

УДК: 623.36

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_44

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МИННЫЕ ПОЛЯ:
К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

INTELLIGENT MINES: TO THE QUESTION OF EFFICACY EVALUATION

Академик РАРАН Р.А. Дурнев¹, чл.-корр. РАРАН Е.В. Свиридок¹, А.В. Попов²

¹РАРАН, ²АО «НИИИ»

R.D. Durnev, E.V. Sviridok, A.V. Popov

В статье рассматриваются интеллектуальные минные поля, представляющие собой систему мин и средств автоматизации их применения, и позволяющие распознавать характеристики целей и в автоматическом режиме определять рациональный порядок их поражения. Показано, что в качестве показателя их эффективности может использоваться вероятность поражения цели на mine, зависящая в том числе от опасного интервала, в качестве которого может рассматриваться диаметр зоны сплошного поражения. Использование интеллектуальных минных полей позволит увеличить потери живой силы и техники противника, снизить ущерб для своих сил и средств, сэкономить инженерные боеприпасы на минных полях.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, минно-взрывные заграждения, интеллектуальные минные поля, танк, пехотинец, опасный интервал, зона сплошного поражения.

The article discusses the intelligent minefields are considered, which are a system of mines and means of automating their use, and allowing to recognize the characteristics of targets and automatically determine the rational order of their destruction. It is shown that the probability of hitting a target on a mine can be used as an indicator of their effectiveness, depending, among other things, on the dangerous interval, which can be considered the diameter of the zone of continuous destruction. The use of intelligent minefields will increase the loss of enemy manpower and equipment, reduce damage to friendly forces and equipment, and save engineering ammunition in minefields.

Keywords: artificial intelligence technologies, minefields, intelligent minefields, tank, infantryman, dangerous interval, zone of continuous destruction.

Под интеллектуальным минным полем (ИМП) понимается в соответствии с [1] система мин и средств автоматизации их применения, позволяющая распознавать характеристики целей (сейсмическими, акустическими, магнитными, оптическими и другими датчиками) и в автоматическом режиме определять рациональный порядок их поражения.

Упомянутые две составляющие — распознавание характеристик целей и определение по-

рядка их поражения — должны реализовываться без участия человека. Для этого предполагается применение технологий искусственного интеллекта (ТИИ), например искусственных нейронных сетей (ИНС) и экспертных систем. ИНС могут использоваться для установления:

- вида целей — техника или живая сила;
- состава целей — одиночная техника и военнослужащие, группа техники, подразделение военнослужащих;

– типа целей: для техники — бронетехника, военные грузовые автомобили, средства инженерного вооружения (в будущем — с точностью до марки образца — танк «Абрамс» М1А2, БМП М2А3 «Бредли» и т.п.), для живой силы — тип подразделения (пехотное, аэромобильное, специального назначения и т.п., тип индивидуальной бронезащиты военнослужащих);

– текущие координаты и вектора скоростей движения всех целей.

Различные экспертные системы на базе, например, нечетких процессоров могут применяться для определения рационального порядка использования мин в составе всего минного поля, в том числе:

– тип применяемых мин (противопехотные фугасные, осколочные, направленного действия и т.п., противотанковые противогусеничные, противоднищевые, противобортовые и др.);

– время подрыва конкретных мин.

Такое интеллектуальное минное поле будет выполнять следующие функции:

– распознавание датчиками мин или отдельной системой датчиков типа целей, их координат и векторов скорости движения;

– определение, исходя из типов целей, геометрических параметров расположения моторных отсеков, днища, гусениц, элементов индивидуальной броневой защиты военнослужащих;

– определение состава мин, которые необходимо привести в боевое состояние;

– непрерывное определение расстояния от центра мин до центров целей;

– инициирование подрыва мин в зависимости от состояния целей и самих мин.

При этом нужно отметить то, что использование на интеллектуальном минном поле существующих традиционных («неинтеллектуальных») мин практически невозможно. Их модернизационный потенциал крайне ограничен, и доработка таких инженерных боеприпасов в направлении их «интеллектуализации» приведет, фактически, к созданию новых образцов оружия.

