

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯЖЕСТИ ПОРАЖЕНИЯ ПЕРСОНАЛА УДАРНОЙ ВОЛНОЙ ВЗРЫВОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ: ПРОГНОЗНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

¹М. Ю. Лебедев, ¹И. В. Свитнев*, ²Е. А. Харитоновна

¹Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

ВВЕДЕНИЕ. Количество чрезвычайных ситуаций с детонацией существенных запасов взрыво- и пожароопасных веществ за последние годы на территории страны значительно увеличилось. В случае взрывов большой мощности (ВБМ) возникает прямая угроза безопасности объектов береговой инфраструктуры Военно-Морского Флота России (ВМФ), что обуславливает необходимость прогнозирования последствий воздействия воздушной ударной волны (ВУВ) органами управления на персонал этих объектов для оперативной оценки санитарных потерь и организации эвакуационных мероприятий.

ЦЕЛЬ. Разработка методики оценки санитарных потерь персонала объектов наземной инфраструктуры ВМФ от воздушной ударной волны ВБМ в условиях нечеткости исходных параметров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В основе методики лежит метод логико-лингвистического моделирования (ЛЛМ), учитывающий принадлежность исходных данных к интервальным значениям параметров применения ВБМ и условий среды, влияющих на распространение избыточного давления ВУВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ. С помощью разработанной методики появляется возможность определить зоны поражения персонала объектов ВМФ и лиц, подвергшихся воздействию ВУВ ВБМ, по тяжести воздействия поражающего фактора на организм человека. Методика обеспечивает прогнозирование санитарных потерь личного состава и визуализацию данных оперативной обстановки.

ОБСУЖДЕНИЕ. Предлагаемая методика в условиях нечетких исходных данных о ВБМ обеспечивает моделирование поражающего действия ВУВ на здоровье человека, учитывает влияние особенностей местности, погоды и других факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Рассмотренная методика позволяет прогнозировать санитарные потери от воздействия ВУВ при ВБМ с использованием программных средств, оперативно оценивать и отображать изменения обстановки, обеспечивать поддержку принятия решения органами управления при подготовке мероприятий медицинского обеспечения личного состава объектов ВМФ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, взрыв большой мощности, воздушная ударная волна, логико-лингвистическая модель, нечеткое множество, оценка обстановки

*Для корреспонденции: Свитнев Игорь Владимирович, e-mail: isvitnev@mail.ru

*For correspondence: Igor V. Svitnev, e-mail: isvitnev@mail.ru

Для цитирования: Лебедев М. Ю., Свитнев И. В., Харитоновна Е. А. Моделирование тяжести поражения персонала ударной волной взрывов большой мощности: прогнозное исследование // *Морская медицина*. 2026. Т. 12, № 1. С. 79–86, EDN: <https://elibrary.ru/BTVREG>

For citation: Lebedev M. Yu., Svitnev I. V., Kharitonova E. A. Modeling the severity of personnel injuries caused by high-power explosions: forecasting research // *Marine Medicine*. 2026. Vol. 12, No. 1. P. 79–86, EDN: <https://elibrary.ru/BTVREG>

MODELING THE SEVERITY OF PERSONNEL INJURIES CAUSED BY HIGH-POWER EXPLOSIONS: FORECASTING RESEARCH

¹Mikhail Yu. Lebedev, ¹Igor V. Svitnev*, ²Elena A. Kharitonova

¹Military Space Academy named after A. F. Mozhaysky, St. Petersburg, Russia

²Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

INTRODUCTION. The number of emergencies involving the detonation of significant stocks of explosive and flammable substances has increased significantly in the country in recent years. In the case of high-power explosions (HPE), there is a direct threat to the safety of the coastal infrastructure facilities of the Russian Navy (RN), which necessitates the need for management authorities to predict the effects of an air shock wave (ASW) on the personnel of these facilities in order to promptly assess sanitary losses and organize evacuation measures.

OBJECTIVE. Development of a methodology for assessing sanitary losses of personnel of the Navy's ground infrastructure facilities by an airborne shock wave in conditions of uncertainty of initial parameters.

MATERIALS AND METHODS. The methodology is based on the method of logical-linguistic modeling (LLM), which takes into account the affiliation of the initial data to the interval values of the parameters of the HPE application and environmental conditions affecting the spread of overpressure ASW.

