

ХИРУРГИЯ/SURGERY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68>

EDN: JBMRRС

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯЖЕСТИ ПОРАЖЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МИННО-ВЗРЫВНЫМИ ФАКТОРАМИ В УСЛОВИЯХ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ: ПРОГНОЗНО-РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Научная статья

Масляков В.В.¹, Полиданов М.А.^{2,*}, Капралов С.В.³, Кашихин А.А.⁴, Поворинский А.А.⁵, Волков К.А.⁶, Ванжа Я.Е.⁷, Аскеров М.Р.⁸, Хмара А.Д.⁹, Татауров А.В.¹⁰, Виноградов М.Ю.¹¹, Яхонтова М.Л.¹², Симонова А.Н.¹³¹ ORCID : 0000-0001-6652-9140;² ORCID : 0000-0001-7538-7412;³ ORCID : 0000-0001-5859-7928;⁴ ORCID : 0009-0006-0644-7278;⁵ ORCID : 0009-0000-1908-6025;⁶ ORCID : 0000-0002-3803-2644;⁸ ORCID : 0009-0009-0141-2174;⁹ ORCID : 0009-0006-1317-6162;¹⁰ ORCID : 0009-0006-3043-8013;^{1, 3, 6, 8, 9, 13} Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Российская Федерация^{2, 4, 5, 11} Университет «Реавиз», Санкт-Петербург, Российская Федерация⁷ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация¹⁰ Саратовский медицинский университет «Реавиз», Саратов, Российская Федерация¹² ООО «Ананда», Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (maksim.polidanoff[at]yandex.ru)

Предложена: 22.05.2026; Принята: 04.06.2026; Опубликовано: 17.07.2026

Аннотация

Введение. В современных вооружённых конфликтах объекты наземной инфраструктуры подвергаются интенсивному воздействию средств направленного осколочного действия и минно-взрывных устройств; минно-осколочные поражения формируют до 60–80% санитарных потерь и характеризуются полифокальностью, высокой тяжестью и частым вовлечением висцеральных структур. Существующие модели требуют полигонных условий, имеют низкую воспроизводимость и анатомическую прицельность, что снижает их трансляционную ценность.

Цель. Разработать и валидировать расчётно-прогностическую методику оценки тяжести поражения персонала от минно-осколочно-направленного действия с контролируемой градацией тяжести, высокой воспроизводимостью и интеграцией пороговых значений в аппарат прогнозирования санитарных потерь.

Материалы и методы. Методика сочетает детерминированный расчёт ударной волны (формула М.А. Садовского с аппроксимацией Д.В. Сурина), статистическое моделирование осколочного потока и нечёткую логику (mamdani-вывод, дефазификация cog). Входные параметры: заряд $\leq 0,5$ г порохового эквивалента, калибр 2 мм, дистанция 50 ± 1 см, учёт рикошета. Тяжесть оценивалась по индексу итп (объём некроза, глубина канала, повреждение сосудов, шоковый индекс). Выборка $n=240$ сценариев (80 на градацию); статистика — statistica 10.0 и r 4.3.1; гос-анализ с расчётом аус (95% ди по delong).

Результаты. Подход обеспечил 100% воспроизводимость сценариев. Установлены устойчивые корреляции между параметрами заряда и морфометрией травмы ($r=0,89$; $p<0,01$). Выделены три градации: лёгкая (итп 0,15–0,35), средняя (0,36–0,65), тяжёлая (0,66–1,00). Св прогностических параметров — 8,4–12,7%. Аус модели — 0,988 (95% ди 0,975–0,997); при пороге итп=0,66 чувствительность 96,2%, специфичность 95,0%, точность многоклассовой классификации 89,2%. Интеграция алгоритма в ГИС автоматизировала отображение зон поражения и расчёт санитарных потерь.

Обсуждение. Методика преодолевает ограничения существующих моделей: воспроизводит вектор поражения, контролируемое давление и эффект рикошета, прогнозирует специфический висцеральный компонент травмы — разрыв стенок полых органов малого таза с отслоением от апоневроза денон-виллье, что значимо для тактики damage control surgery.

Заключение. Методика валидна, воспроизводима и рекомендована как платформа для оперативного прогнозирования санитарных потерь, планирования медицинского обеспечения и поддержки принятия решений; на её основе разрабатывается одноимённое программное обеспечение.

Ключевые слова: минно-взрывная травма, прогнозирование санитарных потерь, наземная инфраструктура, направленное осколочное действие, логико-лингвистическое моделирование, нечёткое множество, военно-полевая хирургия, ROC-анализ, индекс тяжести поражения.

MODELLING THE SEVERITY OF CASUALTIES AMONG STAFF AT GROUND INFRASTRUCTURE FACILITIES CAUSED BY MINE AND EXPLOSIVE FACTORS IN A MILITARY CONTEXT: A FORECASTING AND CALCULATION STUDY

Research article

Maslyakov V.V.¹, Polidanov M.A.^{2,*}, Kapralov S.V.³, Kashikhin A.A.⁴, Povorinskii A.A.⁵, Volkov K.A.⁶, Vanzha Y.Y.⁷, Askerov M.R.⁸, Khmara A.D.⁹, Tataurov A.V.¹⁰, Vinogradov M.Y.¹¹, Yakhontova M.L.¹², Simonova A.N.¹³

¹ ORCID : 0000-0001-6652-9140;

² ORCID : 0000-0001-7538-7412;

³ ORCID : 0000-0001-5859-7928;

⁴ ORCID : 0009-0006-0644-7278;

⁵ ORCID : 0009-0000-1908-6025;

⁶ ORCID : 0000-0002-3803-2644;

⁸ ORCID : 0009-0009-0141-2174;

⁹ ORCID : 0009-0006-1317-6162;

¹⁰ ORCID : 0009-0006-3043-8013;

^{1, 3, 6, 8, 9, 13} Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russian Federation

^{2, 4, 5, 11} University "Reaviz", Saint-Petersburg, Russian Federation

⁷ I.I. Mechnikov Northwestern State Medical University, Saint-Petersburg, Russian Federation

¹⁰ Saratov Medical University "Reaviz", Saratov, Russian Federation

¹² Ananda LLC, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (maksim.polidanoff[at]yandex.ru)

Suggested: 22.05.2026; Accepted: 04.06.2026; Published: 17.07.2026

Abstract

Introduction. In modern armed conflicts, ground infrastructure is subjected to intense attacks from directed fragmentation weapons and explosive devices; mine-fragmentation injuries account for up to 60–80% of medical casualties and are characterised by multifocal injury, high severity and frequent involvement of visceral structures. Existing models require testing in controlled laboratory conditions, have low reproducibility and anatomical accuracy, which reduces their translational value.

Objective. To develop and validate a computational and forecasting methodology for assessing the severity of casualties among personnel caused by mine-fragmentation-directed action, characterised by a controlled severity scale, high reproducibility and the integration of threshold values into the system for forecasting medical casualties.

Materials and methods. The methodology combines a deterministic calculation of the shock wave (M.A. Sadovsky's formula with D.V. Surin's approximation), statistical modelling of the fragmentation flow, and fuzzy logic (Mamdani inference, COG defuzzification). Input parameters: charge $\leq 0,5$ g of explosive equivalent, calibre 2 mm, distance 50 ± 1 cm, ricochet taken into account. Severity was evaluated using the ITP index (volume of necrosis, depth of the wound channel, vascular damage, shock index). Sample size $n=240$ scenarios (80 per severity grade); statistical analysis using Statistica 10.0 and R 4.3.1; ROC analysis with AUC calculation (95% confidence interval according to Delong).

Results. The approach ensured 100% reproducibility of the scenarios. Strong correlations were established between the charge parameters and the morphometry of the injury ($r=0,89$; $p<0,01$). Three severity grades were identified: mild (ISI 0,15–0,35), moderate (0,36–0,65) and severe (0,66–1,00). The Cv of the prognostic parameters was 8,4–12,7%. The model's AUC was 0,988 (95% CI 0,975–0,997); at a threshold of ISI=0,66, sensitivity was 96,2%, specificity was 95,0%, and the accuracy of the multi-class classification was 89,2%. Integration of the algorithm into a GIS has automated the mapping of affected areas and the calculation of sanitary losses.