Конечно, на начальных этапах создания таких полей возможно усовершенствование взрывателей и других составных частей существующих мин, таким образом, чтобы на них поступала и обрабатывалась информация о характеристиках целей и времени их поражения, т.е. включения в их состав устройств для опреде-

ления момента инициирования мины с учетом соотношения координат цели и мины. Но в этом случае эффективность ИМП незначительно, как представляется, превзойдет традиционные минные поля в связи в основном с тем, что не возрастут размеры зон поражения отдельных мин. Они по-прежнему будут определяться количеством взрывчатого вещества и размерами датчика целей — например, длиной штыревой антенны для противоднищевых мин типа ТМК-2 или диаметром крышки взрывателя противогусеничных мин типа ТМ-62.

Поэтому имеет смысл говорить о новом облике будущих мин. И одной из характерных черт такого облика будет являться, на наш взгляд, их «нестационарный» характер поражения. Так, например, вместо противоднищевой мины с вертикальной кумулятивной струей можно в будущем создать инженерный боеприпас, у которого данная струя может воздействовать на преграду под различными углами. Это позволит значительно увеличить зону поражения целей.

Еще в большей степени увеличит эту зону конструкция мины, которая позволит самостоятельно приближаться к цели, например за счет выброса боевой части из места установки в направлении цели (по баллистической или реактивной траектории). При этом, в отличие от противобортовых мин типа ТМ-83, перспективные мины должны поражать не только с бокового ракурса в борт, но и с верхней полусферы, и с других ракурсов. В данном случае зона сплошного поражения будет определяться не столько координатными и параметрическими законами взрыва, сколько дальностью действия такой мобильной мины.

Существенное приращение эффективности может быть достигнуто при создании универсальных мин, которые смогут поражать и днище, и гусеницы, и борта, и крышу техники. Так, например, возможно предусмотреть конструкцию мины с фугасной и кумулятивной частями, подрыв которых будет осуществляться исходя из того, какая часть техники будет находиться над миной — гусеница, колесо или днище. Добавление в эту конструкцию возможности реактивного движения позволит обеспечить всеракурсность поражения техники и т.п. В этой связи работы по созданию интеллектуальных минных полей должны предусматривать и эти направления совершенствования инженерных боеприпасов.

Априорно можно предположить, что использование ТИИ в составе минно-взрывных заграждений (МВЗ) позволит увеличить потери живой силы и техники противника, снизить ущерб для своих сил и средств, сэкономить инженерные боеприпасы на минных полях. Для предварительной оценки достигаемого выигрыша необходимо рассмотреть вероятность поражения цели на mine P_m , которая определяется следующим образом [2]:

$$P_m = P_{\text{встр}} \cdot P_{\text{сраб}} \cdot P_{\text{пор}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{встр}}$ — вероятность встречи цели с миной;
 $P_{\text{сраб}}$ — вероятность срабатывания взрывателя и взрыва мины;
 $P_{\text{пор}}$ — вероятность поражения цели при взрыве мины.

В формуле (1) и некоторых последующих оценка различных вероятностных показателей приведена при условии независимого друг от друга действия мин. Данное допущение представляется вполне адекватным не только для традиционных МВЗ, как в [2], но и для ИМП. Очевидно, что в алгоритме применения интеллектуальных полей необходимо, например, предусмотреть, чтобы несколько интеллектуальных мин не подрывались для поражения одной цели в случае, если для этого достаточно одной из них (для экономии боеприпасов). Да и в целом, явную зависимость действия мин друг от друга нужно учитывать только в некоторых специфичных случаях, к примеру — когда одной мины недостаточно для поражения цели и требуется применение других.

Анализируя зависимость (1), можно предположить, что вероятность срабатывания взрывателя и взрыва мины $P_{\text{сраб}}$ определяется в основном конструктивными и функциональными особенностями мины и ее взрывателя (в том числе их надежностью) и не зависит от ТИИ в том смысле, как это понимается в настоящей статье. Для увеличения данной вероятности какие-то виды ТИИ тоже могут применяться (например, для проектирования мин), но это не относится к эффективности их боевого применения.

А вот другие величины в формуле (1) — напрямую зависят от данных технологий. Так, $P_{\text{встр}}$ зависит от тактики применения мин. Например, возможно предусмотреть подрыв мины не только под гусеницей, но и под любой частью

днища, или не только при задевании проволочной растяжки, а при вхождении в зону сплошного поражения. Также и событие, связанное с поражением цели при взрыве мины, можно сделать практически достоверным, если, к примеру, определить тип цели, расположение моторного отсека и осуществить подрыв при прохождении наиболее уязвимой части техники (днище в районе моторного отсека) над миной.

Вероятность встречи цели с миной на одном ряду минного поля равна [2]:

$$P_{\text{встр}} = \frac{z \cdot Q_1}{B}, \quad (2)$$

где z — опасный интервал, м;
 Q_1 — количество мин в ряду, ед.;
 B — длина ряда минного поля, м.