RESULTS. With the help of the developed methodology, it becomes possible to determine the zones of damage to personnel of RN facilities and persons exposed to ASW HPE by the severity of the impact of the damaging factor on the human body. The methodology provides forecasting of sanitary losses of personnel and visualization of operational situation data.

DISCUSSION. The proposed technique, in conditions of fuzzy initial data on the power of the ammunition used, provides modeling of the damaging effect of explosives on human health, takes into account the influence of terrain features, weather and other factors.

CONCLUSION. The considered methodology makes it possible to predict sanitary losses from the effects of high-explosive devices when using HPE using software tools, promptly assess and display changes in the situation, and support management decision-making for the organization of medical support activities for personnel of facilities RN.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, high-power explosion, air shock wave, logical-linguistic model, fuzzy set, situation assessment

Введение. Статистика чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся возникновением взрывов с сопутствующими жертвами в результате детонации взрывоопасных веществ, содержащихся на промышленных предприятиях, объектах хранения нефтепродуктов и складах вооружения показывает, что за последние три года количество пострадавших и ущербкратно увеличились, в сравнении с предшествующим периодом. Существенное количество подобных взрывов происходит с выделением энергии во много раз превышающей заряд традиционных боеприпасов, а возникающая при этом воздушная ударная волна воздействует на значительных расстояниях.

В случае взрывов большой мощности (ВБМ) возникает прямая угроза безопасности объектов береговой инфраструктуры Военно-Морского Флота России (ВМФ), что обуславливает необходимость прогнозирования последствий воздействия воздушной ударной волны (ВУВ) органами управления на персонал этих объектов для оперативной оценки санитарных потерь и организации эвакуационных мероприятий.

На начальном этапе обстановка оценивается методом прогнозирования, а позже, — исходя

из данных фактически сложившейся обстановки (из донесений и по данным разведки). Следует учитывать, что каждый вариант получения данных о параметрах ВБМ обладает лишь определенной степенью достоверности. Это обуславливается погрешностью средств измерения, приведением расчетной энергии ВБМ к реальной для дальнейшего оценивания последствий, а также несовершенством научно-методического аппарата, при котором не в полной мере учитывается влияние условий среды (погоды, рельефа местности и т. д.) [1]. Одновременно с этим сложность представляет оценка и отображение обстановки при массовых ВБМ.

Цель. Разработать методику оценки санитарных потерь персонала объектов наземной инфраструктуры ВМФ воздушной ударной волной ВБМ в условиях нечеткости исходных параметров.

Материалы и методы. В основе методики лежит метод логико-лингвистического моделирования (ЛЛИМ), учитывающий принадлежность исходных данных к интервальным значениям параметров ВБМ и условий среды, влияющих на распространение избыточного давления ВУВ.

Реализация методики обеспечивает поддержку принятия решения и интегрирование в современные геоинформационные системы средств оперативного оценивания обстановки при ВБМ.

Результаты. С помощью разработанной методики появляется возможность определить зоны поражения персонала объектов ВМФ и лиц, подвергшихся воздействию ВУВ ВБМ, по тяжести воздействия поражающего фактора. Методика обеспечивает прогнозирование санитарных потерь личного состава и визуализацию данных оперативной обстановки.

Модель, составляющая основу методики, базируется на теории вероятности и использовании закона подобия поражения ВУВ ВБМ, что позволяет классифицировать тяжесть поражения персонала объектов ВМФ, исходя из первичной информации и массива данных, применяемых для оценивания обстановки. Отталкиваясь от формулы, предложенной М. А. Садовским для определения избыточного давления (Δp_v) во фронте ВУВ, использовано выражение 1, а для повышения точности расчетов – подход аппроксимации, предложенный Д. В. Суриным¹.

$$\Delta p_v = 0,84 \frac{\sqrt[3]{q}}{R} + 2,7 \frac{\sqrt[3]{q}}{R^2} + 7 \frac{q}{R^3},$$

где R – удаление объекта от эпицентра взрыва; q – энергия ВБМ в тротиловом эквиваленте.

В соответствии с действующим порядком оценки обстановки, в первую очередь на основе данных разведки о примененном ВБМ, определяется высвободившаяся энергия при ВБМ (q).