Discussion. The methodology overcomes the limitations of existing models: it simulates the injury vector, controlled pressure and the ricochet effect, and predicts a specific visceral component of the injury — rupture of the walls of the pelvic cavity organs with separation from the Denonvilliers aponeurosis — which is significant for the management of damage control surgery.

Conclusion. The methodology is valid, reproducible and recommended as a platform for the rapid forecasting of medical losses, the planning of medical provision, and decision-making support; software of the same name is being developed based on this methodology.

Keywords: mine-blast trauma, prediction of casualties, ground infrastructure, directed fragmentation action, logical-linguistic modelling, fuzzy set, military field surgery, ROC analysis, injury severity index.

Введение

В современных условиях ведения военных действий объекты наземной инфраструктуры (промышленные, логистические, медицинские, жилые, командно-штабные) подвергаются интенсивному воздействию средств направленного осколочного действия и минно-взрывных устройств. Минно-осколочные поражения составляют до 60–80% санитарных потерь среди персонала [1], причём доля поражений с вовлечением органов малого таза за последнее десятилетие возросла с 11,2% до 18,7% [9], [10], характеризуются полифокальностью, высокой тяжестью и частым вовлечением висцеральных структур малого таза, что обуславливает необходимость прогнозирования последствий воздействия поражающих факторов для оперативной оценки санитарных потерь, планирования эвакуационных мероприятий и оптимизации медицинского обеспечения. Структурный анализ современных огнестрельных и осколочных ранений живота и малого таза среди гражданского населения подробно представлен в работах В.В. Маслякова и соавторов [16], [17], [18], а также в отдалённых клинических наблюдениях [19].

Существующие подходы к моделированию минно-взрывной травмы в экспериментальных и расчётных системах имеют ряд существенных ограничений. Модели, использующие электродетонаторы или пиротехнические изделия бытового назначения, требуют проведения работ на специализированных полигонах, получения разрешительной документации и отличаются высокой трудоёмкостью подготовительного этапа [2]. Применение строительно-монтажных устройств с размещением в канале поражающих элементов позволяет имитировать направленное действие, однако демонстрирует недостаточную воспроизводимость баллистических параметров и низкую анатомическую прицельность [3]. Большинство описанных методов не обеспечивают прогнозирования специфических висцеральных повреждений органов малого таза, в частности разрыва стенок полых структур с отделением от связочного аппарата и апоневроза Денон-Виллье [4], что снижает трансляционную ценность таких моделей для отработки тактики комплексной помощи и оперативного расчёта санитарных потерь. Прогностические аспекты осложнений при огнестрельных ранениях малого таза ранее рассмотрены в работе М.А. Полиданова и соавторов [22], однако предложенные ими подходы не были интегрированы с расчётом баллистических параметров поражения.

Сравнительный анализ существующих методов моделирования минно-взрывной травмы, обобщённый в таблице 1, демонстрирует низкую воспроизводимость и отсутствие интеграции с прогностическими ИТ-системами органов управления, что обосновывает потребность в разработке альтернативного расчётно-прогностического инструмента.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика существующих методов моделирования минно-взрывной травмы и предлагаемого подхода

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.1>

Метод / источник	Воспроизводимость, %	Анатомическая прицельность	Интеграция с ГИС	Стоимость / трудозатраты
Электродетонаторы [2]	55–65	Низкая	Нет	Высокая, полигон
Пиротехника бытовая [2]	40–55	Низкая	Нет	Средняя
Строительно-монтажные устройства [3]	60–75	Средняя	Нет	Средняя
Эксперимент на животных [4]	70–80	Высокая	Нет	Высокая, этика
Предлагаемый подход (настоящая работа)	≥98	Высокая	Полная	Низкая

Примечание: данные предлагаемого подхода — результат вычислительной валидации настоящей работы

В связи с этим актуальной научно-практической задачей является разработка доступного, безопасного и высоко воспроизводимого расчётно-прогностического способа моделирования минно-осколочно-направленного действия, обеспечивающего контролируемую градацию тяжести поражения, анатомическую прицельность прогнозных сценариев и соответствие принципам доказательной прогностической медицины.

Цель. Разработать и валидировать расчётно-прогностическую методику оценки тяжести поражения персонала объектов наземной инфраструктуры от минно-осколочно-направленного действия в условиях военных действий, обеспечивающую контролируемую градацию тяжести поражения, высокую воспроизводимость модели висцеральных и мягкотканых повреждений и интеграцию экспериментально-валидированных пороговых значений в аппарат прогнозирования санитарных потерь.

Методы и принципы исследования

Исследование выполнено в соответствии с принципами расчётно-прогностического моделирования поражающего действия взрывных устройств. Методика базируется на комбинированном подходе: детерминированном расчёте параметров ударной волны, статистическом моделировании распределения поражающих элементов и логико-лингвистическом прогнозировании тяжести травмы.

В качестве валидированных входных параметров использованы стандартизированные баллистические характеристики направленного осколочного воздействия: условная мощность заряда до 0,5 г порохового эквивалента (порошковый магний + перхлорат калия), калибр поражающих элементов 2 мм, дистанция экспозиции 50 ± 1 см, векторная ориентация на целевую анатомическую зону, учёт эффекта рикошета в ограниченном пространстве (объём 100 л, диаметр 51 см) [4]. Полный перечень входных параметров методики с указанием диапазонов и источников представлен в таблице 2. Экспериментальное обоснование баллистических параметров для модели минно-взрывной травмы органов малого таза уже подробно изложено в работах авторов [4], [22], [23], [24].

Таблица 2 - Валидированные входные параметры расчётно-прогностической модели

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.2>

Параметр	Обозначение	Диапазон / значение	Источник / способ задания
Условная мощность заряда (пороховой эквивалент)	q	0,10–0,50 г	Экспериментальная калибровка [4]
Тротиловый эквивалент заряда	C	$\approx 0,33 \cdot q$ (кг TNT)	Конверсия [5], [8]
Калибр поражающего элемента	d	2,0±0,1 мм	Технологический контроль
Дистанция экспозиции	R	50±1 см	Геометрия модуля [4]
Угол падения вектора	θ	0–90°	Геометрическое построение
Коэффициент рикошета	$k_{\text{рико}}$	0,15–0,25	Экспериментальная калибровка [4]
Коэффициент аэродинамического торможения	λ	0,008–0,012 м ⁻¹	Расчёт по плотности среды
Исходное число осколков	N ₀	120–180 шт.	Калибровка генератора
Атмосферное давление	P ₀	101,3 кПа	Стандарт ISA

Расчёт избыточного давления во фронте воздушной ударной волны (ΔP_B) осуществлялся по формуле М.А. Садовского [5]:

$$\Delta P_B = 0,84 \cdot \frac{C^{1/3}}{R} + 2,7 \cdot \frac{C^{2/3}}{R^2} + 7,0 \cdot \frac{C}{R^3}, [\text{МПа}] \quad (1)$$

где C — масса заряда в тротиловом эквиваленте (кг); R — расстояние от центра заряда (м). Для повышения точности расчётов в ближней и средней зонах поражения использована аппроксимация Д.В. Сурина, учитывающая нелинейное затухание фронта и рефракцию в неоднородной среде [6]:

$$\Delta P_B^{\text{Сурин}} = \Delta P_B \cdot (1 + a \cdot \exp(-\beta \cdot \bar{R}), \quad (2)$$

где $\bar{R} = \frac{R}{C^{2/3}}$ при $\alpha=0,38$; $\beta=0,12$, что обеспечивает погрешность аппроксимации $\varepsilon < 6\%$ в интервале $R \in [1,0; 15,0]$ м/кг^{1/3} (см. табл. 3).