Отношение количества мин в ряду к длине ряда минного поля характеризует его плотность (или среднее расстояние между минами в ряду L). Этот показатель задается на этапе устройства минного поля, не зависит от того, как подрываются мины, от тактики применения минного поля, т.е. фактически не влияет на эффективность боевого применения (именно этапа непосредственного применения) и не чувствителен к параметрам рассматриваемых ТИИ.

Опасный интервал z характеризует протяженность участка такого взаимного расположения цели и мины, когда датчик цели последним получает воздействие, достаточное для ее срабатывания [2] (например, при наезде гусеницы на контактный датчик взрывателя противогусеничной мины).

Для противотанковых противоднищевых мин опасный интервал равен [2]:

$$z = a + b_m, \quad (3)$$

где a — диаметр активной части датчика цели, м;
 b_m — ширина танка, м.

Для указанных мин величина a может определяться из рис. 1.

Для многих противоднищевых мин (например, кумулятивных ТМК-2) датчик цели мины представляет собой штыревую антенну, которая наклоняется при соприкосновении ее с днищем техники. Взрыватель обеспечивает замедление на 0,3–0,45 с, чтобы взрыв происходил под серединой машины. При этом диаметр a зависит,

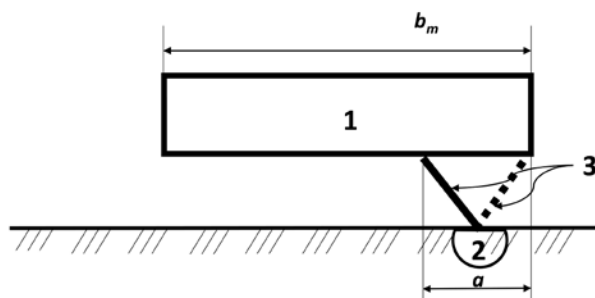


Рис. 1. Схема для определения величины диаметра активной части датчика цели (a) противотанковой мины: 1 — танк; 2 — противотанковая мина; 3 — датчик цели мины

как видно из рис. 1, от соотношения клиренса и длины этой антенны.

Отношение опасного интервала z к среднему расстоянию между минами в ряду, выражение (2) — это не что иное, как мера объективной возможности встречи с миной с точки зрения геометрического определения вероятности (рис. 2):

$$P_{\text{встр}} = \frac{z}{L}.$$

Говоря об опасном интервале для противотанковой мины на ИМП, можно предположить, что вместо a в формуле (3) нужно учитывать диаметр зоны сплошного поражения D или расстояние между минами L (минимальную из этих величин), которые могут быть в несколько раз больше диаметра активной части датчика цели.

Для оценки приращения одной из величин в выражении (1) — вероятности встречи цели с миной — примем расстояние между минами в ряду противотанкового минного поля равным от 4 до 10 м (в среднем 7 метров) [3, 4], диаметр

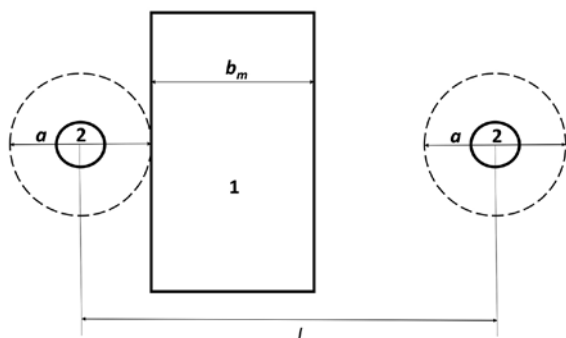


Рис. 2. Схема для определения вероятности встречи с противотанковой миной (обозначения как в рис. 1)

активной части датчика — 0,6 м, а ширину танка 3,5 метра. С учетом этого данное приращение будет:

$$P_{\text{встр}} = \frac{L - z}{L} = \frac{7 - (0,6 + 3,5)}{7} = 0,41,$$

т.е. более 40 %. По всей видимости, отсутствие такого демаскирующего признака, как штыревая антенна, еще в большей степени увеличит рассматриваемую вероятность.

При этом если применяются универсальные (всеракурсные) мины, то экономия инженерных боеприпасов можно будет определить из отношения, например, 50 м (оценка радиуса зоны поражения современной противотанковой мины) к 7 м (среднее расстояние между минами в ряду), т.е. более чем в 7 раз. Данную оценку экономии боеприпасов можно скорректировать с учетом стоимости традиционных и перспективных мин.