Разведывательная информация может поступать из различных источников, а также на основе косвенной оценки последствий применения ВБМ. ВБМ могут возникать по различным причинам, в том числе при транспортировке опасных грузов воздушным транспортом, в результате чего подрыв произойдет в воздухе. Рассматривая воздействие на человека ВУВ, следует учитывать высоту детонации, для чего по приведенной высоте ВБМ ($\bar{H}$) определяется высотный коэффициент относительно уровня земли.

¹Сурин Д. В. Специальные фортификационные сооружения: учебник. Санкт-Петербург: Изд-во ВКА им. А. Ф. Можайского. 2010. 342 с.

К основным учитываемым параметрам поражения ВУВ относится удаление человека от эпицентра взрыва (R).

На следующем этапе определяется распространение ВУВ в зависимости от условий среды. В дальнейшем будут рассмотрены лишь некоторые из условий, оказывающих влияние на распространение ВУВ ВБМ в среде. Для определения искомого значения в модели используются заложенный массив данных из расчетных справочников, а также влияние условий расположения людей на местности [1].

В модели применяются лингвистические переменные: энергия ВБМ (x_1), вид взрыва (x_2), удаленность от эпицентра (x_3), рельеф местности (x_4), погодные условия (x_5), степень поражения (баротравма) (x_6), зона поражения (сопутствующие повреждения организма) (y) с соответствующими им терм-множествами. Например:

$$(x_1, T_1, X_1, G_1, M_1)$$

где x_1 – «энергия ВБМ»; T_1 – базовое терм-множество («малая», «средняя», «крупная», «сверхкрупная»); X_1 – [0,100] (тыс. т); G_1 – процедура образования новых термов с помощью различных связок («и», «или», «очень», «слегка») и модификаторов; M_1 – процедура задания (семантическое правило) на $X_1 = [1, 10]$ нечетких подмножеств A_{11} = «малых», A_{12} = «средних», A_{13} = «крупных», A_{14} = «сверхкрупных» (см. рис. 1), а также нечетких множеств для термов из $G_1(T_1)$.

Далее сформируем базу нечетких правил с MISO-структурой из множества отдельных продукционных правил вида «ЕСЛИ A , ТО B » (где A и B – предпосылки и заключение правил соответственно) [2].

В результате фрагмент правил нечеткой ЛЛМ примет вид:

П1: ЕСЛИ «Энергия ВБМ» есть «средняя» И «вид взрыва» есть «наземный» И «удаленность от эпицентра» есть «небольшая» И «рельеф» есть «равнина» И «погодные условия» есть «ясно» И «степень поражения (баротравма)» есть «тяжелая», ТО «зона поражения (сопутствующие повреждения организма)» есть «переломы, повреждение внутренних органов (внутренние кровотечения, сотрясение мозга, длительная потеря сознания)» (П1: ЕСЛИ x_1 есть A_{11} , И x_2 есть A_{21} И x_3 есть A_{31} И x_4 есть A_{41} И x_5 есть A_{51} И x_6 есть A_{61} И x_7 есть A_{71} , ТО y есть B_3).