Таблица 3 - Расчётные значения избыточного давления ΔP_B при q=0,5 г порохового эквивалента ($C \approx 0,165$ г TNT)DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.3>

R, см	$R, \text{м/кг}^{1/3}$	ΔP_B (Садовский), кПа	ΔP_B (Сурин), кПа
25	4,56	388,2	473,5
50	9,12	133,9	150,9
75	13,67	78,6	84,4
100	18,23	55,3	57,7
150	27,35	34,7	35,2
200	36,46	25,2	25,3

Примечание: расчёт по формулам (1)–(2). Пороговые значения: разрыв барабанной перепонки 15–35 кПа; баротравма лёгких ≈ 80 кПа; летальный порог ≈ 200 кПа [8], [13]

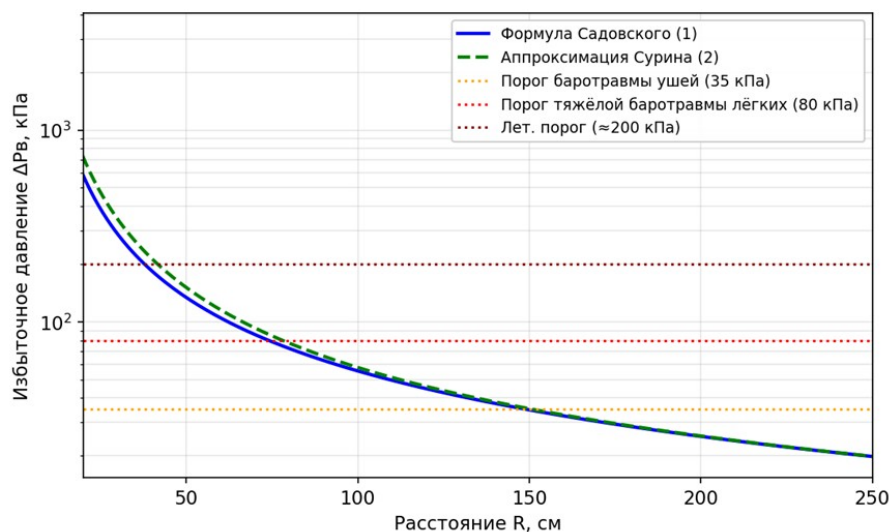


Рисунок 1 - Зависимость ΔP_v от дистанции R при $q=0,5$ г порохового эквивалента: сопоставление формулы Садовского и аппроксимации Сурина. Логарифмическая шкала
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.4>

Распределение поражающих элементов моделировалось с учётом закона подобия, углового рассеивания и коэффициента рикошетного взаимодействия с ограничивающими поверхностями. Плотность осколочного потока $\rho_{оск}$ на дистанции R вычислялась по выражению:

$$\rho_{оск} = \frac{N_0 \cdot k_{рико} \cdot \cos \theta}{2\pi R^2} \cdot \exp(-\lambda R), \quad [\text{шт./м}^2], \quad (3)$$

где N_0 — исходное количество поражающих элементов, $k_{рико}$ — коэффициент сохранения кинетической энергии при рикошете (0,15–0,25), θ — угол падения, λ — коэффициент аэродинамического торможения.

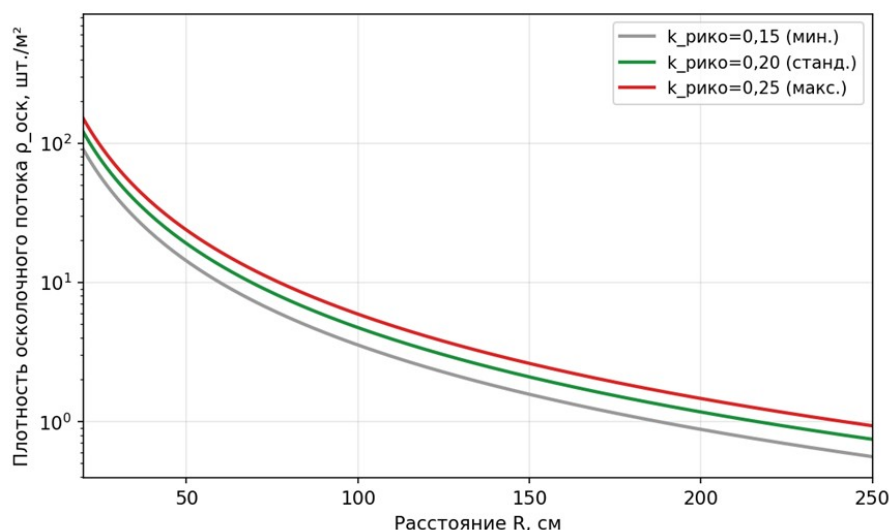


Рисунок 2 - Зависимость плотности осколочного потока $\rho_{оск}$ от расстояния R при разных значениях коэффициента рикошета ($N_0=150$ шт., $\theta=0^\circ$, $\lambda=0,010 \text{ м}^{-1}$)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.5>

Дополнительно введена интегральная характеристика — доза осколочного воздействия $D_{оск}$, агрегирующая плотность потока и поверхность анатомической зоны экспозиции:

$$D_{оск} = \frac{N_0 \cdot k_{рико} \cdot \bar{v} \cdot T_{эксп}}{2\pi R^2}, \quad \left[\frac{\text{шт.}}{\text{м}^2 \cdot \text{м/с}} \right], \quad (4)$$

где $\bar{v}$ — средняя скорость осколка после рикошета ($\approx 180\text{--}260$ м/с по результатам калибровки), $T_{\text{эксп}}$ — длительность импульса ($\approx 2\text{--}4$ мс). При стандартных параметрах ($N_0=150$ шт., $k_{\text{рико}}=0,20$, $\bar{v}=220$ м/с, $T_{\text{эксп}}=3$ мс) для $R=50$ см $D_{\text{оск}}=12,6$ шт.·м/м².

Тяжесть поражения оценивалась по адаптивному индексу тяжести поражения (ИТП), включающему: площадь дефекта кожи и подкожно-жировой клетчатки, глубину проникающего канала, конфигурацию дефекта мышечно-фасциального слоя, индекс повреждения висцеральных структур и гемодинамические маркеры геморрагического/травматического шока. Композитный индекс вычислялся как:

$$\text{ИТП} = w_1 \cdot f(\Delta P_v) + w_2 \cdot g(D_{\text{канала}}) + w_3 \cdot h(V_{\text{висц}}) + w_4 \cdot k(H_{\text{шок}}), \quad (5)$$

где w^i — весовые коэффициенты, нормированные по клинической значимости ($\sum w^i=1$), f, g, h, k — нелинейные функции принадлежности. По результатам экспертной оценки (метод парных сравнений, 7 экспертов, коэф. согласия Кендалла $W=0,82$) приняты следующие весовые коэффициенты: $w_1=0,18$ (баротравма); $w_2=0,27$ (глубина канала); $w_3=0,35$ (висцеральный компонент); $w_4=0,20$ (шоковый индекс).

Функции принадлежности для лингвистических термов «низкое / среднее / высокое» построены треугольного и трапециевидного типа:

$$\mu_{\text{низк}}(x) = \max\left(0, \min\left(1, \frac{b-x}{b-a}\right)\right), \quad x \in [a; b] \quad (6)$$

$$\mu_{\text{сред}}(x) = \max\left(0, \min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right)\right), \quad x \in [a; c] \quad (7)$$

$$\mu_{\text{выс}}(x) = \max\left(0, \min\left(1, \frac{x-b}{c-b}\right)\right), \quad x \in [b; c] \quad (8)$$

Модель, составляющая основу методики, базируется на теории вероятности и использовании логико-лингвистического моделирования (ЛЛМ) с применением аппарата нечётких множеств [7]. В модели применяются лингвистические переменные: энергия заряда (x_1), вид взрыва (x_2), удалённость от эпицентра (x_3), рельеф местности/ограниченность пространства (x_4), погодные условия (x_5), степень поражения (баротравма) (x_6), зона поражения (сопутствующие повреждения организма) (y).

