являются конечности (до 60,8 %), голова (до 17,4 %) и живот (до 19,4 %), что, наряду с описанным, может

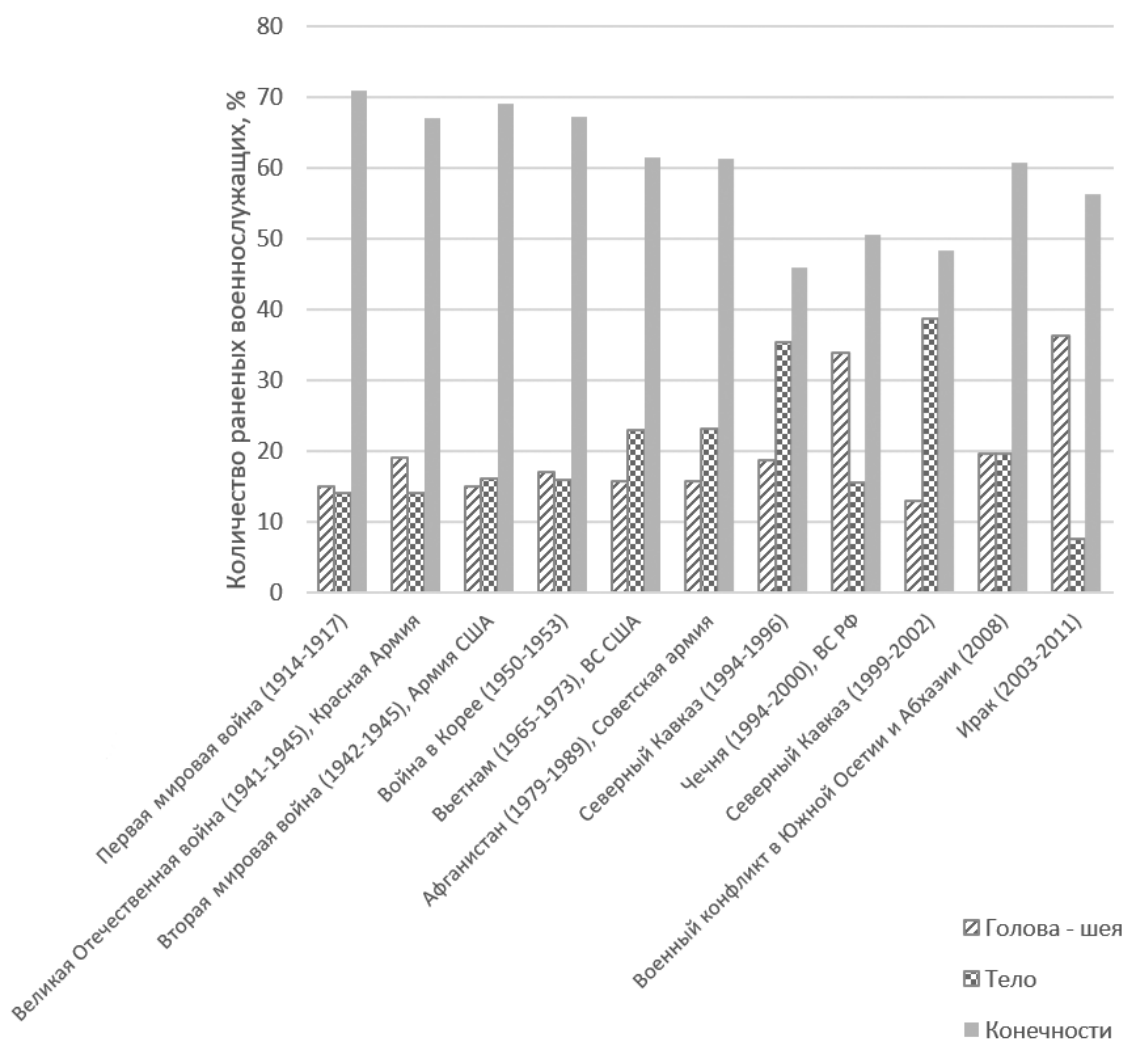


Рис. 1. Статистика ранений по локализации травмы

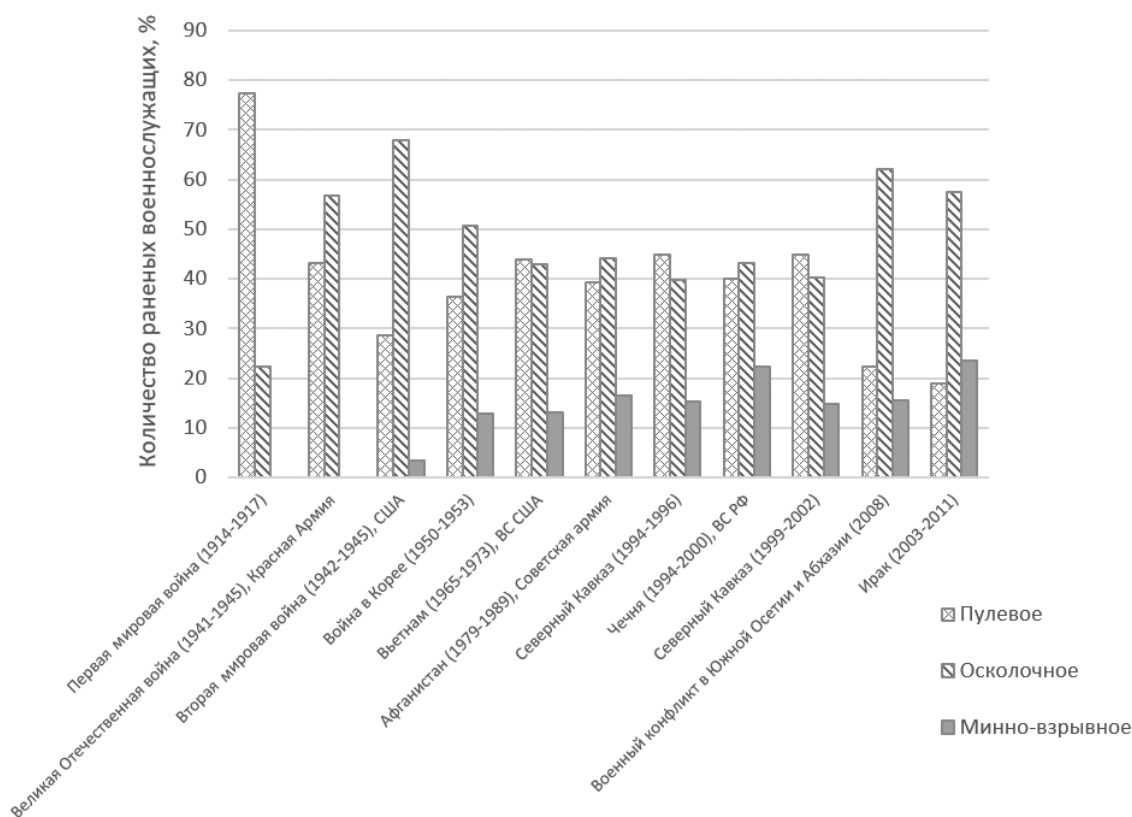


Рис. 2. Структура огнестрельных ранений

являться свидетельством применения личным составом войск все более эффективных средств защиты головы и торса.

Исходя из полученных данных можно говорить о том, что дальнейшее развитие СИБ должно быть направлено на усиление противоосколочной защиты для всех областей тела, в особенности в области конечностей.

Аналитическая модель

На сегодняшний день разработка и создание новейших образцов СИБ требует проведения большого объема дорогостоящих опытов. При выполнении медико-биологических испытаний возникают различные вопросы не только поиска объекта воздействия, но и трудноразрешимые проблемы этического характера, что в условиях современных реалий не даёт возможности проведения достаточного количества опытов с использованием биообъектов. Создание аналитических моделей или использование численных методов моделирования значительно уменьшает необходимость проведения натуральных испыта-

ний. Подобные расчёты могут быть использованы для получения оценочных результатов в первом приближении, которые помогут сузить круг поиска, путем устранения вариантов изделий, не способных выполнить поставленные задачи.

