

УДК 358.2, 519.21
Научная специальность: 1.1.4; 6.2.2
<https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-5-72-85>

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2023

Моделирование ведения разведки минно-взрывных заграждений в условиях неопределенности

Шевченко А.В.*,

Верейкин Д.А.,

Кузьмищев П.Г.,

Рябухин Д.А.,

Радченко С.С.,

Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск Министерства обороны Российской Федерации, 143432, Россия, Московская обл., городской округ Красногорск, рп Нахабино, ул. Карбышева, д. 2

Аннотация

В условиях резкого возрастания роли минно-взрывных заграждений в современных вооруженных конфликтах разведка минно-взрывных заграждений является одной из важнейших задач инженерных войск, обеспечивающих успешное выполнение войсковыми подразделениями своих боевых задач. Однако в ситуациях, когда противник пытается скрыть свои намерения, выполнение задач по ведению инженерной разведки практически всегда протекает в условиях неопределенности. В этих случаях на передний план выдвигаются методы исследования, позволяющие моделировать процесс ведения разведки минно-взрывных заграждений в стохастической постановке. В статье приводится порядок составления стохастической модели по разведке участка минного поля на основе статистических функций, описывающих временной характер последовательных действий инженерно-разведывательной группы. Выходной величиной по стохастической модели является функция распределения в виде времени, необходимого инженерно-разведывательной группе для проведения разведки минно-взрывных заграждений. На основе риск-ориентированного подхода и стохастической модели исследовано влияние факторов и условий на время ведения разведки инженерно-разведывательной группой, проведено их ранжирование. Учитывая, что факторы, которые определяют время на доразведывание обнаруженных мин и обработку ложных сигналов, характеризуются высоким влиянием, предложено одно из направлений совершенствования средств поиска мин, заключающееся в совмещении с миноискателем дополнительного канала, позволяющего определять факт наличия взрывчатого вещества по его химическому образу в виде паров характерных для него компонентов в воздухе. Сделан вывод о необходимости внедрения риск-ориентированного подхода в научную и практическую деятельность инженерных войск.

Ключевые слова: инженерная разведка; инженерно-разведывательная группа; инженерные войска; минно-взрывное заграждение; модель стохастическая; риск-ориентированный подход; функция распределения случайной величины.

Для цитирования: Шевченко А.В., Верейкин Д.А., Кузьмищев П.Г., Рябухин Д.А., Радченко С.С. Моделирование ведения разведки минно-взрывных заграждений в условиях неопределенности // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 5. С. 72–85. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-5-72-85>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Modeling Explosive Ordnance Disposal Reconnaissance Under Uncertainty

Andrey V. Shevchenko*,

Dmitry A. Vereikin,

Pavel G. Kuzmischev,

Denis A. Ryabukhin,

Svetlana S. Radchenko,

Central Research Test Institute
of Engineering Troops Ministry
of Defense of the Russian
Federation,

Karbyshev str., 2, Nakhbino,
Moscow Region, Krasnogorsk
District, 143432, Russia

Abstract

With the dramatic increase in the role of mine blast obstacles in modern armed conflicts, mine blast reconnaissance is one of the most important tasks of engineering troops to ensure the successful execution of their combat tasks by military units. However, in situations where the enemy is trying to conceal their intentions, engineering reconnaissance tasks are almost always carried out under conditions of uncertainty. In these cases the research methods that allow modeling the process of reconnaissance of mine blast obstacles in a stochastic formulation come to the fore. The article presents the procedure of stochastic modeling of minefield section reconnaissance on the basis of statistical functions describing temporal character of consecutive actions of engineering-intelligence group. The output of the stochastic model is a distribution function in the form of the time required by an engineering reconnaissance team to conduct minefield reconnaissance. Based on the risk-based approach and the stochastic model, the influence of factors and conditions on the time of reconnaissance by an engineering reconnaissance team was investigated and their ranking was performed. Given that the factors that determine the time of follow-up survey of detected mines and processing of false signals are characterized by a high influence, it is proposed one of the ways to improve mine detection means, consisting in combining with a mine detector additional channel that allows you to determine the presence of an explosive substance in its chemical image in the form of vapor characteristic of its components in the air. The conclusion is made about the necessity of implementing a risk-oriented approach in the scientific and practical activities of engineering troops.

Keywords: engineering reconnaissance; engineering reconnaissance group; engineering troops; mine blast obstruction; stochastic model; risk-based approach; random variable distribution function.

For citation: Shevchenko A.V., Vereikin D.A., Kuzmischev P.G., Ryabukhin D.A., Radchenko S.S. Modeling explosive ordnance disposal reconnaissance under uncertainty // *Issues of Risk Analysis*. 2023;20(5):72-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-5-72-85>.

The authors declare no conflict of interest.

Содержание

Введение

1. Моделирование действий инженерно-разведывательной группы по разведке участка минного поля
2. Модель оценки времени, необходимого инженерно-разведывательной группе для проведения разведки минно-взрывных заграждений, в стохастической постановке
3. Исследование влияния факторов и условий на время ведения разведки инженерно-разведывательной группой

Заключение

Литература

Введение

В условиях современных военных конфликтов боевые действия все больше приобретают следующие черты [1]:

- боевые действия ведутся ограниченным составом сил и средств при отсутствии четко выраженной линии фронта на разобренных, нередко изолированных направлениях;
- боевые действия становятся высокоманевренными с отрывом подразделений, частей от главных сил, при высокой степени тактической самостоятельности, с широким применением засад и внезапных ударов;
- большое разнообразие применяемых тактических приемов и форм маневра, подразделения и части начинают выполнять свои задачи преимущественно не типовыми методами, а рейдовыми действиями различных отрядов, формируемых по целевому назначению, например — штурмовые группы;
- сложность организации и управления действиями частей и подразделений в условиях одновременного и последовательного ведения боевых действий в ряде районов (очагов) при наличии открытого тыла, растянутых, незащищенных тыловых коммуникаций;
- широкое использование всеми подразделениями, в том числе в разведывательных целях, малых беспилотных летательных аппаратов, способных вскрывать слабозащищенные участки противоборствующей стороны и наносить внезапные точечные удары.