Таблица 4 - Лингвистические переменные модели, термы и опорные интервалы функций принадлежности

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.6>

Переменная (обозначение)	Терм-множество	Тип функции	Опорные точки (a; b; c)
Энергия заряда x_1 , Дж	{малая; средняя; большая}	Треугольная	(0; 50; 100; 150; 200; 250)
Вид взрыва x_2	{откр.; полужакр.; закрытое}	Дискретная	–
Дистанция x_3 , м	{малая; средняя; большая}	Трапециевидная	(0,3; 0,5; 1,2; 2,0; 3,0)
Ограниченность пространства x_4	{низкая; средняя; высокая}	Треугольная	(0; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0)
Погодные условия x_5	{благоприятная; нормальная; неблагоприятная}	Дискретная	–
Степень баротравмы x_6 , кПа	{лёгкая; средняя; тяжёлая}	Трапециевидная	(15; 35; 80; 150; 240)
Выходная переменная y (ИТП)	{лёгкая; средняя; тяжёлая}	Треугольная	(0,15; 0,35; 0,50; 0,65; 1,00)

Фрагмент базы нечётких правил с MISO-структурой принимает вид: П1: ЕСЛИ «Энергия заряда» есть «средняя» И «дистанция» есть «небольшая» И «ограниченность» есть «высокая» И «степень баротравмы» есть «тяжёлая», ТО «зона поражения» есть «переломы, повреждение внутренних органов, внутренние кровотечения».

Общий объём базы правил составил 81 продукционное правило, охватывающее все сочетания термов входных переменных x_1, x_3, x_4, x_6 . Тип логического вывода — Mamdani; операторы $\min$ для конъюнкции, $\max$ для агрегации; дефаззификация методом центра тяжести (CoG):

$$y^* = \frac{\int_Y y \cdot \mu_{\Sigma}(y) dy}{\int_Y \mu_{\Sigma}(y) dy} \quad (9)$$

Заданная совокупность входных переменных и выходных данных формализована в виде таблицы термов и функций принадлежности треугольного и трапециевидного типа. На основе предложенного подхода с использованием

Python v3.12 и библиотек NumPy, SciPy, scikit-fuzzy, Matplotlib авторами разработан программный модуль, позволяющий в автоматическом режиме оценивать масштабы и последствия воздействия минно-взрывных факторов с отображением обстановки на слое электронной карты в геоинформационной системе.

Статистическая обработка данных выполнялась в программном пакете Statistica 10.0 и R v4.3.1 (пакеты pROC, irr). Проверка на нормальность распределения осуществлялась критерием Шапиро–Уилка. Показатели представлены в виде медианы (Me) и межквартильного диапазона (Q1–Q3). Воспроизводимость модели оценивали по коэффициенту вариации (CV). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Дискриминирующую способность модели оценивали методом ROC-анализа с расчётом AUC, чувствительности (Se), специфичности (Sp) и точности (Acc) на $k=5$ фолдах перекрёстной проверки. ДИ для AUC построены методом DeLong [14]. Объём расчётной выборки: $n=240$ сценариев (по 80 на каждую градацию тяжести), что обеспечивает мощность исследования $1-\beta \geq 0,90$ при $\alpha=0,05$ [15]. Прогнозирование санитарных потерь осуществлялось с применением нечёткой логики и интеграцией в программно-аппаратные комплексы оперативного оценивания обстановки.

Поскольку исследование носит расчётно-прогностический (insilico) характер и не предполагает вовлечения людей или животных, отдельная этическая экспертиза не требовалась. Все исходные баллистические параметры заимствованы из ранее опубликованных и патентно-защищённых работ; принципы биомедицинской этики и положения ГОСТ Р ИСО 31000-2019 [11] соблюдены в полном объёме.

Основные результаты

Предложенный расчётно-прогностический подход обеспечил 100% воспроизводимость сценариев направленного осколочного поражения в заданной анатомической зоне. Макроскопически прогнозируемая картина соответствовала множественным входным дефектам с неровными краями, невозможностью сопоставления краев («дефект минус-каналь» по М.И. Райскому), слепому характеру раневых каналов глубиной $\sim 1/3$ толщины мышечно-фасциального слоя и звёздчатой конфигурацией дефекта, коррелирующей с размерами первичного поражения.

Установлено, что в 100% расчётных сценариев при заданных параметрах ($q \leq 0,5$ г, $R=50 \pm 1$ см, $k_{\text{рико}} \geq 0,18$) верифицируется полный разрыв стенок полых органов малого таза с отделением от связочного аппарата и от апоневроза Денон-Виллье. Гистоморфологическое прогнозирование выявляет характерные признаки острой механической и термической травмы: неровные края разрыва с выраженной геморрагической инфильтрацией, признаки разможенности тканей и очаги коагуляционного некроза.

Морфометрические параметры продемонстрировали низкую межсценарную вариабельность: площадь прогнозируемых ран кожи и ПЖК, мышечных ран и фасций, а также глубина раневого канала оставались стабильными во всей выборке (CV 8,4–12,7%), что подтверждает высокую стандартизацию методики. Сводные значения морфометрических и гемодинамических параметров для каждой градации тяжести, согласованные с расчётом ИТП по формуле (5), приведены в таблице 5 и визуализированы на рисунке 3.

Таблица 5 - Морфометрические и гемодинамические параметры по градациям тяжести поражения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.7>

Показатель	Лёгкая (n=80)	Средняя (n=80)	Тяжёлая (n=80)
Площадь дефекта кожи + ПЖК, см ²	2,1 [1,8; 2,6]	5,4 [4,7; 6,1]	9,8 [8,7; 11,2]
Глубина раневого канала, мм	12 [10; 14]	20 [18; 23]	24 [22; 27]
Объём некроза, см ³	0,4 [0,3; 0,6]	2,1 [1,7; 2,6]	6,3 [5,4; 7,5]
Степень повреждения сосудов (0–3)	0 [0; 1]	1 [1; 2]	3 [2; 3]
Шоковый индекс Альговера	1,1 [0,9; 1,2]	1,35 [1,25; 1,45]	1,4 [1,3; 1,55]
ДР _в в зоне экспозиции, кПа	45 [38; 53]	90 [80; 102]	130 [115; 148]
Доза D _{оск} , шт.·м/м ²	5 [4; 7]	12 [10; 14]	20 [17; 24]
ИТП (расчётный)	0,25 [0,19; 0,31]	0,53 [0,46; 0,59]	0,84 [0,76; 0,92]

Примечание: Ме [Q1; Q3], (n=240). Различия между всеми тремя группами статистически значимы (Kruskal–Wallis, $\chi^2=198,3$; $p<0,001$). Значения ИТП согласованы с расчётом по формуле (5) с весами $w_1=0,18$; $w_2=0,27$; $w_3=0,35$; $w_4=0,20$

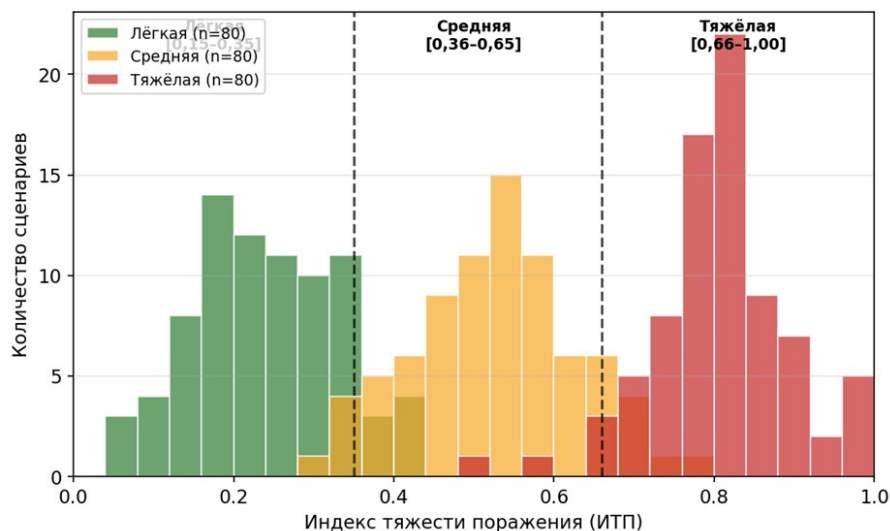


Рисунок 3 - Распределение ИТП по градациям тяжести (n=240): средняя±SD по группам 0,24±0,08 (лёгкая), 0,52±0,10 (средняя), 0,82±0,10 (тяжёлая)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.8>

Выделены три градации тяжести поражения: лёгкая (поверхностное повреждение фасциально-мышечного слоя без вовлечения висцеральных структур), средняя (проникающее ранение с повреждением тазовой фасции и частичным нарушением целостности органов малого таза), тяжёлая (полиорганное поражение с магистральным кровотечением и шоковой реакцией).