Вопросами возможности аналитического моделирования процесса огнестрельного ранения задавались еще основоположники отечественной и зарубежной раневой баллистики Л.Н. Александров, Л.Б. Озерецковский, В.Р. Kneubuehl, G. Sellier. В настоящее время наиболее распространённым вариантом является численное моделирование процесса проникновения поражающего элемента (ПЭ) в тело человека, примером такого описания могут послужить работы [8–10]. Стоит отметить, что численное моделирование является достаточно точным способом, однако и очень ресурсозатратным (по сравнению с вычислениями по готовым аналитическим формулам). Он требует не только долгого процесса расчета с использованием мощной вычислительной техники, но и затрат на определение реологической модели деформируемой среды, построение сеток на исследу-

емых объектах, определение методов расчета и характеристик накопления ошибок, в случае человеческого тела это включает в себя размеры и свойства внутренних органов, костей, толщин мягких тканей и т.д.

В данной работе авторами предполагается создание аналитической модели проникновения ПЭ в тело человека, путем объединения уже имеющихся моделей, разработанных Л.Б. Озерцовским [11] и G. Sellier [12–13], в одну, учитывающую проникание ПЭ, подходящего по нормали к цели. При анализе проникновения не учитывается отклонение ПЭ от траектории движения в мягких тканях и при столкновении с костью.

При расчете проникновения ПЭ в тело граничная скорость проникания, которая показывает минимальный предел скорости, при котором ПЭ будет способен пробивать кожу и проникать в мягкие ткани, взята в соответствии с [10] — 84 м/с.

В тканях скорость движения современных ПЭ значительно ниже скорости распространения звука в биологической среде (< 1500 м/с) и число Маха не превышает 0,5–0,6; коэффициент лобового сопротивления (C_1) относительно постоянен и принимается в виде константы. При использовании данных приведенных ранее становится возможным рассчитать скорость ПЭ, необходимую для проникания в тело на заданную глубину, а также итоговую глубину проникновения ПЭ в ткани по зависимостям [11]:

$$V_x = V_{gr} \cdot e^{\frac{C_1 \rho S x}{2m}}; \quad (1)$$

$$x = \frac{2m}{C_1 \rho S} \cdot \ln \left(\frac{V_c}{V_{gr}} \right), \quad (2)$$

где V_x — скорость ПЭ, необходимая для проникания на глубину x , м/с; V_{gr} — граничная скорость для проникновения в данную среду, м/с (для стальных шариков — 84 м/с, для стальных осколков — 94 м/с); V_c — контактная скорость, м/с; C_1 — коэффициент лобового сопротивления (для стальных шариков — 0,36, для стальных осколков — 0,59); S — площадь поперечного сечения ПЭ, м²; m — масса ПЭ, кг; x — глубина проникания ПЭ в ткани, м.

Формула для расчёта глубины проникания в кость [13]:

$$P = k_\phi \cdot \frac{m}{D} \cdot \left(\frac{V-60}{100} \right), \quad (3)$$

где k_ϕ — коэффициент, учитывающий форму ПЭ (для пуль со сферическим наконечником — 0,30, для тупоголовых пуль — 0,15); D — калибр пули в мм; V — скорость встречи ПЭ с костью.

В формуле (3) из скорости встречи V вычитается 60 м/с — учитывается потеря скорости из-за столкновения. Это значит, что ПЭ с меньшей, чем 60 м/с, скоростью, приведет только к ушибу кости и не повредит мягкие ткани за костью (это относится к пулям со сферическим наконечником или шарикам); если будут использованы пули с большой площадью поперечного сечения или очень острым наконечником, то ограниченные скорости будут ниже.

G. Sellier представил формулу для расчёта потери скорости ПЭ при прохождении кости определенной толщины [13]:

$$V_r = V_0 \cdot \left[\left(1 - 2,3 \cdot \frac{10^5}{V_0^2} \cdot P \cdot \frac{D}{m} \right) \right]^{1/2}, \quad (4)$$

где V_0 — скорость встречи.

Адекватность описанной модели можно оценить путем сравнения данных, полученных путем сравнения (табл. 1) известных результатов численного моделирования потери скорости на пробитие одного слоя баллистического желатина заданной толщины [14, 17], используемого в качестве имитатора мягких тканей [16], с разработанной аналитической моделью, представленной ранее.

Максимальное отклонение, полученное по расчетам, составляет 31 %, что является достаточно удовлетворительным, с учетом того, что для описания проникания в приведенных источниках были выбраны различные модели проникания, а также учитывалась деформация ПЭ и характеристики временной пульсирующей полости, в то время как аналитическая модель этого не учитывает.