В условиях реализации противником наступательной концепции «воздушно-наземных операций» и партизанских способов борьбы боевыми действиями сразу может быть охвачена полоса обороны войскового соединения на всю глубину боевого построения. С учетом этого очевидно резкое возрастание роли минно-взрывных заграждений (МВЗ) в вооруженных конфликтах с целью внезапного нанесения потерь противоборствующей стороне, задержки продвижения ее подразделений, сковывания маневра, понуждения двигаться в заданном направлении, прикрытия разрывов в своей полосе обороны и др. Поэтому разведка МВЗ является одной из важнейших задач инженерных войск, обеспечивающих успешное выполнение войсковыми подразделениями своих боевых задач. В ходе разведки МВЗ определяются: степень боевой готовности минных полей; количество рядов (полос) в минном поле и расстояния между ними; схемы расположения, способы

установки, типы мин, расстояние между минами и группами мин в рядах; наличие мин с элементами неизвлекаемости, противоминискательными, противощупными и противотраловыми устройствами; наличие и характер управляемых минных полей. В соответствии с руководящими документами по военно-инженерному делу для Вооруженных Сил Российской Федерации к добываемым разведывательным данным предъявляются требования об их достоверности. Однако в ситуациях, когда противник пытается скрыть свои намерения, применяемые средства борьбы, имеющиеся ресурсы и т.д., планирование выполнения задач по ведению инженерной разведки практически всегда протекает в условиях недостаточности сведений об обстановке в полосе действий войск, то есть в условиях неопределенности, и, следовательно, получить в достаточном объеме данные для определения, например, трудоемкости, сроков, эффективности выполнения задачи разведки МВЗ не всегда представляется возможным. В этих условиях на передний план выдвигаются методы исследования, позволяющие моделировать процесс ведения разведки МВЗ в стохастической постановке, включая и имитационное моделирование.

1. Моделирование действий инженерно-разведывательной группы по разведке участка минного поля

Рассмотрим действия инженерно-разведывательной группы (ИРГ) или отделения по разведке участка минного поля перед передним краем обороны противника со средствами поиска (норматив № 8 [2]). ИРГ (отделение) в готовности к действиям находится в траншее. На удалении 400–450 м от первой траншеи установлено противотанковое (смешанное) минное поле противника глубиной до 100 м. Выполняемые действия (подзадачи): поставить задачу по разведке; преодолеть свои заграждения по проходу; произвести разведку участка минного поля вручную (в полосе 6–8 м) до тыльной границы минного поля противника с обозначением обнаруженных мин; извлечь одну — две мины в качестве образца; составить донесение со схемой разведываемого участка.

Выдвижение номеров расчетов ИРГ (отделения) к заграждению противника через проход в своем минном поле осуществляется друг за другом (рис. 1) [3].

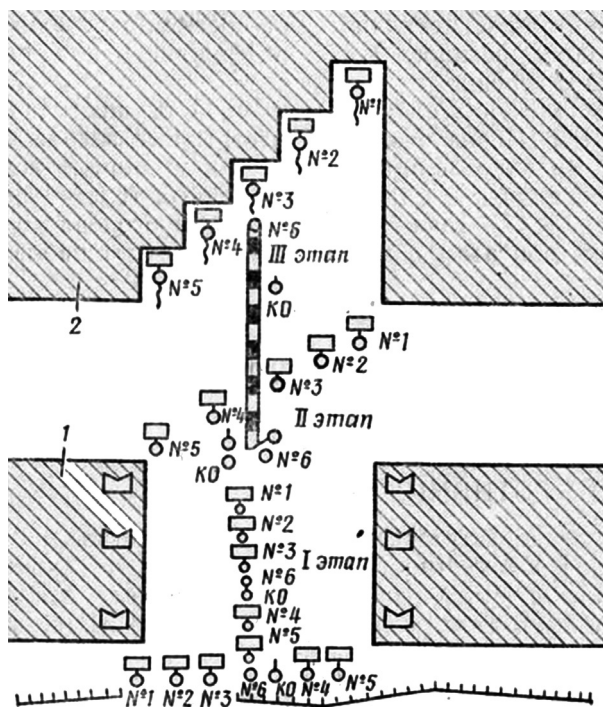


Рис. 1. Схема действий инженерно-разведывательной группы по разведке участка минного поля

Figure 1. Scheme of action of an engineering reconnaissance group on reconnaissance mine field site

Каждый номер оснащен миноискателем и щупом. Перед минным полем противника ИРГ (отделение) разворачивается, двигаясь уступом вправо (влево). Ширина полосы поиска мин одним миноискателем принимается при работе лежа 1 м, стоя — 1,5 м.

Каждый номер, действующий с миноискателем и щупом (за исключением пятого), тянет за собой отрезок черно-белой ленты длиной 10–15 м, по которому ориентируются соседние номера расчета. Командир ИРГ (отделения) продвигается между третьим и четвертым номерами на удалении 5–7 м, а рядом с ним (в затылок третьему номеру) движется шестой номер, разматывая осевую черно-белую ленту, конец которой закреплен на выходе из нашего прохода. При обнаружении мины отделение останавливается, командир отделения выдвигается к ней, уточняет тип, способ установки и дает команду на продолжение разведки. К осевой черно-белой ленте он прикрепляет бирку с расчетным номером солдата, обнаружившего мину. На исходный рубеж саперы возвращаются по осевой ленте. Чтобы обеспечить безопасность обратного

движения, все мины, обнаруженные третьим номером, должны обозначаться флажками. При обратном движении к исходному рубежу эти флажки снимаются и с помощью кошек с веревками мины, намеченные к снятию в качестве образцов, извлекаются.

В качестве выходного показателя математической модели при моделировании примем оценку времени (B), необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ, а в качестве допущений — все действия ИРГ по разведке выполняются последовательно, вероятность обнаружения мины с помощью миноискателя равна единице, боестолкновения ИРГ с противником нет. В общем случае ИРГ по подзадачам разведки затрачивает:

- время на постановку задачи по разведке (B_3). Условие — задача ставится командиром инженерно-саперного подразделения личному составу ИРГ, полностью подготовленной и экипированной для выполнения задачи;
- время на передвижение по участку местности до минного поля с преодолением своих заграждений по проходу (B_v). Условие — передвижение осуществляется по пересеченной местности в пешем порядке, друг за другом, скрытно;
- время на движение по минному полю (B_m) в заданной полосе. Условие — начало движения определяется по первому номеру ИРГ, окончание — по последнему пятому номеру с учетом технической характеристики миноискателя — темп ведения разведки, а также расстояния между номерами расчета;
- время (общее) на доразведывание обнаруженных мин (B_d). Условие — время на доразведывание одной мины складывается из времени, необходимого для определения центра мины с помощью миноискателя ($B_{ц}$), и времени доразведки с помощью щупа ($B_{щ}$):

$$B_d = B_{ц} + B_{щ}, \quad (1)$$

- время (общее) на обработку ложных сигналов ($B_{л}$). Условие — время на обработку одного ложного сигнала принимается равным времени на доразведывание одной обнаруженной мины;
- время на извлечение мин, намеченных к снятию в качестве образцов ($B_{обр.}$). Условие — на все мины;
- время возвращения на исходный рубеж ($B_{и}$). Условие — см. время на передвижение по участку местности до минного поля;

- время на выполнение иных дополнительных задач (B_p). Условие — время резерва;
- время на составление донесения со схемой разведанного участка (B_c). Условие — составляется старшим ИРГ (отделения) после возвращения;
- окончание выполнения подзадачи и всей разведки — доклад командиру инженерно-саперного подразделения о выполненной разведке МВЗ.