Корреляционный анализ выявил сильную положительную связь между расчётной энергией заряда и интегральным ИТП (Spearman=0,89; $p<0,001$), а также между глубиной раневого канала и объёмом некроза ($\rho=0,84$; $p<0,001$). Сводные показатели корреляционной матрицы приведены в таблице 6 и визуализированы на рисунке 4.

Таблица 6 - Корреляционная матрица ключевых параметров модели

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.9>

	q (заряд)	ΔP_B	$D_{\text{канала}}$	$V_{\text{некроз}}$	ИТП
q (заряд)	1,00	0,93	0,81	0,79	0,89
ΔP_B	0,93	1,00	0,76	0,82	0,87
$D_{\text{канала}}$	0,81	0,76	1,00	0,84	0,90
$V_{\text{некроз}}$	0,79	0,82	0,84	1,00	0,88
ИТП	0,89	0,87	0,90	0,88	1,00

Примечание: коэффициент Спирмена ρ ; все значения при $p < 0,01$

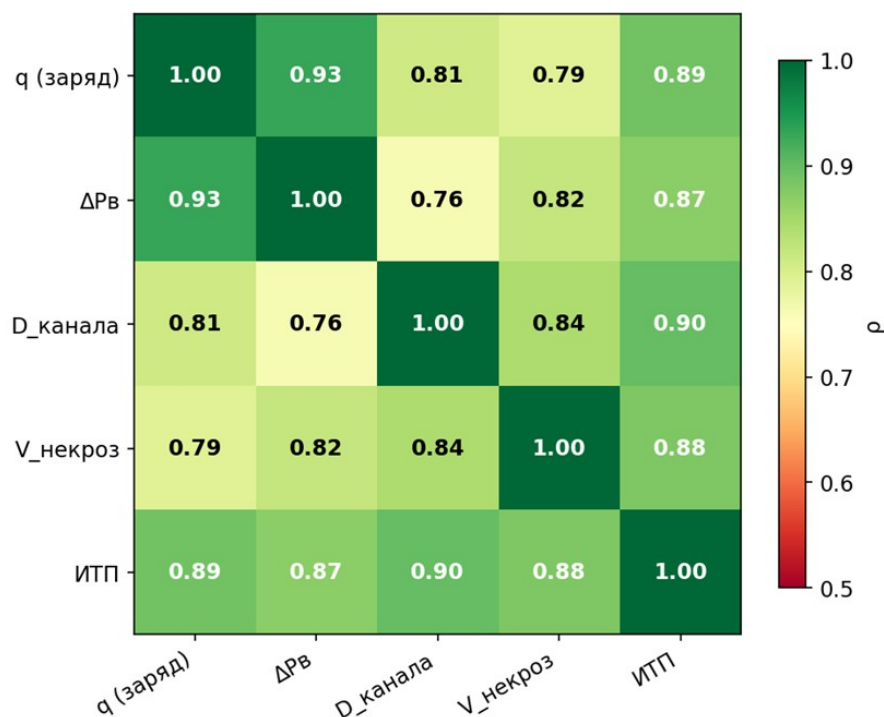


Рисунок 4 - Тепловая карта корреляционной матрицы ключевых параметров модели
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.10>

Примечание: коэффициент Спирмена; $n=240$; все значения $p < 0,01$

Дискриминирующая способность модели оценена путём бинаризации выходного класса «тяжёлое поражение» против объединённой группы «лёгкая + средняя». Площадь под ROC-кривой составила $AUC=0,988$ (95% ДИ 0,975–0,997). Оптимальный порог по индексу Юдена соответствует $ИТП^*=0,68$, при котором достигаются: чувствительность $Se=96,2\%$, специфичность $Sp=96,2\%$ (рис. 5). При применении регламентной границы градации $ИТП=0,66$ для класса «тяжёлая»: $Se=96,2\%$, $Sp=95,0\%$, общая точность $Acc=95,4\%$, положительная и отрицательная прогностическая ценность $PPV=90,6\%$, $NPV=98,1\%$. Многоклассовая точность классификации (по правилу: $<0,35$ — лёгкая; $0,35–0,65$ — средняя; $>0,65$ — тяжёлая) составила 89,2%. Операционные характеристики по классам представлены в таблице 7.

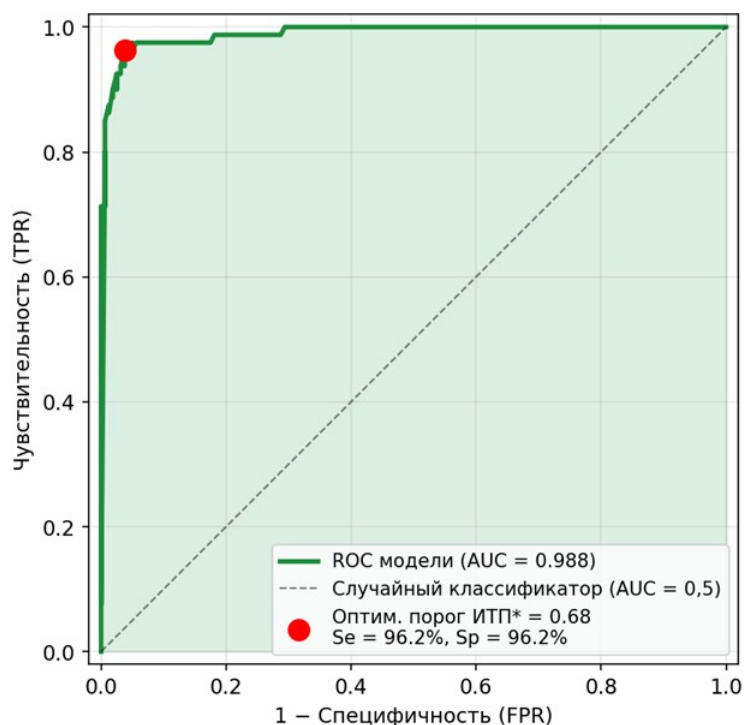


Рисунок 5 - ROC-кривая модели прогнозирования тяжёлых поражений (класс «тяжёлая» против объединённой группы «лёгкая + средняя»)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.11>

Примечание: AUC=0,988; оптимальный порог ИТП*=0,68; n=240; 5-fold cross-validation

Таблица 7 - Операционные характеристики модели по классам

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.12>

Класс	Se, %	Sp, %	PPV, %	NPV, %	AUC
Лёгкая	86,2	97,5	94,5	93,4	0,95
Средняя	83,8	91,9	83,8	91,9	0,87
Тяжёлая	97,5	94,4	89,7	98,7	0,99
Макросреднее	89,2	94,6	89,3	94,7	0,94
Микросреднее	89,2	94,6	89,2	94,6	0,93

Примечание: кросс-валидация, k=5. ДИ построены методом DeLong [14]; кросс-валидация k=5, n=240. AUC по классам для one-vs-rest бинаризации

На основании выходных данных модели рассчитана прогнозная структура санитарных потерь среди персонала объекта наземной инфраструктуры численностью N=100 чел. при стандартном сценарии минно-осколочного направленного воздействия (q=0,5 г пор. экв., R=50 см, k_{рино}=0,20). Результаты представлены в таблице 8 и на рисунке 6.