Такое же сравнение для проникания ПЭ в кость приведено в табл. 2. В качестве сравнения были взяты данные из работы [17], в которой был проведен обзор эволюции в создании пластиковых костей для испытательных центров, однако вместо численного моделирования в ней указаны данные с проведенных опытов на имитаторе кости.

Таблица 1

Сравнение результатов численного и аналитического моделирования для проникания ПЭ в мягкие ткани

Диаметр РС, м	Масса РС, м	Плотность мягких тканей, кг/м ³	Глубина проникания, мм	Скорость соударения, м/с	Скорость на выходе из мягких тканей, м/с		Отклонение, %
					численное моделирование	аналитическая модель	
0,00762	0,0102	1050	121	337	302,12	229,67	31,8
0,0083	0,0102	1050	118	462	304,5	376	23,4

Таблица 2

Сравнение результатов эксперимента и аналитического моделирования для проникания ПЭ в кость

Диаметр РС, м	Масса РС, м	Диаметр кости, м	Скорость соударения, м/с	Скорость на выходе из мягких тканей, м/с		Отклонение, %
				эксперимент	аналитическая модель	
0,00762	0,0102	0,03	830	734	710	3

В случае с костями отклонение составляет всего 3 % — столь малая величина отклонения объясняется особенностью физического процесса проникания ПЭ в кость, который представляет собой хрупкое разрушение.

Приведенные ранее данные указывают на то, что полученная аналитическая модель проникновения достаточно адекватно оценивает затрату энергии ПЭ на пробитие слоев мягких тканей определенной толщины и пробитие кости определенного диаметра. Это показывает, что данная модель может быть использована в расчетах для первого приближения с целью оценки поражающего действия пуль и осколков (при вводе правильных коэффициентов).

Также с помощью данной модели, при ее дополнении, можно оценить вероятность поражения ЖС при наличии бронезащиты, путем учёта удельной энергии пробития бронепакетов:

$$\Delta E = \frac{mv_{\text{пот}}^2}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot v}{v_{\text{пот}}} - 1 \right), \quad (5)$$

где v — скорость РС до столкновения с преградой, м/с; $v_{\text{пот}}$ — скорость РС, затраченная на пробитие преграды, м/с; ΔE — энергия, которую надо затратить РС, чтобы пробить преграду.

При превышении порогового значения энергии (ΔE) бронепакет будет пробиваться, и ПЭ будет проникать в тело. Похожим способом можно описать и вероятность поражения ЖС, введя для различных областей тела характеристики,

определяемые толщиной костей и мягких тканей. При рассмотрении конечностей выделяются слабо- и сильнозащищенные области тела, в случае поражения областей головы-шеи и туловища выделяются только сильнозащищенные области. Такое разделение присутствует для конечностей, так как толщина слоя мягких тканей рук и ног значительно отличается.

Вводя различные условия поражения, аналитическая модель (формулы (1)–(5)) может рассчитать вероятность поражения ПЭ одной из областей тела, а воспользовавшись теорией вероятностей при условии поражения хотя бы одной из областей тела, можно рассчитать вероятность поражения ЖС в целом. Так, используя методику, предложенную в книгах и учебных пособиях [18], можно рассчитать разлет осколков различных боеприпасов, а дополнив её моделью проникания ПЭ в человеческое тело, получить полную вероятность поражения ЖС боеприпасом на различных расстояниях, а также рассчитать площадь поражения ЖС в СИБ.

С помощью данной модели была рассчитана площадь поражения осколочной гранаты ВОГ-30 к автоматическому гранатомету АГС-17 для ЖС в элементах от боевой экипировки военнослужащих «Ратник» и без него. В качестве предельных скоростей пробития СИБ были взяты скорости, представленные в табл. 3 [19, 20].

Для того, чтобы рассчитать вероятности поражения отдельных областей тела, были рассчитаны величины вертикальной проекции человека. Для определения площади поверхности отдель-

Таблица 3

Предельные скорости пробития элементов боевой экипировки военнослужащих «Ратник»

Наименование	Масса, кг	Тип поражающего элемента	Предельная скорость пробития V_{50} , м/с
Шлем 6Б47	1 кг	Имитатор осколка шарик $m = 1,05$ г; $d = 6,31$ мм	670 м/с
Бронежилет 6Б45	7,5 кг	Имитатор осколка шарик $m = 1,05$ г; $d = 6,31$ мм	550 м/с
Защитный комбинезон	—	Имитатор осколка шарик $m = 1,05$ г; $d = 6,31$ мм	250 м/с

ных областей человеческого тела было использовано правило девяткок Wallace и Лемма Коши для средней площади проекции, согласно которой площадь проекции любого выпуклого случайно ориентированного тела на плоскость равна одной четверти его полной площади. В случае с площадью проекции области туловища было учтено перекрытие туловища верхними конечностями.