Аналогичные рассуждения можно привести и для противогусеничных мин. Так, опасный интервал для них определяется в [2] следующим образом (в соответствии с рис. 3):

$$z = 2(a + b),$$

где a — диаметр активной части датчика цели (крышки взрывателя), м;

b — ширина гусеницы танка, м.

Или, в соответствии с рис. 4:

$$z = 2(b + d - 2q),$$

где q — перекрытие мины гусеницей, при котором не происходит срабатывание мины, м.

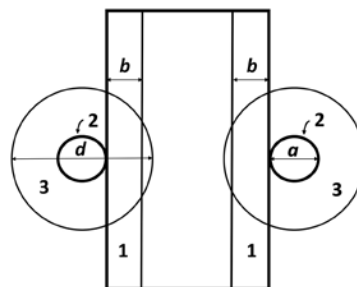


Рис. 3. Схема для определения вероятности встречи с противогусеничной миной: 1 — гусеница; 2 — крышка взрывателя; 3 — противогусеничная мина; d — диаметр мины

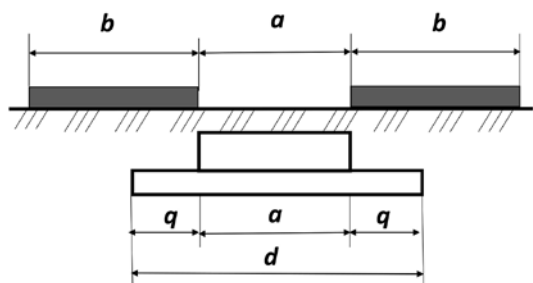


Рис. 4. Дополнительная схема для определения вероятности встречи с противогусеничной миной

Очевидно, что приращение вероятности встречи с противогусеничной миной будет обусловлено тем, что при наезде не только на крышку взрывателя, но и на любую часть мины может произойти подрыв и поражение. В этой связи если принять, что $b = 0,63$ м, $d = 0,32$ и $q = 0,12$, то

$$P_{\text{встр}} = \frac{2(b+d) - 2(b+d-2q)}{L} = \frac{2(0,63+0,32) - 2(0,63+0,32-2 \cdot 0,12)}{7} = 0,07.$$

Если учесть, что $P_{\text{встр}}$ для мины типа ТМ-62 составляет, в соответствии с [2], 0,2, то приращение в 0,07 — это более чем 30 %.

Для противопехотных мин с нажимными датчиками цели против переползающего или бегущего пехотинца опасный интервал равен [2]:

$$z = a + b_n,$$

где a — диаметр активной части датчика цели, м;
 b_n — ширина тела пехотинца, м.

Поскольку для ряда существующих противопехотных нажимных мин диаметр датчика цели равен диаметру самой мины, то прирост вероятности встречи будет обусловлен тем, что опасный интервал будет равен диаметру зоны сплошного поражения, что намного больше диаметра мины. Подрыв такой мины при вхождении живой силы в зону сплошного поражения значительно увеличит эффективность поражения и снизит расход инженерных боеприпасов на ИМП.

Для противопехотных мин с датчиками цели в виде натяжных проволок или нитей опасный интервал определяется, в соответствии с [2], как

$$z = a + \frac{b_n}{2},$$

где a — длина натяжной проволоки или нити, м.

Из рис. 5 видно, что приращение вероятности будет определяться соотношением длины проволоки растяжки и радиуса зоны сплошного поражения. Если эти величины равны, то приращение вероятности, как кажется на первый взгляд, будет равно нулю.

Но в то же время очевидно, что данное соотношение равно единице только при траектории движения военнослужащего, перпендикулярной линии растяжки (в этом случае длина растяжки равна опасному интервалу, см. рис. 6, обозначения аналогичны рис. 5).

При других углах траектории соотношение пересекаемой длины растяжки и диаметра сплошного поражения будут меньше единицы (рис. 7, а) и прирост вероятности встречи с интеллектуальной миной будет значительный. Если же интеллектуальную мину приводить в действие при любом пересечении зоны сплошного поражения (рис. 7, б), то $P_{\text{встр}} \rightarrow 1$ (особенно при отсутствии такого демаскирующего признака, как натяжная проволока).