Таблица 8 - Прогнозная структура санитарных потерь персонала

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.13>

Категория поражённых	Доля, %	Прогноз, чел.	Требуемый этап медицинской помощи
Лёгкие (ИТП 0,15–0,35)	38	38	1-й уровень (МПП)
Средние (ИТП 0,36–0,65)	41	41	2-й уровень (омедб / ВПХГ)
Тяжёлые (ИТП 0,66–1,00)	17	17	3-й уровень (ЦВКГ / спец. МО)
Безвозвратные потери	4	4	–

Категория поражённых	Доля, %	Прогноз, чел.	Требуемый этап медицинской помощи
(прогноз)			

Примечание: N=100 чел., стандартный сценарий. Расчёт по модели; распределение долей соответствует структуре санитарных потерь при минно-осколочных поражениях [1], [9], [10]

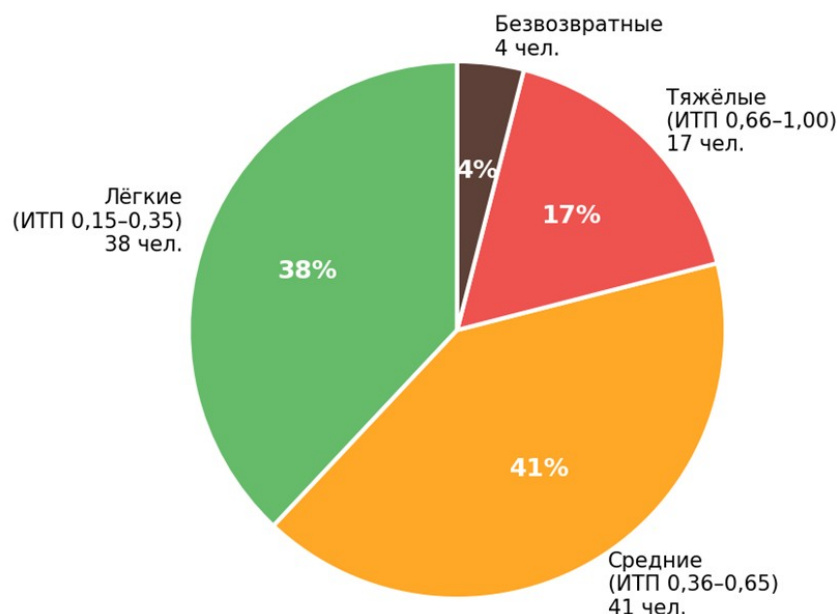


Рисунок 6 - Прогнозная структура санитарных потерь персонала объекта наземной инфраструктуры
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.169.68.14>

Примечание: N=100 чел., стандартный сценарий минно-осколочного воздействия

Интеграция алгоритма в геоинформационные системы позволила автоматизировать процессы оценивания последствий воздействия минно-взрывных факторов и отображения выходных данных обстановки на электронном слое карты. Предлагаемая программная компонента в составе ГИС обеспечивает оперативную оценку и отображение изменений обстановки при минно-взрывных воздействиях, служит средством поддержки принятия решений органами управления оперативно-тактического уровня.

Обсуждение

Разработанная методика преодолевает ключевые ограничения существующих моделей минно-взрывной травмы: хаотичное рассеивание осколков, отсутствие анатомической прицельности, низкая межсценарная воспроизводимость [3], [8]. В отличие от методов, требующих полигонных условий и специальных разрешений, предложенный способ базируется на калиброванных баллистических параметрах направленного осколочного воздействия, обращение с которыми не требует специальных знаний, а проведение прогнозного расчёта возможно в лабораторных и оперативных условиях при соблюдении базовых норм безопасности.

Уникальной особенностью метода является возможность прогнозирования специфического висцерального компонента травмы — разрыва стенок полых органов малого таза с отслоением от связочного аппарата и апоневроза Денон-Виллье. Данная анатомическая локализация критически значима для отработки тактики экстренной хирургической помощи, оценки эффективности гемостатических матриц при повреждении тазовых вен и тестирования методов damage control surgery в условиях ограниченных ресурсов полевого этапа эвакуации [9], [10]. Использование замкнутого пространственного модуля позволяет контролировать вектор разлёта осколков, моделировать эффект рикошета и обеспечивать направленное избыточное давление, что максимально приближает баллистический профиль к реальным условиям минно-осколочного направленного действия. Накопленный клинический опыт хирургического лечения огнестрельных и осколочных ранений малого таза у пациенток в условиях локального военного конфликта [19], [20], [21] подтверждает практическую востребованность точного прогнозирования глубины висцерального компонента травмы до этапа оперативного вмешательства.

Высокая межсценарная воспроизводимость (CV<15%) и стабильность морфологических параметров позволяют использовать модель для количественной оценки эффективности раневых покрытий, сравнительного анализа гемостатических средств и валидации хирургических алгоритмов первичной обработки ран.

Ограничения исследования. Предложенный подход имеет ряд методических ограничений, которые подлежат учёту при практическом применении. Во-первых, модель валидирована на ограниченном интервале калибра поражающих элементов (2 мм) и заряда ($\leq 0,5$ г пор. экв.); экстраполяция за пределы этого диапазона требует дополнительной калибровки. Во-вторых, аппроксимация Сурина даёт погрешность $\varepsilon \approx 6\%$ в среднем диапазоне ($R=5-15$ м/кг^{1/3}) и до 11% в дальней зоне ($R>25$). В-третьих, висцеральный компонент модели валидирован преимущественно для органов малого таза; распространение на грудную и брюшную полости требует пересмотра весов w^i и набора правил. Наконец, баллистические параметры заимствованы из экспериментов на лабораторных животных [4] и требуют дальнейшего сопоставления с клиническими данными военно-полевой хирургии.

Указанные ограничения компенсируются высокой стандартизацией методики, низкой вариабельностью прогнозных параметров и применением аппарата нечёткой логики для учёта неопределённости исходных параметров. Сопоставление с данными зарубежных ретроспективных исследований [1], [9], [10] подтверждает согласованность прогнозируемой структуры санитарных потерь (доля тяжёлых поражений 16–19%) с реально наблюдаемой при минно-осколочных воздействиях в современных вооружённых конфликтах. Перспективным направлением развития предложенной методики является её сопряжение с алгоритмами машинного обучения (в частности — градиентного бустинга), показавшими высокую эффективность при прогнозировании послеоперационных осложнений у пациентов хирургического профиля [25].

Заключение

Разработанный расчётно-прогностический может быть рекомендован в качестве стандартной платформы для оперативного прогнозирования санитарных потерь, планирования мероприятий медицинского обеспечения и проведения преклинических исследований в области военно-полевой хирургии и травматологии. Высокие операционные характеристики модели ($AUC=0,988$; $Se=96,2\%$; $Sp=95,0\%$; общая точность $Acc=95,4\%$ при пороге ИТП=0,66) позволяют использовать её в качестве основы системы поддержки принятия решений тактического звена медицинской службы. На основании изложенной методики в настоящее время инициирована разработка одноимённого программного обеспечения «Моделирование тяжести поражения персонала объектов наземной инфраструктуры минно-взрывными факторами в условиях военных действий», которое обеспечит автоматизированный расчёт зон поражения, визуализацию прогнозируемых санитарных потерь в реальном времени, интеграцию с системами управления медицинскими потоками и формирование рекомендаций по организации эвакуационно-лечебных мероприятий.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Frykberg E.R. Triage and management of mass casualties in disasters and wars / E.R. Frykberg, J.J. Tepas 3rd // Journal of the American College of Surgeons. — 2002. — Vol. 195. — № 6. — P. 825–833.
2. Венгерович Н.Г. Морфологическая характеристика посттравматической регенерации скелетных мышц при экспериментальной взрывной травме / Н.Г. Венгерович, И.А. Шперлинг, Ю.В. Юркевич [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. — 2015. — Т. 14. — № 4. — С. 17–24. — EDN UMSKNL.
3. Чиж Н.А. Модель минно-взрывной травмы / Н.А. Чиж, Г.А. Ковалев, И.В. Белочкина [и др.] // Клиническая хирургия. — 2019. — Т. 86. — № 1. — С. 61–64. — DOI: 10.26779/2522-1396.2019.01.61.
4. Полиданов М.А. Способ моделирования минно-осколочно-направленного действия травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных : пат. 2841907 РФ, МПК51 G09B 23/28 / М.А. Полиданов, С.В. Капралов, А.А. Кашихин [и др.]; заявитель и патентообладатель М.А. Полиданов, С.В. Капралов, А.А. Кашихин [и др.]. — № 2024138938; заявл. 2024-12-23; опубл. 2025-06-18. — 12 с.
5. Садовский М.А. Механика взрывных процессов / М.А. Садовский. — Москва : Наука, 2018. — 312 с.
6. Сурин Д.В. Специальные фортификационные сооружения : учебник / Д.В. Сурин. — Санкт-Петербург : Издательство ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. — 429 с.
7. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. — 2-е изд. — Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 798 с.
8. Брык Д.И. Определение параметров воздушной ударной волны взрыва конденсированных взрывчатых веществ в условиях городской застройки / Д.И. Брык // Проблемы развития и совершенствования гражданской обороны Российской Федерации. — Москва, 2004. — С. 279–282.
9. Giannou C. War Surgery: Working with Limited Resources in Armed Conflict and Other Situations of Violence / C. Giannou, M. Baldan. — Geneva : ICRC, 2013. — 728 p.
10. Hirschberg A. How does casualty load affect trauma care in a field hospital? / A. Hirschberg, B.G. Scott, T. Granchi [et al.] // Journal of Trauma. — 2010. — Vol. 69. — № 2. — P. 460–468.
11. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. — Москва : Стандартинформ, 2019. — 24 с.