Таким образом, были получены следующие значения:

- площадь поверхности области головы-шеи $S_r = 0,038$ м²;
- площадь поверхности области туловища $S_t = 0,119$ м²;
- площадь поверхности области конечностей $S_k = 0,23$ м².

Для примера расчета были сформированы условия поражения ЖС, для которых были введены толщины костей и мягких тканей для различных областей тела:

- для области головы учитывалась толщина лобной кости, полученная из источника, 6,2 мм и толщина кожи 3 мм;
- для области туловища учитывалась толщина мягких тканей — 7 см;
- для области конечностей учитывалась толщина мягких тканей на верхней конечности и толщина кости — 15 мм, 10 мм соответственно, для ног — 50 мм, 25 мм соответственно.

При проникании ПЭ на указанные величины считалось, что ЖС поражена. В случае наличия бронезащиты, ПЭ должен был пробить её с по-

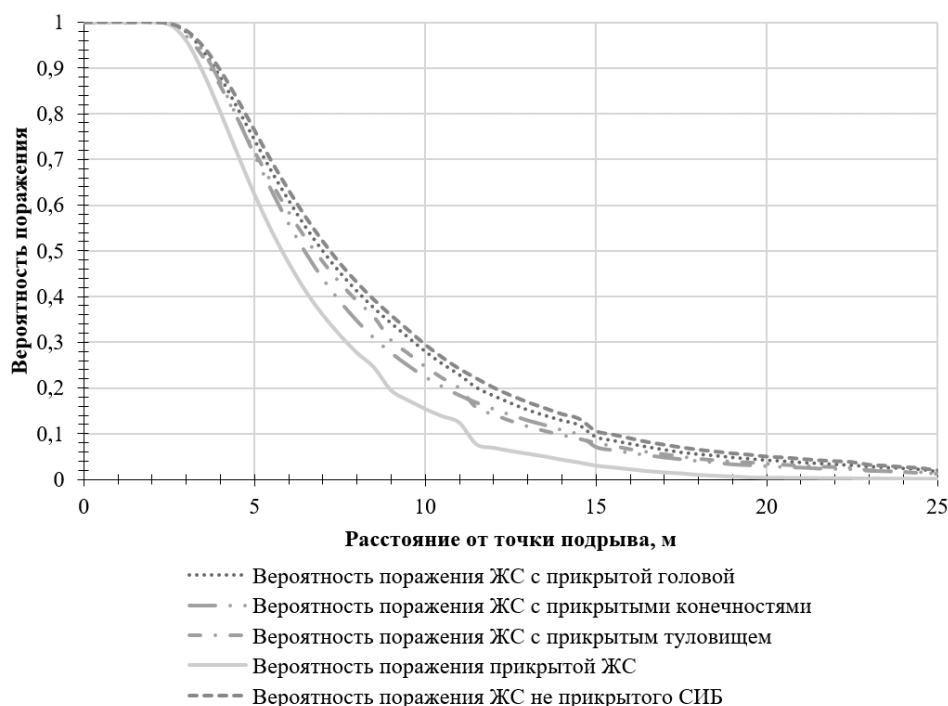


Рис. 3. Вероятность поражения ЖС в СИБ и без них

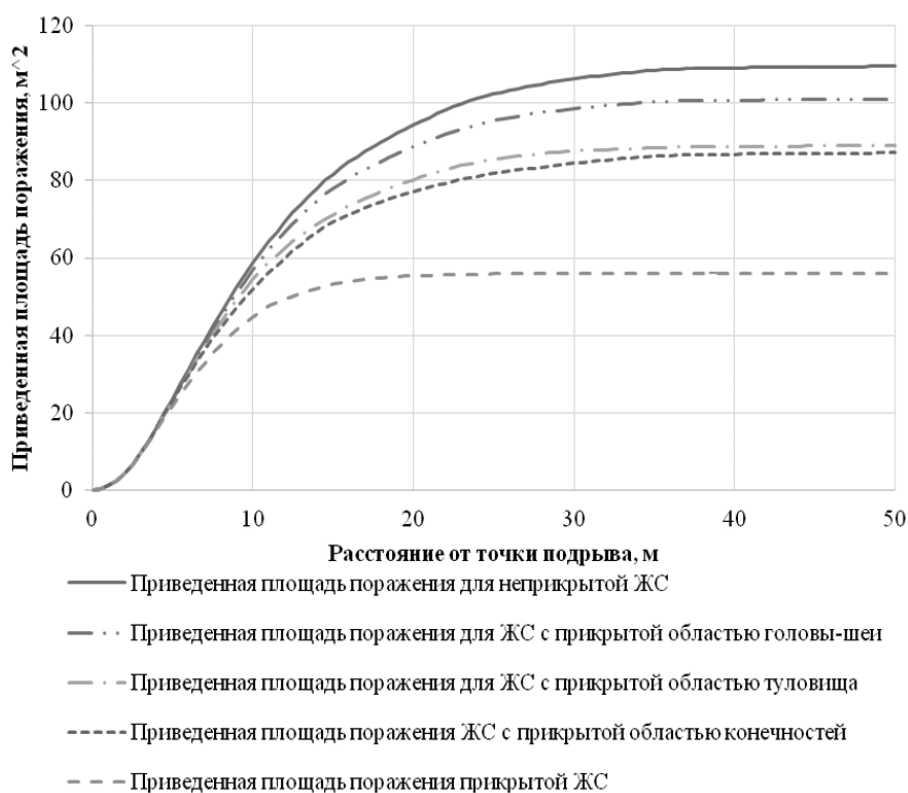


Рис. 4. Площадь поражения ЖС в СИБ и без них

следующим прониканием на заданные толщины костей и мягких тканей.

Хоть данная модель и позволяет оценивать вероятность летальных исходов, стоит заметить, что поражением считается выведение ЖС из строя на некоторый промежуток времени, а не летальный исход. Своевременное оказание медицинской помощи на поле боя, при некоторых ранениях, описанных в данной работе, может спасти человеку жизнь с последующим возвращением его в строй.

Используя данные, указанные ранее, а также геометрию боеприпаса рассчитаем вероятность поражения ЖС в СИБ и без них (рис. 3–4).