В математической постановке время, необходимое ИРГ для проведения разведки МВЗ (B), определяется как сумма времени, необходимого для выполнения частных задач:

$$B = B_z + B_y + B_M + B_d + B_l + B_{\text{обр.}} + B_{\text{и}} + B_p + B_c. \quad (2)$$

На первый взгляд математическая модель разведки МВЗ (2) очевидна и достаточна проста. В детерминированной постановке при известных (заданных) значениях переменных получить по ней оценку времени, необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ, элементарно. Однако на практике при оценке времени сразу же возникают вопросы, связанные с недостаточностью сведений, например, о характере, состоянии, размерах минных полей, наличии предметов, способных вызывать ложное срабатывание миноискателей, сложности передвижения по пересеченной местности, размерах необходимого резерва времени. Кроме этого, стечение различных благоприятных и неблагоприятных обстоятельств, событий, факторов, условий и т.д. обуславливает то, что переменные в модели (2) носят случайный характер, а следовательно, математически процесс разведки МВЗ более целесообразно рассматривать в стохастической постановке. Для подтверждения этого можно обратиться к нормативу № 8 по действию инженерно-разведывательной группы, описанному выше. Ведь даже в нем прослеживаются неопределенности в условиях его выполнения. Так, точное расстояние (детерминированное значение) удаления минного поля от первой траншеи не установлено, вместо этого указывается диапазон значений, в котором случайная величина «удаление минного поля от первой траншеи» может принимать значения. То же касается и размеров минного поля, и плотности минирования, и расстояния между номерами расчета, и количества извлекаемых мин в качестве образца. Однако именно от стечения этих условий в конечном

итоге зависит время выполнения норматива. При этом следует заметить, что при такой постановке задачи граничное значение выполнения норматива должно устанавливаться с учетом вероятности его достижения.

2. Модель оценки времени, необходимого инженерно-разведывательной группе для проведения разведки минно-взрывных заграждений, в стохастической постановке

С помощью детерминистских параметрических моделей предсказываемые значения могут быть точно вычислены. Но это не всегда возможно. Например, нельзя указать точное число молекул воздуха в его 1 см^3 , имеющих данную фиксированную скорость. Можно говорить лишь о вероятности обнаружения молекул со значениями скоростей из некоторого интервала или о математическом ожидании числа таких молекул. Это пример стохастической системы. Стохастические модели — это модели стохастических систем, в которых предсказываемые значения зависят от распределения вероятностей. Уровень стохастических систем — это самый сложный и самый детальный уровень описания систем в условиях неопределенности.

Применительно к математической модели разведки МВЗ (2) формально мы можем говорить о ее стохастической постановке, если хотя бы один из ее параметров является случайной величиной, задаваемой соответствующей функцией распределения. На данном этапе исследования примем, что все входящие показатели, составляющие математическую модель разведки МВЗ (2), являются независимыми случайными величинами с известными или определяемыми функциями распределения, а выходная величина в виде времени, необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ (B), так же носит случайный характер, но функцию распределения которой следует найти. В дальнейшем влияние той или иной случайной величины в модели на выходную величину можно установить с использованием риск-ориентированного подхода. Пусть:

случайная величина «время на постановку задачи по разведке» (B_z , мин.) задается функцией распределения $F_{B_z}(x_z) = P(B_z \leq x_z)$, с математическим ожиданием $M[B_z]$ и дисперсией $D[B_z]$;

случайная величина «время на передвижение по участку местности до минного поля» (B_y , мин.) определяется по выражению:

$$B_y = \frac{Y}{V} = Y \cdot Q, \quad (3)$$

где:

Y — случайная величина «удаление минного поля от траншеи», м, с функцией распределения $F_y(x_y) = P(Y \leq x_y)$, с математическим ожиданием $M[Y]$ и дисперсией $D[Y]$;

V — случайная величина «скорость выдвижения к минному полю», м/мин., с функцией распределения $F_v(x_v) = P(V \leq x_v)$, с математическим ожиданием $M[V]$ и дисперсией $D[V]$;

$Q = \frac{1}{V}$ — случайная величина, обратная случайной величине «скорость выдвижения к минному полю», мин./м, с функцией распределения $F_Q(x_Q) = P(Q \leq x_Q)$, с математическим ожиданием $M[Q]$ и дисперсией $D[Q]$;

случайная величина «время движения по минному полю в заданной полосе» (B_M , мин.) определяется по выражению:

$$B_M = \frac{L}{T} = L \cdot t, \quad (4)$$

где:

L — случайная величина «глубина минного поля», м, с функцией распределения $F_L(x_L) = P(L \leq x_L)$, с математическим ожиданием $M[L]$ и дисперсией $D[L]$;

T — случайная величина «темп ведения разведки с миноискателем пятым номером», пог. м/мин., с функцией распределения $F_T(x_T) = P(T \leq x_T)$, с математическим ожиданием $M[T]$ и дисперсией $D[T]$;

$t = \frac{1}{T}$ — случайная величина «время, затрачиваемое пятым номером на разведку одного пог. м минного поля, исходя из темпа ведения им разведки», мин./пог. м, с функцией распределения $F_t(x_t) = P(t \leq x_t)$, с математическим ожиданием $M[t]$ и дисперсией $D[t]$;

случайная величина «время (общее) на доразведывание обнаруженных мин» (B_d , мин.) определяется по выражению:

$$B_d = \Pi_M \cdot L \cdot \Pi \cdot (B_{\Pi} + B_{\Pi}), \quad (5)$$

где:

Π_M — случайная величина «плотность минирования», ед./м², с функцией распределения $F_{\Pi_M}(x_{\Pi_M}) = P(\Pi_M \leq x_{\Pi_M})$, с математическим ожиданием $M[\Pi_M]$ и дисперсией $D[\Pi_M]$;

Π — случайная величина «ширина полосы разведки», м, с функцией распределения $F_{\Pi}(x_{\Pi}) = P(\Pi \leq x_{\Pi})$, с математическим ожиданием $M[\Pi]$ и дисперсией $D[\Pi]$;

B_{Π} — случайная величина «время, необходимое для определения центра мины с помощью миноискателя», мин., с функцией распределения $F_{B_{\Pi}}(x_{B_{\Pi}}) = P(B_{\Pi} \leq x_{B_{\Pi}})$, с математическим ожиданием $M[B_{\Pi}]$ и дисперсией $D[B_{\Pi}]$;