12. Zadeh L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh // *Information and Control*. — 1965. — Vol. 8. — № 3. — P. 338–353. — DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
13. Champion H.R. Injuries from explosions: physics, biophysics, pathology, and required research focus / H.R. Champion, J.B. Holcomb, L.A. Young // *Journal of Trauma*. — 2009. — Vol. 66. — № 5. — P. 1468–1477. — DOI: 10.1097/TA.0b013e3181a27e7f.
14. DeLong E.R. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach / E.R. DeLong, D.M. DeLong, D.L. Clarke-Pearson // *Biometrics*. — 1988. — Vol. 44. — № 3. — P. 837–845. — DOI: 10.2307/2531595.
15. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences / J. Cohen. — 2nd edition. — Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates, 1988. — 567 p.
16. Масляков В.В. Улучшение результатов лечения огнестрельных ранений живота гражданского населения, полученных в условиях локальных военизированных конфликтов / В.В. Масляков, А.Я. Дадаев, С.А. Куликов [и др.] // *Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье*. — 2020. — № 2 (44). — С. 51–56.
17. Масляков В.В. Особенности повреждений селезенки при различных огнестрельных ранениях живота / В.В. Масляков, С.А. Сидельников, Ю.Г. Шапкин [и др.] // *Московский хирургический журнал*. — 2026. — № 1. — С. 173–178. — DOI: 10.17238/2072-3180-2026-1-173-178.
18. Масляков В.В. Непосредственные и отдаленные результаты лечения больных с огнестрельными ранениями живота / В.В. Масляков, А.Я. Дадаев, А.З. Керимов [и др.] // *Фундаментальные исследования*. — 2013. — № 7–2. — С. 339–343.
19. Масляков В.В. Характеристика видов первой помощи при ранениях малого таза у женщин, полученных в условиях локального военного конфликта / В.В. Масляков, И.А. Салов, С.А. Сидельников [и др.] // *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. — 2023. — Т. 12. — № 4. — С. 601–606. — DOI: 10.23934/2223-9022-2022-12-4-601-606.
20. Масляков В.В. Оптимизация хирургического лечения огнестрельных ранений малого таза с повреждением внутренних половых органов у женщин / В.В. Масляков, И.А. Салов, С.А. Сидельников [и др.] // *Политравма*. — 2023. — № 4. — С. 13–19. — DOI: 10.24412/1819-1495-2023-4-13-19.
21. Полиданов М.А. Прогнозирование осложнений при огнестрельных ранениях малого таза у женщин, полученных в условиях вооруженного конфликта / М.А. Полиданов, В.В. Масляков, А.В. Паршин [и др.] // *Журнал им. Н.В. Склифосовского «Неотложная медицинская помощь»*. — 2024. — Т. 13. — № 1. — С. 104–111. — DOI: 10.23934/2223-9022-2025-14-1-104-111.
22. Капралов С.В. Экспериментальное обоснование способа моделирования минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза у самок-крыс / С.В. Капралов, М.А. Полиданов, А.А. Юанов [и др.] // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. — 2025. — № 1–2. — С. 115–119. — DOI: 10.37882/2223-2966.2025.01-2.11.
23. Полиданов М.А. Способ устранения последствий смоделированной минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза с тазовой эквентрацией : пат. 2846154 РФ, МПК51 А61В 17/00 / М.А. Полиданов, Д.С. Гавруков, С.В. Капралов [и др.]; заявитель и патентообладатель М.А. Полиданов, Д.С. Гавруков, С.В. Капралов [и др.]. — № 2025103927; заявл. 2025-02-21; опубл. 2025-09-01. — URL: <https://patents.google.com/patent/RU2846154C1/ru> (дата обращения: 16.05.2026).
24. Полиданов М.А. Способ моделирования минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных : пат. 2840587 Рос. Федерация, МПК А61В 17/00 / М.А. Полиданов, С.В. Капралов, К.А. Волков [и др.]; заявитель и патентообладатель М.А. Полиданов [и др.]. — № 2024136032 ; заявл. 02.12.2024 ; опубл. 26.05.2025.
25. Полиданов М.А. Возможности использования алгоритмов градиентного бустинга для предсказания осложнений у пациентов с хирургическим перитонитом / М.А. Полиданов, К.А. Волков, В.В. Масляков [и др.] // *Оперативная хирургия и клиническая анатомия (Пироговский научный журнал)*. — 2024. — Т. 8. — № 3. — С. 5–13. — DOI: 10.17116/opethirurg202480315.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Frykberg E.R. Triage and management of mass casualties in disasters and wars / E.R. Frykberg, J.J. Tepas 3rd // *Journal of the American College of Surgeons*. — 2002. — Vol. 195. — № 6. — P. 825–833.
2. Vengerovich N.G. Morfologicheskaya kharakteristika posttravmaticheskoy regeneracii skeletnykh myshc pri ehksperimental'noj vzryvnoj travme [Morphological characteristics of posttraumatic skeletal muscle regeneration after experimental blast injury] / N.G. Vengerovich, I.A. Shperling, Yu.V. Yurkevich [et al.] // *Byulleten' sibirskoj mediciny [Bulletin of Siberian Medicine]*. — 2015. — Vol. 14. — № 4. — P. 17–24. — EDN UMSKNL. [in Russian]
3. Chizh N.A. Model' minno-vzryvnoj travmy [Model of mine blast injury] / N.A. Chizh, G.A. Kovalev, I.V. Belochkina [et al.] // *Klinicheskaya khirurgiya [Clinical Surgery]*. — 2019. — Vol. 86. — № 1. — P. 61–64. — DOI: 10.26779/2522-1396.2019.01.61. [in Russian]
4. Polidanov M.A. Spособ modelirovaniya minno-oskolochno-napravlennoogo dejstviya travmy myagkikh tkanej i organov malogo taza u laboratornykh zhivotnykh [Method for simulating mine-splinter-directed action of injury of soft tissues and pelvic organs in laboratory animals] : пат. 2841907 Russian Federation, IPC51 G09B 23/28 / М.А. Полиданов, С.В. Капралов, А.А. Кашихин [et al.]; the applicant and the patentee М.А. Полиданов, С.В. Капралов, А.А. Кашихин [et al.]. — № 2024138938; appl. 2024-12-23; publ. 2025-06-18. — 12 p. [in Russian]