По полученным результатам представляется реальная возможность не только определения площадей и вероятностей поражения, но также и возможность оценки влияния наличия СИБ на определенных областях тела на вероятность поражения ЖС.

Ввиду относительной простоты расчета, данную оценку можно проводить в течение короткого времени и при минимальных трудозатратах. В отличие от численного моделирования, с использованием современных программных пакетов,

для данного аналитического расчета не требуется построение сложных сеток или формирования моделей поведения образцов во время проникания. Однако данный расчет несет в себе ряд погрешностей, а потому может быть использован в основном для расчетов в первом приближении для оценки адекватности предлагаемых новых образцов вооружения и СИБ.

Вывод

Предложенная модель оценки поражения живой силы дает возможность оценить поражающую способность проектируемых и существующих боеприпасов осколочного действия для ЖС в СИБ в первом приближении. Помимо этого, возможно проводить оценку влияния отдельных частей СИБ на защищенность человеческого тела, а также оценивать какой вид СИБ эффективен против различных форм и скоростей ПЭ. Указанные возможности могут найти свое применение в области военной промышленности, а также будут актуальными для производителей СИБ, так как они могут быть полезными при проектировании новых образцов изделий.

Одним из преимуществ данного расчета, по сравнению с другими численными моделями, является возможность проведения оценки путем простейших вычислений.