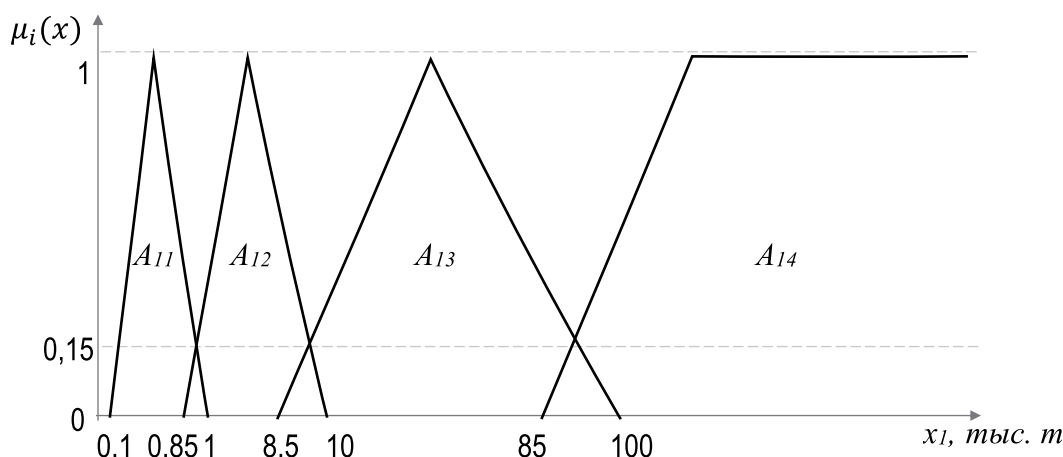


Рис. 1. Формализация лингвистической переменной x_1 «энергия взрыва»
Fig. 1. Formalization of the linguistic variable x_1 “the energy of the explosion”

При необходимости точность предложенной модели можно повысить дополнительно, принимая во внимание более существенное промежуточное состояние, тем самым задавая еще одно правило, детализирующее воздействие фактора и приводящее к новым информационным кластерам [2, 3].

Заданная совокупность входных переменных и выходных данных представлена в виде табл. 1²:

На основе предложенного подхода с использованием Python v3.14 и библиотек NumPy, Matplotlib авторами разработана программа, позволяющая в автоматическом режиме оценивать масштабы и последствия воздействия ВУВ ВБМ с отображением обстановки на слое электронной карты в геоинформационной системе «Оператор».

Опишем принципиальный алгоритм работы программы, включающий четыре основных этапа.

На первом этапе алгоритма произведен анализ входных данных, включающих параметры ВБМ, которые могут быть представлены в виде полинома на рис. 2.

На втором этапе программа автоматически оценивает район взрыва и, опираясь на базу данных, позволяющую учитывать влияние

местности и погоды на распространение ВУВ ВБМ, формирует матрицы смежности³ [4, 5].

Приведенные этапы даны в виде декартова произведения множеств на основе Т-импликации, задаваемого выражением:

$$\mu_{\bar{A}_{11} \times \bar{A}_{12} \times \bar{A}_{13} \times \bar{A}_{14} \times \bar{A}_{15} \times \bar{A}_{16} \times \bar{A}_{17}}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) = T\left\{\mu_{\bar{A}_{11}}(x_1), T\left\{\mu_{\bar{A}_{12}}(x_2), T\left\{\mu_{\bar{A}_{13}}(x_3), T\left\{\mu_{\bar{A}_{14}}(x_4), T\left\{\mu_{\bar{A}_{15}}(x_5), T\left\{\mu_{\bar{A}_{16}}(x_6), T\left\{\mu_{\bar{A}_{17}}(x_7)\right\}\right\}\right\}\right\}\right\}\right\} \quad (3)$$

где $\bar{A}_{(i(1...7))}^*$ – нечеткое подмножество, отражающее фактическое значение переменной $x_{i...7}$, определенное на $\{X\}$, с функцией принадлежности $\mu_{\bar{A}_{(i(1...7))}^*}(x_{(1...7)}) \in [0,1], i=1...864$.

На третьем этапе оператор устанавливает степени поражения, для которых выходные данные моделируются с использованием нечеткой ЛЛМ и механизма нечеткого вывода, описываемого выражением:

$$\mu_{B_i}(y) = S_{i=1...864} \sup\{T[a_i, \mu_{\bar{A}_i \rightarrow B_i}(x, y)]\} = S_{i=1...864} \sup_{x_1, \dots, x_7 \in X} \{T(\mu_{\bar{A}_{11}}(x_1), T(\mu_{\bar{A}_{12}}(x_2), T(\mu_{\bar{A}_{13}}(x_3), T(\mu_{\bar{A}_{14}}(x_4), T(\mu_{\bar{A}_{15}}(x_5), T(\mu_{\bar{A}_{16}}(x_6), T(\mu_{\bar{A}_{17}}(x_7), \mu_{B_i}(y))))))\} \quad (4)$$

В целом реализуемый алгоритм работы программы представлен на рис. 3.

При формировании вывода представляются результаты с различной вероятностью поражения организма человека. Для получения единственного ответа используется метод дефаззификации, при котором четкое значение

²Арефьева Е. В., Бабусенко М. С., Барышев Е. М. Проблемы защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях в условиях современных вызовов и угроз: справочное пособие. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. 2017. 452 с.