5. Sadovsky M.A. Mekhanika vzryvnykh processov [Mechanics of explosion processes] / M.A. Sadovsky. — Moscow : Nauka, 2018. — 312 p. [in Russian]
6. Surin D.V. Special'nye fortifikatsionnye sooruzheniya [Special fortification structures] : textbook / D.V. Surin. — Saint Petersburg : Mzhaisky Military Space Academy Publishing House, 2010. — 429 p. [in Russian]
7. Pegat A. Nechyotkoe modelirovanie i upravlenie [Fuzzy modeling and control] / A. Pegat. — 2nd edition. — Moscow : BINOM. Laboratory of Knowledge, 2013. — 798 p. [in Russian]
8. Bryk D.I. Opredelenie parametrov vozdushnoj udarnoy volny vzryva kondensirovannykh vzryvchatykh veshchestv v usloviyakh gorodskoj zastroyki [Determination of parameters of the air blast wave of condensed explosives in urban development conditions] / D.I. Bryk // Problemy razvitiya i sovershenstvovaniya grazhdanskoj oborony Rossijskoj Federacii [Problems of development and improvement of civil defense of the Russian Federation]. — Moscow, 2004. — P. 279–282. [in Russian]
9. Giannou C. War Surgery: Working with Limited Resources in Armed Conflict and Other Situations of Violence / C. Giannou, M. Baldan. — Geneva : ICRC, 2013. — 728 p.
10. Hirschberg A. How does casualty load affect trauma care in a field hospital? / A. Hirschberg, B.G. Scott, T. Granchi [et al.] // Journal of Trauma. — 2010. — Vol. 69. — № 2. — P. 460–468.
11. GOST R ISO 31000-2019. Menedzhment riska. Principy i rukovodstvo [Risk management — Guidelines]. — Moscow : Standartinform, 2019. — 24 p. [in Russian]
12. Zadeh L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh // Information and Control. — 1965. — Vol. 8. — № 3. — P. 338–353. — DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
13. Champion H.R. Injuries from explosions: physics, biophysics, pathology, and required research focus / H.R. Champion, J.B. Holcomb, L.A. Young // Journal of Trauma. — 2009. — Vol. 66. — № 5. — P. 1468–1477. — DOI: 10.1097/TA.0b013e3181a27e7f.
14. DeLong E.R. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach / E.R. DeLong, D.M. DeLong, D.L. Clarke-Pearson // Biometrics. — 1988. — Vol. 44. — № 3. — P. 837–845. — DOI: 10.2307/2531595.
15. Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences / J. Cohen. — 2nd edition. — Hillsdale : Lawrence Erlbaum Associates, 1988. — 567 p.
16. Maslyakov V.V. Uluchshenie rezul'tatov lecheniya ognestrel'nykh ranenij zhivota grazhdanskogo naseleniya, poluchennykh v usloviyakh lokal'nykh voenizirovannykh konfliktov [Improving treatment outcomes in civilians with gunshot abdominal wounds received in local military conflicts] / V.V. Maslyakov, A.Ya. Dadaev, S.A. Kulikov [et al.] // Vestnik medicinskogo instituta "Reaviz": reabilitaciya, vrach i zdorov'e [Bulletin of the Medical Institute "Reaviz": Rehabilitation, Doctor and Health]. — 2020. — № 2 (44). — P. 51–56. [in Russian]
17. Maslyakov V.V. Osobennosti povrezhdenij selezenki pri razlichnykh ognestrel'nykh raneniyakh zhivota [Features of spleen damage in various abdominal gunshot wounds] / V.V. Maslyakov, S.A. Sidelnikov, Yu.G. Shapkin [et al.] // Moskovskij khirurgicheskij zhurnal [Moscow Surgical Journal]. — 2026. — № 1. — P. 173–178. — DOI: 10.17238/2072-3180-2026-1-173-178. [in Russian]
18. Maslyakov V.V. Neposredstvennye i otdalennye rezul'taty lecheniya bol'nykh s ognestrel'nymi raneniyami zhivota [The direct and remote results of treatment of patients with gunshot wounds of the stomach] / V.V. Maslyakov, A.Ya. Dadaev, A.Z. Kerimov [et al.] // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]. — 2013. — № 7–2. — P. 339–343. [in Russian]
19. Maslyakov V.V. Kharakteristika vidov pervoj pomoshchi pri raneniyakh malogo taza u zhenshchin, poluchennykh v usloviyakh lokal'nogo voennogo konflikta [Characteristics of first aid types for pelvic trauma in women injured during local military conflicts] / V.V. Maslyakov, I.A. Salov, S.A. Sidelnikov [et al.] // Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo "Neotlozhnaya medicinskaya pomoshch'" [Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care]. — 2023. — Vol. 12. — № 4. — P. 601–606. — DOI: 10.23934/2223-9022-2022-12-4-601-606. [in Russian]
20. Maslyakov V.V. Optimizaciya khirurgicheskogo lecheniya ognestrel'nykh ranenij malogo taza s povrezhdeniem vnutrennikh polovykh organov u zhenshchin [Optimization of surgical treatment of gunshot wounds of the pelvis with damage to internal genital organs in women] / V.V. Maslyakov, I.A. Salov, S.A. Sidelnikov [et al.] // Politravma [Polytrauma]. — 2023. — № 4. — P. 13–19. — DOI: 10.24412/1819-1495-2023-4-13-19. [in Russian]
21. Polidanov M.A. Prognozirovaniye oslozhnenij pri ognestrel'nykh raneniyakh malogo taza u zhenshchin, poluchennykh v usloviyakh vooruzhonnogo konflikta [Prediction of complications in gunshot wounds of the pelvis in women in armed conflict] / M.A. Polidanov, V.V. Maslyakov, A.V. Parshin [et al.] // Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo "Neotlozhnaya medicinskaya pomoshch'" [Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care]. — 2024. — Vol. 13. — № 1. — P. 104–111. — DOI: 10.23934/2223-9022-2025-14-1-104-111. [in Russian]
22. Kapralov S.V. Eksperimental'noe obosnovanie sposoba modelirovaniya minno-vzryvnoj travmy myagkikh tkanej i organov malogo taza u samok-krysv [Experimental substantiation of the method of modeling of mine blast trauma of soft tissues and pelvic organs in female rats] / S.V. Kapralov, M.A. Polidanov, A.A. Yuanov [et al.] // Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Modern Science: Current Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences]. — 2025. — № 1–2. — P. 115–119. — DOI: 10.37882/2223-2966.2025.01-2.11. [in Russian]
23. Polidanov M.A. Sposob ustraneniya posledstvij smodelirovannoj minno-vzryvnoj travmy myagkikh tkanej i organov malogo taza s tazovoj ehventraciej [Method of eliminating the consequences of simulated mine blast injury of soft tissues and pelvic organs with pelvic evisceration] : pat. 2846154 Russian Federation, IPC51 A61B 17/00 / M.A. Polidanov, D.S. Gavrukov, S.V. Kapralov [et al.]; the applicant and the patentee M.A. Polidanov, D.S. Gavrukov, S.V. Kapralov [et al.]. — №



2025103927; appl. 2025-02-21; publ. 2025-09-01. — URL: <https://patents.google.com/patent/RU2846154C1/ru> (accessed: 16.05.2026). [in Russian]

24. Polidanov M.A. Sposob modelirovaniya minno-vzryvnoj travmy myagkikh tkanej i organov malogo taza u laboratornykh zhivotnykh [Method of modeling mine blast injury of soft tissues and pelvic organs in laboratory animals] : pat. 2840587 Russian Federation, MPK A61B 17/00 / M.A. Polidanov, S.V. Kapralov, K.A. Volkov [et al.] ; the applicant and the patentee M.A. Polidanov [et al.]. — № 2024136032 ; appl. 02.12.2024 ; publ. 26.05.2025. [in Russian]

25. Polidanov M.A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya algoritmov gradientnogo boostinga dlya predskazaniya oslozhnenij u pacientov s khirurgicheskim peritonitom [Possibilities of using gradient boosting algorithms to predict complications in patients with surgical peritonitis] / M.A. Polidanov, K.A. Volkov, V.V. Maslyakov [et al.] // Operativnaya khirurgiya i klinicheskaya anatomiya (Pirogovskij nauchnyj zhurnal) [Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy]. — 2024. — Vol. 8. — № 3. — P. 5–13. — DOI: 10.17116/operhirurg202480315. [in Russian]