B_{Π} — случайная величина «время доразведки с помощью щупа», мин., с функцией распределения $F_{B_{\Pi}}(x_{B_{\Pi}}) = P(B_{\Pi} \leq x_{B_{\Pi}})$, с математическим ожиданием $M[B_{\Pi}]$ и дисперсией $D[B_{\Pi}]$;

случайная величина «время (общее) на обработку ложных сигналов» (B_L , мин.) определяется по выражению:

$$B_L = \Pi_L \cdot L \cdot \Pi \cdot (B_{\Pi} + B_{\Pi}), \quad (6)$$

где:

Π_L — случайная величина «плотность ложных сигналов», ед./м², с функцией распределения $F_{\Pi_L}(x_{\Pi_L}) = P(\Pi_L \leq x_{\Pi_L})$, с математическим ожиданием $M[\Pi_L]$ и дисперсией $D[\Pi_L]$;

случайная величина «время на извлечение мин, намеченных к снятию в качестве образцов» ($B_{\text{Обр.}}$, мин.), задается функцией распределения $F_{B_{\text{Обр.}}}(x_{B_{\text{Обр.}}}) = P(B_{\text{Обр.}} \leq x_{B_{\text{Обр.}}})$, с математическим ожиданием $M[B_{\text{Обр.}}]$ и дисперсией $D[B_{\text{Обр.}}]$;

случайная величина «время возвращения на исходный рубеж» ($B_{\text{И.}}$, мин.) определяется по выражению:

$$B_{\text{И.}} = \frac{Y + L}{V_1} = (Y + L) \cdot Q_1, \quad (7)$$

где:

V_1 — случайная величина «скорость движения обратно», м/мин., с функцией распределения $F_{V_1}(x_{V_1}) = P(V_1 \leq x_{V_1})$, с математическим ожиданием $M[V_1]$ и дисперсией $D[V_1]$;

$Q_1 = \frac{1}{V_1}$ — случайная величина, обратная случайной величине «скорость движения обратно», мин./м, с функцией распределения $F_{Q_1}(x_{Q_1}) = P(Q_1 \leq x_{Q_1})$, с математическим ожиданием $M[Q_1]$ и дисперсией $D[Q_1]$;

случайная величина «время на выполнение иных дополнительных подзадач» (B_p , мин.) задается функцией распределения $F_{B_p}(x_p) = P(B_p \leq x_p)$, с математическим ожиданием $M[B_p]$ и дисперсией $D[B_p]$;

случайная величина «время на составление донесения со схемой разведанного участка» (B_C , мин.) задается функцией распределения $F_{B_C}(x_C) = P(B_C \leq x_C)$, с математическим ожиданием $M[B_C]$ и дисперсией $D[B_C]$.

В математической модели (2) пять случайных величин являются составными, получаемыми расчетным путем. Найдем их математические ожидания и дисперсии.

Для случайной величины «время на передвижение по участку местности до минного поля» (B_y , мин.) используем выражение (3) в виде $B_y = Y \cdot Q$. Тогда математическое ожидание составит $M[B_y] = M[Y \cdot Q] = M[Y] \cdot M[Q]$, а дисперсия — $D[B_y] = D[Y \cdot Q] = D[Y] \cdot D[Q] + D[Y] \cdot M[Q]^2 + D[Q] \cdot M[Y]^2$.

Для случайной величины «время движения по минному полю в заданной полосе» (B_m , мин.) используем выражение (4) в виде $B_m = L \cdot t$. Тогда математическое ожидание составит $M[B_m] = M[L \cdot t] = M[L] \cdot M[t]$, а дисперсия — $D[B_m] = D[L \cdot t] = D[L] \cdot D[t] + D[L] \cdot M[t]^2 + D[t] \cdot M[L]^2$.

Для случайной величины «время (общее) на до разведывание обнаруженных мин» (B_d , мин.), определяемой по выражению (5), математическое ожидание будет равно:

$$M[B_d] = M[\Pi_m \cdot L \cdot \Pi \cdot (B_{\Pi} + B_{\Pi})] = M[\Pi_m] \cdot M[L] \cdot M[\Pi] \cdot (M[B_{\Pi}] + M[B_{\Pi}]), \quad (8)$$

а дисперсия:

$$\begin{aligned} D[B_d] &= D[\Pi_m \cdot L \cdot \Pi \cdot (B_{\Pi} + B_{\Pi})] = \\ &= (D[B_{\Pi}] + D[B_{\Pi}]) \cdot (D[\Pi_m] \cdot (D[L] \cdot D[\Pi] + \\ &+ D[L] \cdot M[\Pi]^2 + D[\Pi] \cdot M[L]^2) + \\ &+ D[\Pi_m] \cdot (M[L] \cdot M[\Pi])^2 + (D[L] \cdot D[\Pi] + \\ &+ D[L] \cdot M[\Pi]^2 + D[\Pi] \cdot M[L]^2) \cdot M[\Pi_m]^2) + (D[B_{\Pi}] + \\ &+ D[B_{\Pi}]) \cdot (M[\Pi_m] \cdot M[L] \cdot M[\Pi])^2 + \\ &+ (D[\Pi_m] \cdot (D[L] \cdot D[\Pi] + D[L] \cdot M[\Pi]^2 + \\ &+ D[\Pi] \cdot M[L]^2) + D[\Pi_m] \cdot (M[L] \cdot M[\Pi])^2 + \\ &+ (D[L] \cdot D[\Pi] + D[L] \cdot M[\Pi]^2 + \\ &+ D[\Pi] \cdot M[L]^2) \cdot M[\Pi_m]^2) \cdot (M[B_{\Pi}] + M[B_{\Pi}])^2. \quad (9) \end{aligned}$$

Для случайной величины «время (общее) на обработку ложных сигналов» (B_{Π} , мин.), определяемой по выражению (6), математическое ожидание будет равно:

$$M[B_{\Pi}] = M[\Pi_L \cdot L \cdot \Pi \cdot (B_{\Pi} + B_{\Pi})] = M[\Pi_L] \cdot M[L] \cdot M[\Pi] \cdot (M[B_{\Pi}] + M[B_{\Pi}]), \quad (10)$$