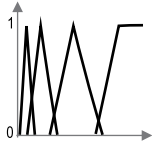
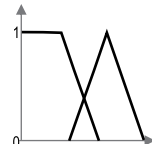
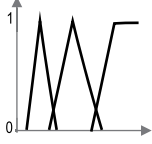
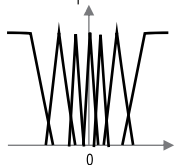
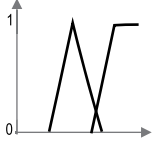
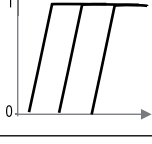
³Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: учебное издание. 2-е изд., Москва: БИНОМ. Лаборатория изданий. 2013. 798 с. ISBN: 978-5-9963-1319-8. Перевод с англ.

Таблица 1

Входные и выходные данные для моделирования

Table 1

Input and output data for simulation

Показатель	Диапазон измерений	Терм	Тип функции принадлежности	Адаптер (преобразователь)
x_i	X	T	M	
ВХОДНЫЕ				
Энергия ВБМ	[0.1, 1] (тыс. т)	Малая		$q \approx q_p$
	[0.85, 10] (тыс. т)	Средняя		
	[8.5, 100] (тыс. т)	Крупная		
	{> 85} (тыс. т)	Сверхкрупная		
Вид взрыва	[0, 3.5] (м/т ^{1/3})	Наземный		$\bar{H} = \frac{H}{\sqrt[3]{q}}$
	[3.5, 20] (м/т ^{1/3})	Воздушный		
Удаленность от эпицентра (закон подобия)	[1, 5] (км)	Небольшая		$R_2 = \frac{R_1 \sqrt[3]{q_2}}{\sqrt[3]{q_1}}$
	[3, 8] (км)	Большая		
	[5, 15] (км)	Очень большая		
Рельеф местности	[0, 12] (град)	Равнина		$M_p = 1$
	[8 – 20] (град)	Пологий подъем		$M_{пш} = [1.15, 1.3]$
	[15, 50] (град)	Подъем холма (обратный скат)		$M_{пх} = 2$ $M_{ос} = [0.9, 0.8]$
	{> 45} (град)	Крутой подъем		$M_{кп} = 2,5$ $M_{ос} = [0.8, 2]$
Погодные условия	без осадков	Ясно		$P_я = 1$
	[0.41, 2.5] мм/ч	Дождь		$P_д = [0.9, 0.85]$
	{>1.25} мм/ч	Ливень		$P_л = 0,7$
Степень поражения (баротравма)	[0.2, 0.4} кг/см ²	Легкая		$[\Delta p_{V_{min}}, \Delta p_{V_{max}}]$
	[0.4, 0.6} кг/см ²	Средней тяжести		
	{>0.6} кг/см ²	Тяжелая		
ВЫХОДНЫЕ				
Зона поражения (сопутствующие повреждения организма)	$\Delta p_в \leq \Delta p_{V_{min}}$	Вывихи, ушибы	ВЫВОД: о тяжести вреда здоровью и санитарных потерях	
	$\Delta p_{V_{min}} > \Delta p_в < \Delta p_{V_{max}}$	Контузия, повреждение слуха		
	$\Delta p_в \geq \Delta p_{V_{max}}$	Переломы, повреждения внутренних органов		

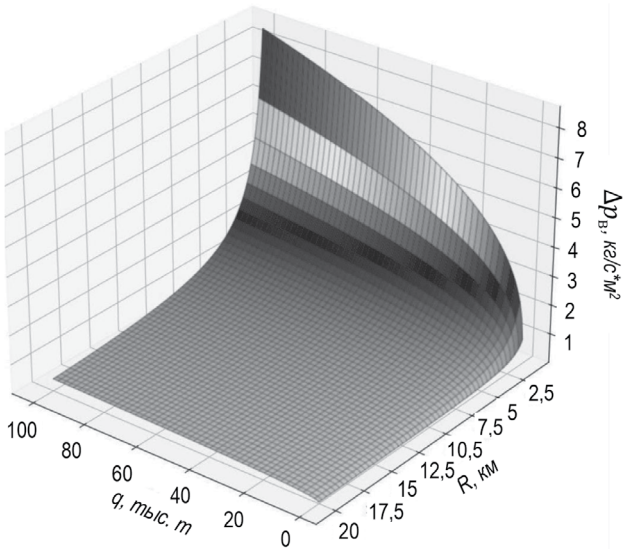


Рис. 2. Полином на основе сопряжения входных данных
Fig. 2. A polynomial based on the conjugation of input data

выходной переменной y^* определяется «центром тяжести» $\mu_{\bar{B}_i}(y)$ с предельными значениями $Y_{\max}$ и $Y_{\min}$.