Литература

1. Сильников М.В., Ноздрачев А.В., Сальников В.П., Химичев В.А. Экипировка. — СПб. 2001. 272 с.
2. Rigo Hoencamp, Eelco P. Huizinga, Thijs T.C.F. van Dongen, Floris J. Idenburg, Arul Ramasamy, Luke P.H. Leenen, Jaap F. Hamming. Impact of Explosive Devices in Modern Armed Conflicts: In-Depth Analysis of Dutch Battle Casualties in Southern Afghanistan // Societe Internationale de Chirurgie. 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/262723977_Impact_of_Explosive_Devices_in_Modern_Armed_Conflicts_In-Depth_Analysis_of_Dutch_Battle_Casualties_in_Southern_Afghanistan (дата обращения 2019.09.12).
3. Zouris J.M., Wade A.L., Magno C.P. Injury and Illness Casualty Distributions Among U.S. Army and Marine Corps Personnel during Operation Iraqi Freedom // Military medicine. 2008. Report № 07-01. P. 247–252.
4. Исаханов С.В., Кириченко Е.А., Рогов Л.А. Оценка структуры санитарных потерь при некоторых военных конфликтах и опыт оказания квалифицированной и специализированной медицинской помощи в военном госпитале внутренних войск МВД РФ раненым и больным из района боевых действий // Вятский вестник. 2002. № 2. С. 50–53.
5. Мыльников В.В., Абросимов А.А., Романов И.Д., Романов А.Д. Анализ материалов и их свойств, применяемых для средств индивидуальной бронезащиты // Технические науки. 2014. № 9. С. 143–147.
6. Топорков М.Т., Бобров Ю.М., Лучников Э.А. Санитарные потери в авиации флота и Военно-воздушных силах в войнах и вооруженных конфликтах // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2012. № 3 (39) С. 219–227.
7. Денисов А.В., Бадалов В.И., Крайнюков П.Е. и др. Структура и характер современной боевой хирургической травмы // Военно-медицинский журнал. 2021. Т. 342. № 9. С. 12–20.
8. Weixin Shen, Yuqing Niu, Lucy Bykanova, Peter Laurence, Norman Link. Characterizing the Interaction Among Bullet, Body Armor, and Human and Surrogate Targets // Journal of Biomechanical Engineering. Vol. 132. 2010. P. 121001-1–121001-11.
9. Susu Liu, Y Wen, G Li, J Zhou. Assessment of bullet effectiveness based on a human vulnerability model // BMJ Military Health. 2017. P. 1–7.
10. Денисов А.В., Степанов М.Д., Харалдин Н.А., и др. Применение математической модели торса человека для моделирования забронированного воздействия в раневой баллистике // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2020. Т. 22. № 3. С. 132–139.
11. Озерцовский Л.Б., Гуманенко Е.К., Бояринцев В.В. Раневая баллистика. — СПб: Журнал «Калашников», 2006. 374 с.
12. Francesco Zanardi. Te la do io la balastica URL: http://www.tiropatico.com/Francesco_Zanardi/Balistica.pdf (дата обращения 2019.09. 15).
13. Edoardo Mori. Balistica pratica. 2013. 387 с.
14. Daniele Datoc. Finite Element Analysis and Modeling of a 38 Lead Round Nose Ballistic gelatin test // A thesis presented to faculty of California Polytechnic State University. — San Luis Obispo. 2010. P. 1–87.
15. Yongjiuan Wang, Xiaoning Shi, Aijun Chen, Cheng Xu. The experimental and numerical investigation of pistol bullet penetrating soft tissue simulant // Forensic Science International. 2015. P. 271–279.
16. Сильников М.В., Химичев В.А. Средства индивидуальной бронезащиты: учеб. пособие / М.В. Сильников, В.А. Химичев; Под общ. ред. В.П. Сальникова; МВД России, С.-Петерб. ун-т, Акад. права, экономики и безопасности жизнедеятельности. — СПб: Фонд «Университет», 2000. 478 с.
17. Kneubuehl V.P., Thali M.J. The evaluation of a synthetic long bone structure as a substitute for human tissue in gunshot experiments // Forensic Science International. 2003. P. 44–49.
18. Рассоха С.С., Селиванов В.В. Осколочное действие боеприпасов: [учеб. пособие] / общ. ред. Селиванов В.В. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 209 с.
19. Ратник. Комплектация. Обзор экипировки. URL: <https://voenshop51.ru/blogs/blog/ratnik-obzor-ekipirovki> (дата обращения 2020.10.13).
20. Обзор боевой экипировки «Ратник». URL: <https://forma-odezhda.ru/encyclopedia/obzor->

-boevoy-ekipirovki-ratnik/ (дата обращения 2020.10.13).