а дисперсия:

$$\begin{aligned} D[B_{\Pi}] &= D[\Pi_m \cdot L \cdot \Pi \cdot (B_{\Pi} + B_{\Pi})] = \\ &= (D[B_{\Pi}] + D[B_{\Pi}]) \cdot (D[\Pi_m] \cdot (D[L] \cdot D[\Pi] + \\ &+ D[L] \cdot M[\Pi]^2 + D[\Pi] \cdot M[L]^2) + \\ &+ D[\Pi_m] \cdot (M[L] \cdot M[\Pi])^2 + (D[L] \cdot D[\Pi] + \\ &+ D[L] \cdot M[\Pi]^2 + D[\Pi] \cdot M[L]^2) \cdot M[\Pi_m]^2) + \\ &+ (D[B_{\Pi}] + D[B_{\Pi}]) \cdot (M[\Pi_m] \cdot M[L] \cdot M[\Pi])^2 + \\ &+ (D[\Pi_m] \cdot (D[L] \cdot D[\Pi] + D[L] \cdot M[\Pi]^2 + \\ &+ D[\Pi] \cdot M[L]^2) + D[\Pi_m] \cdot (M[L] \cdot M[\Pi])^2 + \\ &+ (D[L] \cdot D[\Pi] + D[L] \cdot M[\Pi]^2 + \\ &+ D[\Pi] \cdot M[L]^2) \cdot M[\Pi_m]^2) \cdot (M[B_{\Pi}] + M[B_{\Pi}])^2. \quad (11) \end{aligned}$$

Для случайной величины «время возвращения на исходный рубеж» (B_{Π} , мин.) используем выражение (7) в виде $B_{\Pi} = (Y + L) \cdot Q_1$. Тогда математическое ожидание составит:

$$M[B_{\Pi}] = M[(Y + L) \cdot Q_1] = (M[Y] + M[L]) \cdot M[Q_1], \quad (12)$$

а дисперсия:

$$\begin{aligned} D[B_{\Pi}] &= D[(Y + L) \cdot Q_1] = (D[Y] + D[L]) \cdot D[Q_1] + \\ &+ (D[Y] + D[L]) \cdot M[Q_1]^2 + \\ &+ D[Q_1] \cdot (M[Y] + M[L])^2. \quad (13) \end{aligned}$$

Таким образом, все входящие показатели, составляющие математическую модель разведки МВЗ (2), определены через функции распределения с соответствующими параметрами: математическими ожиданиями и дисперсиями. Следовательно, можно описать получаемую по стохастической модели выходную величину в виде времени, необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ (В), функцией распределения $F_B(x_B) = P(B \leq x_B)$, с математическим ожиданием, равным:

$$M[B] = M[B_3] + M[B_y] + M[B_m] + M[B_d] + M[B_{\Pi}] + M[B_{\text{Обр.}}] + M[B_{\Pi}] + M[B_p] + M[B_C], \quad (14)$$

и дисперсией:

$$D[B] = D[B_3] + D[B_y] + D[B_m] + D[B_d] + D[B_{\Pi}] + D[B_{\text{Обр.}}] + D[B_{\Pi}] + D[B_p] + D[B_C]. \quad (15)$$

3. Исследование влияния факторов и условий на время ведения разведки инженерно-разведывательной группой

В рамках норматива № 8 дадим оценку времени ведения разведки ИРГ в условиях неопределенности. Неопределенность в оценке входных параметров по модели в стохастической постановке введем в виде

примера диапазонов возможных значений и модального значения (наиболее вероятного значения), которые может принимать входной параметр при выполнении норматива № 8 инженерными подразделениями в летний период (табл. 1). Оценку математического ожидания и дисперсии входных параметров проведем по треугольному закону распределения [4].

Таблица 1. Значения входных параметров в модели оценки времени, необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ, в стохастической постановке (пример)

Table 1. Values of input parameters in the model for estimating the time required by the ERG to conduct a reconnaissance of a MEZ, in the stochastic formulation (example)

Входной параметр	Наименьшее значение	Модальное значение	Наибольшее значение	Математическое ожидание	Дисперсия*
Время на постановку задачи по разведке (B_z), мин.	3	5	8	5,333	1,056
Время на передвижение по участку местности до минного поля с преодолением своих заграждений по проходу (B_y), мин.:	–	–	–	Расчет по выражению (3)	
– удаление минного поля от траншеи (Y), м	380	400	450	410	216,67
– скорость выдвижения к минному полю (V), км/ч	3	4	5	–	–
– величина, обратная случайной величине «удаление минного поля от траншеи» (Q), мин./м	0,012	0,015	0,02	1,57E-02	2,72E-06
Время на движение по минному полю (B_m) в заданной полосе, мин.:	–	–	–	Расчет по выражению (4)	
– глубина минного поля (L), м	90	100	110	100	16,67
– темп ведения разведки с миноискателем пятым номером (T), пог. м/час	240	270	300	–	–
– время, затрачиваемое пятым номером на разведку одного пог. м (t), мин./пог. м	0,2	0,222	0,25	2,24E-01	1,05E-04
Время (общее) на доразведывание обнаруженных мин (B_d), мин.:	–	–	–	Расчет по выражению (5)	
– плотность минирования (Π_m), ед./м ²	0,03	0,04	0,1	5,67E-02	2,39E-04
– глубина минного поля (L), м	90	100	110	100	16,67
– ширина полосы разведки ($Ш$), м	6	6,5	8	6,83	0,18
– время для определения центра мины с помощью миноискателя (B_{Π}), мин.	0,6	1	1,5	1,033	0,034
– время доразведки с помощью щупа ($B_{щ}$), мин.	1	1,5	2	1,5	0,042
Время (общее) на обработку ложных сигналов (B_n), мин.:	–	–	–	Расчет по выражению (6)	
– плотность ложных сигналов (Π_n), ед./м ²	0	0,005	0,016	7,00E-03	1,12E-05
– глубина минного поля (L), м	90	100	110	100	16,67
– ширина полосы разведки ($Ш$), м	6	6,5	8	6,83	0,18
– время для определения центра мины с помощью миноискателя (B_{Π}), мин.	0,6	1	1,5	1,033	0,034
– время доразведки с помощью щупа ($B_{щ}$), мин.	1	1,5	2	1,5	0,042
Время на извлечение мин, намеченных к снятию в качестве образцов ($B_{обр.}$), мин.	5	10	15	10	4,17

Окончание таблицы 1

Входной параметр	Наименьшее значение	Модальное значение	Наибольшее значение	Математическое ожидание	Дисперсия*
Время возвращения на исходный рубеж ($B_{\text{в}}$), мин.:	–	–	–	Расчет по выражению (7)	
– глубина минного поля (L), м	90	100	110	100	16,67
– удаление минного поля от траншеи (Y), м	380	400	450	410	216,67
– скорость движения обратно (V_1), км/ч	3	4	5	–	–
– величина, обратная случайной величине «скорость движения обратно» (Q_1), мин./м	0,012	0,015	0,02	1,57E-02	2,72E-06
Время на выполнение иных дополнительных подзадач (B_p), мин.	5	7	15	9	4,67
Время на составление донесения со схемой разведанного участка (B_c), мин.	10	15	20	15	4,17

Примечание. * — единица измерения дисперсии соответствует квадрату единицы измерения математического ожидания.