Вероятность поражения цели при взрыве мины $P_{\text{пор}}$ (третий сомножитель в выражении (1)) зависит от соотношения параметров взрывных явлений (избыточного давления ударной волны, удельной плотности взрыва, скорости детонации, дальности и скорости

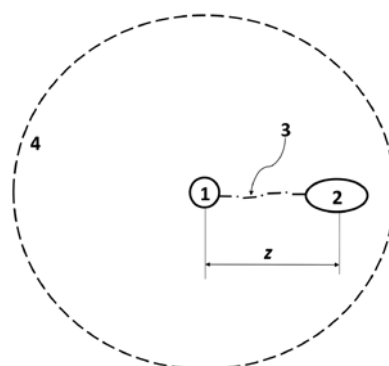


Рис. 5. Схема для определения вероятности встречи пехотинца с противопехотной миной с датчиками цели в виде растяжек: 1 — мина; 2 — пехотинец; 3 — растяжка; 4 — граница зоны сплошного поражения

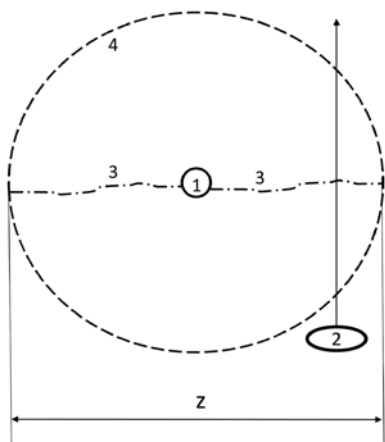


Рис. 6. Схема для определения вероятности встречи пехотинца с миной при перпендикулярной траектории движения

разлета обломков и поражающих элементов и т.п., т.е. параметрических и координатных законов поражения) и уязвимости поражаемых объектов, определяемых толщиной бронирования, сечением траков гусеницы, геометрией поверхности отражения и др. Очевидно, что на уязвимость объектов противника влияние оказано быть не может, поэтому приращение вероятности поражения цели может быть обеспечено за счет увеличения радиуса зоны сплошного поражения цели. Это, как говорилось ранее, может достигаться конструкцией будущей мины, определяющей дальность ее перемещения (выброса, полета и т.п.), направление действия по-

ражающих факторов (угол воздействия кумулятивной струи), ракурс поражения (в днище, борт, верхнюю полусферу). Но не меньшую роль будет играть и рациональный порядок подрыва мин [1]. Например, можно предусмотреть подрыв противоднищевой мины в месте расположения моторного отсека или нахождения боекомплекта. За счет этого $P_{\text{пор}}$ можно значительно приблизить к единице.

Очевидно, зная вероятность поражения цели на mine $P_{\text{мв}}$ можно установить вероятность подрыва цели на минном поле. Для этого примем допущение о том, что цель передвигается на минном поле по траектории если не перпендикулярно линии ряда мин, то хотя бы не допускающей пересечения одновременно нескольких мин в ряду (см. рис. 8).

Аналогичное рассуждение может быть сделано и для зон сплошного поражения мин — вероятность одновременного попадания движущейся цели в зону сплошного поражения двух и более мин сколь угодно близка к нулю (в большей степени это справедливо при отсутствии перекрытия зон сплошного поражения — см. рис. 9).

С учетом вышесказанного и в соответствии с [2] вероятность поражения цели на минном поле $P_{\text{мп}}$ равна:

— для одинаковых рядов мин:

$$P_{\text{мп}} = 1 - (1 - P_{\text{м}})^n;$$

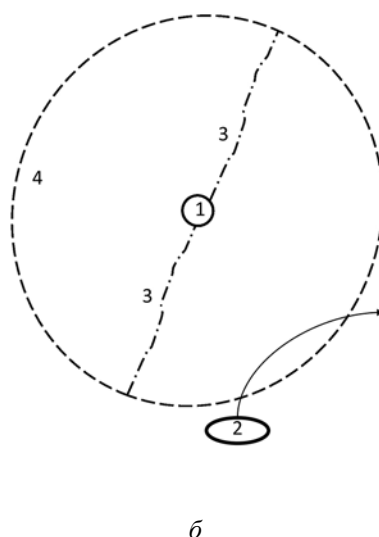
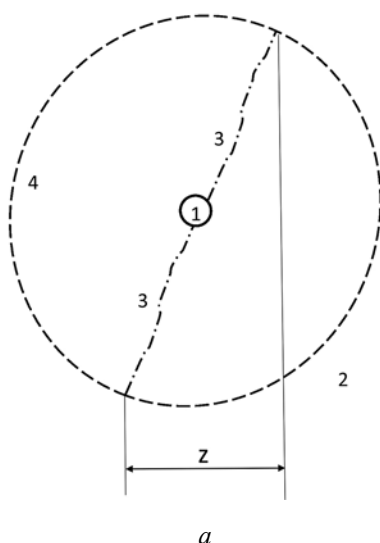