Referenses

1. Sil'nikov M.V., Nozdrachev A.V., Sal'nikov V.P., Himichev V.A. Equipment. — SPb. 2001. 272 p.
2. Rigo Hoencamp, Eelco P. Huizinga, Thijs T.C.F. van Dongen, Floris J. Idenburg, Arul Ramasamy, Luke P.H. Leenen, Jaap F. Hamming. Impact of Explosive Devices in Modern Armed Conflicts: In-Depth Analysis of Dutch Battle Casualties in Southern Afghanistan // Societe Internationale de Chirurgie. 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/262723977_Impact_of_Explosive_Devices_in_Modern_Armed_Conflicts_In-Depth_Analysis_of_Dutch_Battle_Casualties_in_Southern_Afghanistan (дата обращения 2019.09.12).
3. Zouris J.M., Wade A.L., Magno C.P. Injury and Illness Casualty Distributions Among U.S. Army and Marine Corps Personnel during Operation Iraqi Freedom // Military medicine. 2008. Report № 07-01. С. 247–252.
4. Isahanov S.V., Kirichenko E.A., Rogov L.A. Assessment of the structure of sanitary losses in some military conflicts and the experience of delivery of qualified and specialized medical care in a military hospital of the internal troops of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation to the wounded and sick from the combat area action // Vyatka Bulletin. 2002. № 2. P. 50–53.
5. Myl'nikov V.V., Abrosimov A.A., Romanov I.D., Romanov A.D. Analysis of materials and their properties used for individual body armor // Technical sciences. 2014. № 9. P. 143–147.
6. Toporkov M.T., Bobrov Yu.M., Luchnikov E.A. Sanitary losses in the aviation of the fleet and the air force in war and armed conflicts // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2012. № 3 (39). P. 219–227.
7. Denisov A.V., Badalov V.I., Kraynyukov P.E., et al. The structure and nature of modern combat surgical trauma // Military Medical Journal. 2021. Vol. 342. № 9. P. 12–20.
8. Weixin Shen, Yuqing Niu, Lucy Bykanova, Peter Laurence, Norman Link. Characterizing the Interaction Among Bullet, Body Armor, and Human and Surrogate Targets // Journal of Biomechanical Engineering. Vol. 132. 2010. P. 121001-1–121001-11.
9. Susu Liu, Y Wen, G Li, J Zhou. Assessment of bullet effectiveness based on a human vulnerability model // BMJ Military Health. 2017. P. 1–7.
10. Denisov A.V., Stepanov M.D., Haraldin N.A., et al. Application of the mathematical model of human torso for modeling abbreval influence in wound ballistics // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2020. Vol. 22. № 3. P. 132–139.
11. Ozereckovskij L.B., Gumanenko E.K., Boyarincev V.V. Wound ballistics. SPb: Kalashnikov magazine. 2006. 374 p.
12. Francesco Zanardi. Te la do io la balastica URL: http://www.tiropatico.com/Francesco_Zanardi/Balastica.pdf (access date 2019.09.15).
13. Edoardo Mori. Balistica pratica. 2013. 387 p.
14. Daniele Datoc. Finite Element Analysis and Modeling of a 38 Lead Round Nose Ballistic gelatin test // A thesis presented to faculty of California Polytechnic State University. — San Luis Obispo. 2010. P. 1–87.
15. Yongjiuan Wang, Xiaoning Shi, Aijun Chen, Cheng Xu. The experimental and numerical investigation of pistol bullet penetrating soft tissue simulant // Forensic Science International. 2015. P. 271–279.
16. Kneubuehl B.P., Thali M.J. The evaluation of a senthetic long bone structure as a ubstitute for human tissue in gunshot experiments // Forensic Science International. 2003. P. 44–49.
17. Silnikov M.V., Himichev V.A. Means of individual armor protection: Textbook / M.V. Silnikov, V.A. Khimichev; Under the general editorship of V.P. Salnikov; the Ministry of Internal Affairs of Russia, St. Petersburg Univ., Akad. law, economics and life safety. — St. Petersburg: University Foundation, 2000. 478 p.
18. Rassokha S.S., Selivanov V.V. Fragmentation effect of ammunition: study. manual / general ed. Selivanov V.V. — M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2018. 209 p.
19. Ratnik. Equipment. Equipment overview. URL: <https://voenshop51.ru/blogs/blog/ratnik-obzor-ekipirovki> (date of treatment 10/13/2020).
20. Review of combat equipment «Ratnik». URL: <https://forma-odezhda.ru/encyclopedia/obzor-boevoy-ekipirovki-ratnik/> (date of access 2020.10.13).