Интегрирование описанной программы в геоинформационную систему «Оператор» позволило автоматизировать процессы оценивания последствий воздействия ВУВ ВБМ и отображения выходных данных обстановки на электронном слое карты. Вариант отображения результатов моделирования представлен на рис. 4.

Предлагаемая программная компонента в составе геоинформационной системы обеспечивает оперативную оценку и отображение изменений обстановки при ВБМ, служит в качестве средства поддержки принятия решений органами управления оперативно-тактического уровня. Разработанная методика позволяет перейти к оценке санитарных потерь, планированию мероприятий медицинского обеспечения, координации потоков эвакуированных пора-

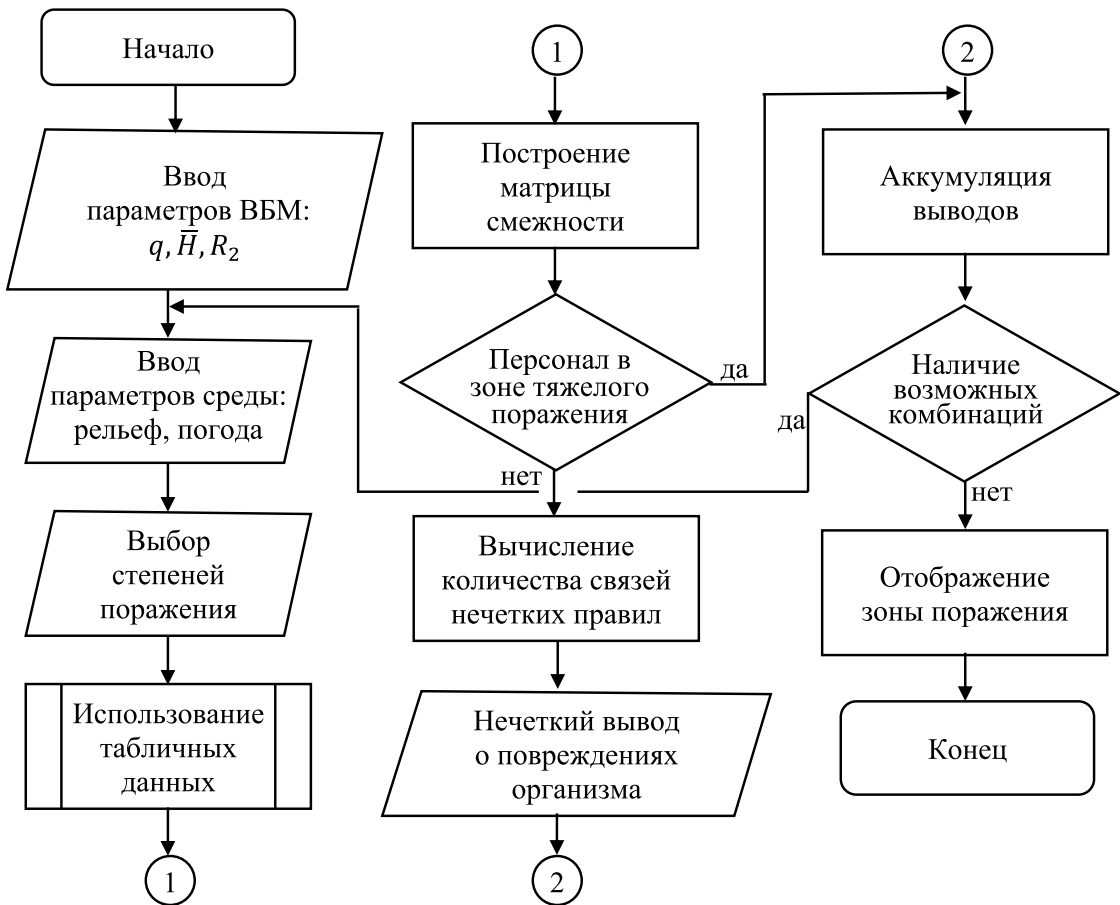


Рис. 3. Алгоритм логико-лингвистического моделирования и вывода данных о зоне поражения (сопутствующих повреждениях организма)
Fig. 3. An algorithm for logical and linguistic modeling and data output on the affected area (concomitant injuries of the body)