Расчет показателей функции распределения выходной величины в виде времени, необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ (B), в стохастической постановке по формулам (14) и (15) дает значение математического ожидания $M[B]$, равное 187 мин., и дисперсии $D[B] = 949,37 \text{ мин.}^2$. Принимая во внимание центральную предельную теорему в качестве вида распределения, можно принять логарифмически нормальный закон, так как областью определения случайной величины являются положительные величины. Это подтверждено нами в ходе имитационного моделирования при проверке адекватности модели (2) в стохастической постановке и правильности проведенных расчетов. Таким образом, функция распределения времени, необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ в условиях неопределенности (рис. 2), запишется в следующем виде:

$$F(B) = P_B(B \leq x_B) = 0,5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln(x_B) - 5,218}{0,2315} \right) \right], (16)$$

а функция плотности вероятности (рис. 3) имеет следующий вид:

$$f(x_B) = \frac{2,437}{x_B} \exp \left[-18,66 \cdot (\ln(x_B) - 5,218)^2 \right]. (17)$$

Используя функцию распределения времени проведения разведки МВЗ (16) можно оценить вероятность выполнения любой ИРГ разведки МВЗ в условиях неопределенности по содержанию норматива № 8 за время не больше заданного, а также оценить вероятность невыполнения разведки за заданное время (табл. 2).

Рассматривая результаты табл. 2 в практической плоскости, например, с точки зрения планирования времени на проведение разведки МВЗ в условиях неопределенности, можно сказать, что выполнить ее

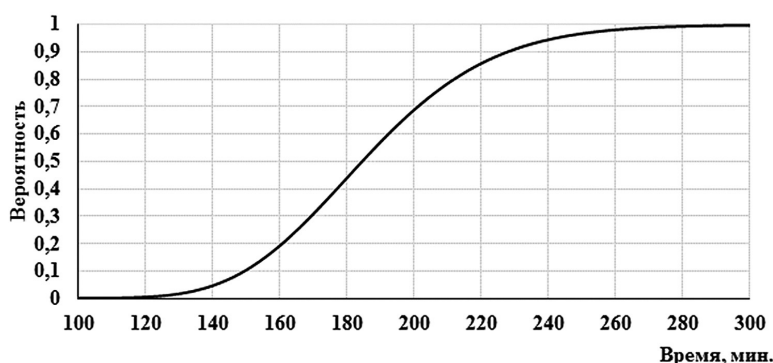


Рис. 2. Функция распределения времени, необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ в условиях неопределенности

Figure 2. Distribution function of the time required by the ERG to conduct reconnaissance of MEZ under uncertainty

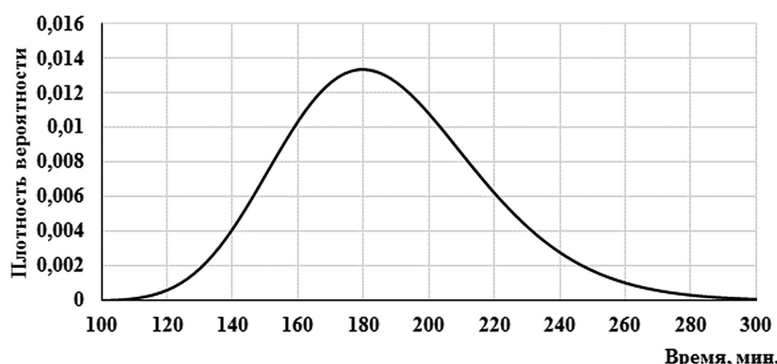


Рис. 3. Функция плотности вероятности времени, необходимого ИРГ для проведения разведки МВЗ в условиях неопределенности

Figure 3. The probability density function of the time required by the ERG to conduct MEZ reconnaissance under uncertainty

Таблица 2. Вероятность выполнения любой ИРГ разведки МВЗ в условиях неопределенности по содержанию норматива № 8

Table 2. Probability of performing any ERG reconnaissance MEZ under conditions of uncertainty on the content of standard No. 8

Оценка по времени	Значение по времени		Вероятность, %	
	час, мин.	мин.	выполнения	невыполнения
Не ниже отлично	Не более 2 ч 45 мин.	Не более 165	25	–
Не ниже хорошо	Не более 3 ч	Не более 180	44	–
Не ниже удовлетворительно	Не более 3 ч 45 мин.	Не более 225	89	–
Неудовлетворительно (разведка не выполнена за заданное время)	Более 3 ч 45 мин.	Более 225	–	11

в полном объеме за 2 час. 45 мин. ИРГ скорее всего не успеет, за 3 час. — скорее не успеет, чем успеет, и только если выделить ИРГ 3 час. 45 мин., то с большой долей уверенности можно ожидать выполнение разведки в полном объеме. Иными словами, необоснованное снижение времени, выделяемого на проведение разведки МВЗ, ведет к увеличению риска невыполнения поставленной боевой задачи, и этот риск может быть оценен количественно. Армейская мудрость гласит: нормативы помогают оттачивать мастерство и слаженность действий, а разумная неторопливость повышает качество выполнения задач и обеспечивает полноту их выполнения и требуемую эффективность.

Исследование влияния факторов в виде подзадач на время ведения разведки ИРГ выполним на основе анализа чувствительности методом ранжирования с помощью диаграммы «Торнадо». Для этого по каждой подзадаче с использованием соответствующих функций распределения находятся 10 и 90

процентные квантили, которые будут характеризовать их наименьшие и наибольшие значения (границы изменения). Затем для наименьшего и наибольшего значений каждой подзадачи при условии, что все остальные подзадачи фиксируются на уровне их математических ожиданий с дисперсиями, равными нулю, определяются функции распределения выходной величины «время, необходимое ИРГ для проведения разведки МВЗ» (В). Далее по этим функциям распределения по каждой подзадаче находятся значения 10 и 90 процентных квантилей, которые отображаются на диаграмме так, чтобы подзадачи (факторы), по которым изменение максимально, находились в верхней части диаграммы, а по которым изменение минимально — в нижней части. Диаграмма, таким образом, примет воронкообразную форму и по внешнему облику будет действительно напоминать торнадо.