Рис. 7. Схема для определения вероятности встречи пехотинца с миной при произвольной траектории движения

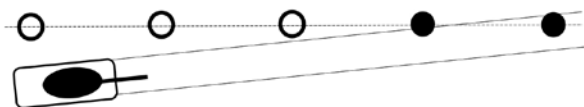


Рис. 8. Взаимное расположение траектории движения бронетехники и линии ряда мин (черным обозначены пересекаемые мины)

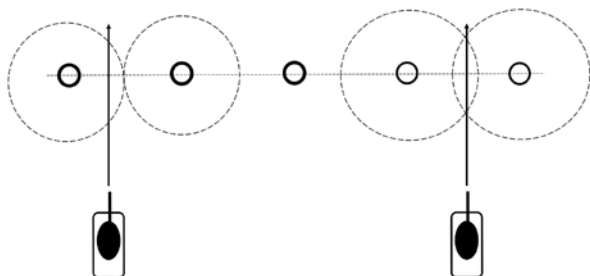


Рис. 9. Взаимное расположение траектории движения бронетехники и зон сплошного поражения мин (обозначены пунктиром)

– для разных рядов мин:

$$P_{мп} = 1 - \prod_{i=1}^I (1 - P_{mi}),$$

где P_{mi} — вероятность поражения цели на mine в i -м ряду;

$i = 1, 2, \dots, I$ — номер ряда минного поля.

Кроме вероятности поражения цели на минном поле эффективность данных МВЗ может быть оценена математическим ожиданием потерь $m_{п}$ [2]:

– для одинаковых целей

$$m_{п} = K \cdot P_{м};$$

– для разных целей

$$m_{п} = \sum_{j=1}^J K_j \cdot P_{mj},$$

где K — количество целей типа;

K_j — количество целей j -го типа;

P_{mj} — вероятность поражения целей j -го типа на минном поле;

$j = 1, 2, \dots, J$ — номер типа цели.

Также возможно определить вероятность поражения заданного количества целей на минном поле ($P_s; K$) [2]:

$$P_{s; K} = C_K^s \cdot P_m^s \cdot (1 - P_m)^{K-s};$$

$$C_K^s = \frac{K!}{s!(K-s)!},$$

где s — заданное количество целей, которое должно быть поражено на минном поле, и ряд других показателей (вероятность поражения не менее заданного количества целей, коэффициент снижения темпа наступления противника и т.п., [2]), которые так или иначе зависят от P_m , т.е. вероятности поражения цели на mine. Поэтому предварительная нижняя оценка прироста в 30–40 % может быть использована и при сравнении эффективности ИМП и традиционных МВЗ в целом. Очевидно, что реализация рационального порядка использования отдельных интеллектуальных мин, как показано в [1], даст еще большее приращение (своего рода синергию). Для этой оценки представляется необходимым разработка имитационной агентной модели функционирования минного поля, в которой в качестве различных агентов могут быть представлены мины и цели.

Использование такой модели позволит оценить эффективность интеллектуального минного поля в широком диапазоне условий и способов его применения. Соотнесение эффективности и стоимости традиционных и интеллектуальных минных полей позволит, в свою очередь, получить адекватную оценку военно-экономического эффекта от применения таких перспективных минно-взрывных заграждений.

Литература

1. Дурнев Р.А., Свиридок Е.В., Попов А.В. Интеллектуальные минные поля: размышления о тактической целесообразности применения // Известия РАН. 2023. № 4 (129). С. 132–139.
2. Саламахин Т.М., Мякишев Б.А., Ротт О.Е. и др. Заграждения, их устройство и преодоление в бою и операции. Часть I. Основы применения взрыва для решения военно-инженерных задач при ведении боевых действий, применение, устройство и боевая эффективность заграждений в бою и операции. Учебник. М.: Изд-во «Общевойсковая академия ВС РФ», 2013.
3. Манин А.А., Тирон Л.И. Инженерное обеспечение: учебник / под общ. ред. А.А. Манина. Новосибирск: НВВКУ, 2021.
4. Наставление по военно-инженерному делу для Советской армии. М.: Воениздат, 1982.