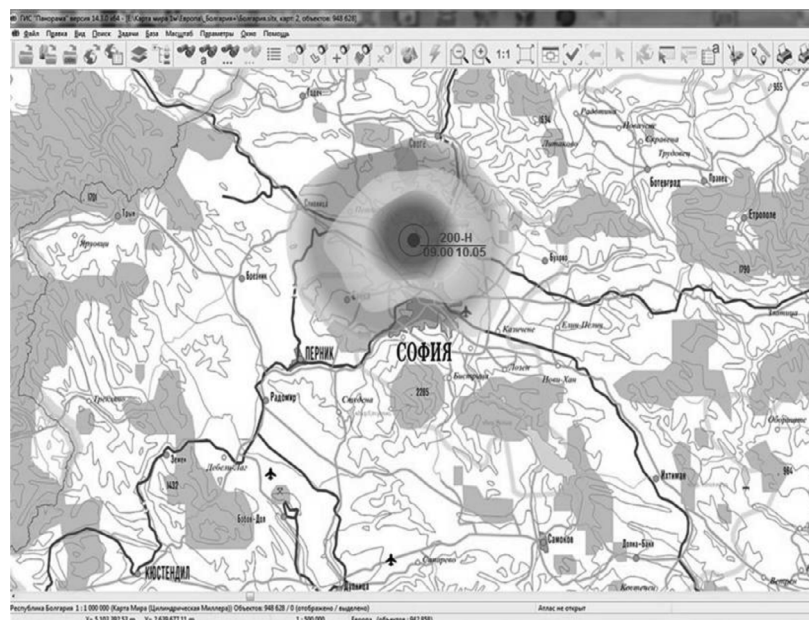


Рис. 4. Области поражения ВУВ ВБМ в виде округлых зон неправильной формы с градиентной заливкой
Fig. 4. Lesion areas HPE ASW in the form of rounded irregular shaped zones with gradient fill

женных по степени вреда здоровью при ВБМ.

Обсуждение. Предлагаемая методика в условиях нечетких исходных данных о ВБМ обеспечивает моделирование поражающего действия взрывной волны на здоровье человека, учитывает влияние особенностей местности, погоды и других факторов.

Таким образом, принимая во внимание вероятностные характеристики определяемых параметров ВБМ, впервые предложено использовать ЛЛМ для оценки поражающего действия ВУВ ВБМ на личный состав, учитывая особенностей среды.

Заключение. Рассмотренная методика позволяет прогнозировать санитарные потери

от воздействия ВУВ при ВБМ с использованием программных средств, оперативно оценивать и отображать изменения обстановки, обеспечивать поддержку принятия решения органами управления организации мероприятий медицинского обеспечения личного состава объектов ВМФ.

Авторы отмечают, что при планировании мероприятий медицинского обеспечения в области гражданской обороны органами федерального, регионального и местного уровней управления рассмотренный подход может быть применим для прогнозирования последствий воздействия ВБМ по административным центрам и промышленным объектам.

Сведения об авторах

Лебедев Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, преподаватель, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского; Россия, 671432, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13; SPIN: 3759-7143; ORCID: 0009-0003-8876-7846; e-mail: lebedev.m1hall@yandex.ru

Свитнев Игорь Владимирович – кандидат военных наук, доцент, Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского; Россия, 671432, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13; SPIN: 8142-8660; ORCID: 0000-0002-8862-1797; e-mail: isvitnev@mail.ru

Харитонова Елена Александровна – кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой основ медицинских и специальных знаний, Санкт-Петербургский государственный университет; Россия, 199034, Университетская набережная, д. 7-9; SPIN:3069-4580; ORCID: 0000-0002-4851-2756; e-mail: xaritonova_ea@mail.ru