На рисунке 4 приведена диаграмма «Торнадо» в виде относительных отклонений влияния факторов

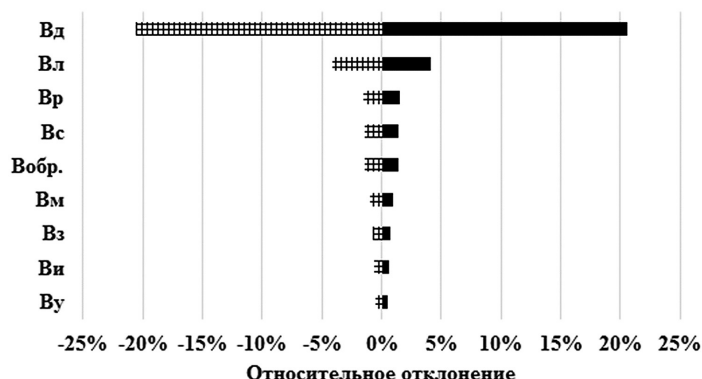


Рис. 4. Диаграмма влияния факторов (подзадач) на выходную величину «время, необходимое ИРГ для проведения разведки МВЗ»:

V_d — время (общее) на доразведывание обнаруженных мин; V_l — время (общее) на обработку ложных сигналов; V_p — время на выполнение иных дополнительных подзадач; V_c — время на составление донесения со схемой разведанного участка; $V_{обр.}$ — время на извлечение мин, намеченных к снятию в качестве образцов; V_m — время на движение по минному полю в заданной полосе; V_z — время на постановку задачи по разведке; V_i — время возвращения на исходный рубеж; V_y — время на передвижение по участку местности до минного поля с преодолением своих заграждений по проходу.

Figure 4. Diagram of the influence of factors (subtasks) on the output value "time required by the ERG to conduct a reconnaissance MEZ"

(подзадач) на выходную величину «время, необходимое ИРГ для проведения разведки МВЗ».

Из диаграммы на рис. 4 видно, что в наибольшей степени на время, необходимое ИРГ для проведения разведки МВЗ, влияют время (общее) на доразведывание обнаруженных мин и время (общее) на обработку ложных сигналов. В свою очередь, время (общее) на доразведывание обнаруженных мин и время (общее) на обработку ложных сигналов определяются условиями минирования и наличия предметов, способных

вызывать ложное срабатывание миноискателя, временными условиями определения центра мин и доразведки ложных сигналов, пересеченностью местности в полосе разведки.

На рисунках 5 и 6 даны результаты анализа чувствительности в виде диаграмм «Торнадо» для подзадач по доразведыванию обнаруженных мин и обработке ложных сигналов.

Из диаграмм на рис. 5 и 6 следует, что условия минирования и наличия ложных сигналов оказывают

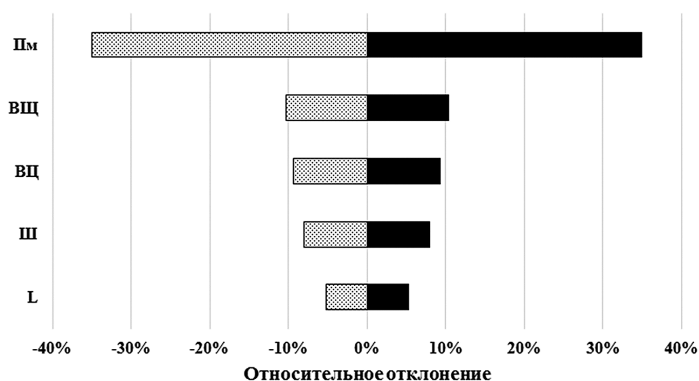


Рис. 5. Диаграмма влияния условий на время выполнения подзадачи по доразведыванию обнаруженных мин: Π_m — плотность минирования; $V_{щ}$ — время доразведки с помощью щупа; $V_{ц}$ — время, необходимое для определения центра мины с помощью миноискателя; Π — ширина полосы разведки; L — глубина минного поля

Figure 5. Diagram of the influence of conditions on the execution time of the subtask of additional exploration of mines detected

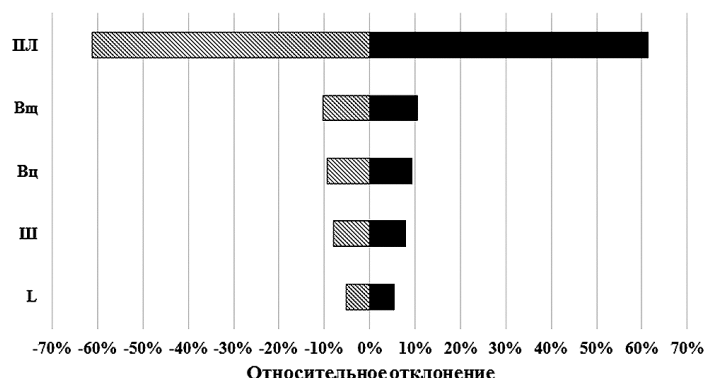


Рис. 6. Диаграмма влияния условий на время выполнения подзадачи по обработке ложных сигналов:
 П_л — плотность ложных сигналов.

Figure 6. Diagram of the influence of conditions on the execution time of the false signal processing subtask

наибольшее влияние на общее время доразведки мин и обработки ложных сигналов. Следующими по влиянию являются временные условия для доразведки с помощью щупа одной мины или одного ложного сигнала, а также определения центра мины с помощью миноискателя. Неопределенности по глубине минного поля и ширине полосы разведки оказывают влияние в меньшей степени.

Таким образом, в ходе исследования с помощью разработанной модели на количественном уровне определено влияние выявленных факторов на действия ИРГ при разведке МВЗ в условиях неопределенности, проведено их ранжирование. Тем самым продолжена (с учетом работ других ученых) подготовка условий для исследований по результативности деятельности подразделений с использованием теории и методов анализа риска.

Заключение

Выполненные исследования влияния факторов и условий на время ведения разведки ИРГ в стохастической постановке позволяют на основе методов риск-ориентированного подхода подготовить предложения по направлениям совершенствования деятельности по разведке МВЗ. Для начала выделенные факторы и условия разделим на внешние и внутренние. К внешним отнесем те факторы и условия, которые складываются объективно и изменение которых происходит без нашего участия (желания): пересеченность местности, удаление минного поля

от траншеи, глубина минного поля, плотность минирования, плотность ложных сигналов. Управлять внешними факторами или условиями нельзя или по крайней мере очень затруднительно. Внутренние факторы и условия складываются в результате нашей деятельности, и мы можем управлять ими, задавая вектор изменения и выделяя ресурсы. К таким факторам и условиям можно отнести: постановку задачи по разведке, скорость движения группы, темп ведения разведки, определение центра мины, доразведку с помощью щупа, извлечение мин, резервирование. Из внутренних факторов и условий наибольшее влияние в соответствии с диаграммой на рис. 4 оказывают те, которые определяют время (общее) на доразведывание обнаруженных мин и время (общее) на обработку ложных сигналов, а именно: время, необходимое для определения центра мины, доразведка мины или ложного сигнала с помощью щупа. Исходя из этого, можно задать вектор их изменения в сторону снижения времени доразведки. Снижение времени доразведки возможно выполнить различными решениями. Например, совершенствованием средств поиска мин, исключив доразведку мины после определения ее центра с помощью щупа, заменив щуп на более производительный инструмент в виде дополнительного канала, совмещенного с миноискателем, позволяющего определять с высокой степенью вероятности факт наличия взрывчатого вещества по его химическому образу при низком содержании паров его компонентов

в воздухе, в широком диапазоне изменения метеорологических параметров и при наличии мешающих факторов в окружающей среде.

Риски возникают и продолжают существовать на протяжении любой деятельности. Поэтому процессам управления рисками всегда необходимо уделять должное внимание, а сами процессы управления целесообразно осуществлять итеративно. Исследуя подобным образом другие задачи инженерной разведки и последовательно переходя к проблемам деятельности инженерных войск, можно создать научный фундамент риск-ориентированного мышления и внедрения риск-ориентированного подхода в практическую деятельность инженерных войск.

Литература [References]

1. Клименков С. А. Особенности устройства инженерных заграждений и производства разрушений в локальных войнах и вооруженных конфликтах / С. А. Клименков, С. В. Григоренко // Развитие вооружения и военной специальной техники. История и современное техническое обеспечение боевых действий [Электронный ресурс]: материалы 75-й Республиканской научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов военно-технического факультета в Белорусском национальном техническом университете (в рамках 20-й Международной научно-технической конференции «Наука — образованию, производству, экономике»), 22 апреля 2022 г. / редкол.: А. А. Почебыт (пред.редкол.) [и др.]; сост. И. Б. Шеденкова. — Минск: БНТУ, 2022. С. 201–215. [Klimenkov S. A. Features of the construction of engineering barriers and the production of destruction in local wars and military conflicts / S. A. Klimenkov, S. V. Grigorenko // Development of weapons and military special equipment. History and modern technical support of hostilities [Electronic resource]: materials of the 75th Republican Scientific and Technical Conference of faculty, researchers, doctoral students and graduate students of the Military Technical Faculty at the Belarussian National Technical University (within the framework of the 20th International Scientific and Technical Conference “Science — Education, Production, Economics”), April 22, 2022 / ed.: A. A. Pochebyt (previously. ed.) [et al.]; comp. I. B. Shedenkova. Minsk: BNTU, 2022. P. 201–215. (In Russ.)]
2. Сборник нормативов по боевой подготовке инженерных войск Вооруженных Сил Российской Федерации: Утв. и введен в действие с 01.12.2018 приказом начальника инженерных войск Вооруженных Сил Российской Федерации от 06.11.2018 г. № 212 [Collection of standards for combat training of engineering troops of the Armed Forces of the Russian Federation: Emp. and put into force since 01.12.2018 by order of the head of the engineering troops of the Armed Forces of the Russian Federation of 06.11.2018 No. 212. (In Russ.)]
3. Инженерная разведка: Уч. пособие / Под ред. В. И. Ермакова / М.: Воениздат, 1983. 200 с. [Engineering Intelligence: Teach. manual / ed. V. I. Ermakova / M.: Voenizdat, 1983. 200 p. (In Russ.)]
4. Основы военно-экономических обоснований перспектив развития средств инженерного вооружения: Книга 2. Способы расчетов эффективности / А. М. Аверченко и др., под общей редакцией В. Н. Федорина / М.: «15 ЦНИИИ ИВ МО РФ», 1999. 236 с. [Fundamentals of military-economic justifications of prospects for the development of engineering weapons: Book 2. Methods of Efficiency Calculations / A. M. Averchenko et al., under the general editorship of V. N. Fedorin / M.: “15 TsNIII IV Ministry of Defense of the Russian Federation” 1999. — 236 p. (In Russ.)]

Сведения об авторах

Шевченко Андрей Владимирович: доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск имени Героя Советского Союза генерал-лейтенанта инженерных войск Д. М. Карбышева» Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «ЦНИИ ИВ» Минобороны России)

Количество публикаций: более 110, в т.ч. монографий — 13, учебных изданий — 5

Область научных интересов: управление риском, теория безопасности человека и окружающей среды, теория гражданской обороны, химическая безопасность

Контактная информация:

Адрес: 143432, Московская область, гр. округ Красногорск, р.п. Нахабино, ул. Карбышева, д. 2

Shevchenkoav@inbox.ru

Верейкин Дмитрий Александрович: кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский испытательный институт

инженерных войск имени Героя Советского Союза генерал-лейтенанта инженерных войск Д.М. Карбышева» Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «ЦНИИ ИВ» Минобороны России)

Количество публикаций: более 20

Область научных интересов: системы и комплексы инженерной разведки, устройство инженерных заграждений

Контактная информация:

Адрес: 143432, Московская область, гр. округ Красногорск, р.п. Нахабино, ул. Карбышева, д. 2

d.a.veraikin@yandex.ru

Кузьмищев Павел Геннадьевич: начальник отдела — заместитель начальника управления, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск имени Героя Советского Союза генерал-лейтенанта инженерных войск Д.М. Карбышева» Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «ЦНИИ ИВ» Минобороны России)

Количество публикаций: более 50

Область научных интересов: системы и комплексы инженерной разведки, устройство инженерных заграждений

Контактная информация:

Адрес: 143432, Московская область, гр. округ Красногорск, р.п. Нахабино, ул. Карбышева, д. 2

cousin21@mail.ru

Рябухин Денис Алексеевич: научный сотрудник, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск имени Героя Советского Союза генерал-лейтенанта инженерных войск Д.М. Карбышева» Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «ЦНИИ ИВ» Минобороны России)

Количество публикаций: более 50

Область научных интересов: системы и комплексы инженерной разведки

Контактная информация:

Адрес: 143432, Московская область, гр. округ Красногорск, р.п. Нахабино, ул. Карбышева, д. 2

darblg@mail.ru

Радченко Светлана Сергеевна: младший научный сотрудник, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск имени Героя Советского Союза генерал-лейтенанта инженерных войск Д.М. Карбышева» Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «ЦНИИ ИВ» Минобороны России)

Количество публикаций — 5

Область научных интересов: системы и комплексы инженерной разведки

Контактная информация:

Адрес: 143432, Московская область, гр. округ Красногорск, р.п. Нахабино, ул. Карбышева, д. 2

svetlanka_rad@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 26.06.2023

Одобрена после рецензирования: 28.07.2023

Принята к публикации: 25.08.2023

Дата публикации: 31.10.2023

The article was submitted: 26.06.2023

Approved after reviewing: 28.07.2023

Accepted for publication: 25.08.2023

Date of publication: 31.10.2023