Information about the authors

Mikhail Yu. Lebedev – Cand. of Sci. (Tech.), Lecturer, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky; Russia, 671432, Saint Petersburg, Zhdanovskaya Str., 13; SPIN: 3759-7143; ORCID: 0009-0003-8876-7846; e-mail: lebedev.m1hall@yandex.ru

Igor V. Svitnev – Cand. of Sci. (Military), Associate Professor, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky; Russia, 671432, Saint Petersburg, Zhdanovskaya Str., 13; SPIN: 8142-8660; ORCID: 0000-0002-8862-1797; e-mail: isvitnev@mail.ru

Elena A. Kharitonova – Cand. of Sci. (Med.), Associate Professor, Head of Department of Fundamentals of Medical and Special Knowledge, Saint Petersburg State University; Russia, 199034, Saint Petersburg, University embankment, 7-9; SPIN:3069-4580; ORCID: 0000-0002-4851-2756; e-mail: xaritonova_ea@mail.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — М. Ю. Лебедев, И. В. Свитнев; сбор и математический анализ данных — М. Ю. Лебедев, И. В. Свитнев, Е. А. Харитонова; подготовка рукописи — Е. А. Харитонова

Author contribution. All authors confirm their authorship according to the international criteria of the ICMJE (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Special contribution: MYuL, IVS the concept and plan of the study. MYuL, IVS, EAKh collection and mathematical analysis of data. EAKh preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.

Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: 15.11.2025

Принята к печати/Accepted: 15.03.2026

Опубликована/Published: 30.03.2026

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Брык Д. И. Определение параметров воздушной ударной волны взрыва конденсированных взрывчатых веществ в условиях городской застройки // *Проблемы развития и совершенствования гражданской обороны Российской Федерации в современных условиях* (Москва, 8–9 апреля 2004 года), М.: 2004. С. 279–282 [Bryk D. I. Determination of the parameters of the air shock wave of an explosion of condensed explosives in urban areas. *Collection of papers from the conference “Problems of development and improvement of civil defense in the Russian Federation in modern conditions* (Moscow, April 8–9), 2004, Moscow: 2004; pp. 279–282 (In Russ.)].
2. Долгов А. А., Елисеев А. И., Хорохорин М. А., Лыонг Х. Д. К вопросу оценки живучести сложных систем с использованием распределенных систем на основе графовой модели // *Прикладная математика, управление и информатика: сборник науч. трудов*. Белгород: БелГУ; 2012. Т. 2. С. 287–292 [Dolgov A. A., Eliseev A. I., Khorokhorin M. A., Lyong H. D. On the assessment of the survivability of complex systems using distributed systems based on a graph model. *Applied mathematics, control, and computer science: Collection of scientific papers*. Belgorod: BelSU; 2012, Vol. 2, pp. 287–292 (In Russ.)].
3. Мухин В. И., Рыбаков А. В., Вильданов Р. Р. О расчетной модели оценки поражающего воздействия воздушной ударной волны от обычных средств поражения // *Известия Института инженерной физики*. 2017. № 1. С. 58–63 [Mukhin V. I., Rybakov A. V., Vildanov R. R. Estimated valuation models damaging effects of air shock waves from conventional weapons. *Izvestiya of the institute of engineering physics*, 2017, No. 1, pp. 58–63 (In Russ.)].
4. Рашитов Р. Ф. Применение компьютерного анализа для оценки влияния ударных волн на операторные здания // *Нефтегазовое дело: Уфимский государственный нефтяной технический университет*. 2006. № 2. С. 49 [Rashitov R. F. Application of computer analysis for assessing the impact of shock waves on operator buildings. *Oil and gas business: Ufa state petroleum technological university*, 2006, No. 2, p. 49 (In Russ.)].
5. Носков С. И. Применение методов математического моделирования для анализа чрезвычайных ситуаций // *Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами*. Иркутский государственный университет путей сообщения. 2021. № 2 (10). С. 13–24 [Application of mathematical modeling methods for analysis of emergencies. *Information technologies and mathematical modeling in management of complex systems*. Irkutsk state university of railways, 2021, No. 2 (10), pp. 13–24 (In Russ.)]. doi: 10.26731/2658-3704.2021.2(10).13-24.