

В.К. Абросимов, С.М. Лапин**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕОРИИ СХОДСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ СКОПЛЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ИНТЕРЕСА НА МЕСТНОСТИ**

Опыт современных боевых действий инициировал высокую актуальность задач оценки динамики изменения во времени характеристик групп (скоплений) объектов интереса на местности с воздуха. Активное развитие беспилотной авиации, в том числе в составе групп, представляет новые возможности периодического мониторинга местности с решением задач обнаружения и распознавания скоплений объектов интереса в динамике. В статье проведен анализ возможности использования теории сходства для решения задач оценки сходства видов вооружений, военной и специальной техники по характеру распределения в различных скоплениях, в том числе в различных геофизических условиях. Показано, что динамика объектов может быть установлена регулярным мониторингом местности с определением для скоплений различных мер сходства и различия. При этом доказана применимость хорошо себя зарекомендовавших статистических методов исследования биоразнообразия, разработанных в биологии для оценки разнообразия популяций, их сложности, схожести, взаимоотношений и др. Приведены характеристики видового разнообразия важнейших детерминированных скоплений войск и техники стран НАТО. Работоспособность предлагаемого подхода продемонстрирована на примере воздушной разведки условного района с распознаванием динамики пяти видов скоплений, включающих различные типы ВВСТ, личного состава и средств инженерного оборудования. Даны общие рекомендации по проведению соответствующих оценок и принятию решений. Рекомендованы к применению следующие основные меры сходства: коэффициенты сходства Жаккара – для определения меры сходства скоплений по входящим в их состав видам образцов ВВСТ (автомобилей, танков, орудий, бронемашин и др.); индекс Маргалефа для определения количества видов ВВСТ в общем количестве объектов ВВСТ в скоплении; обобщенная мера разнообразия по Шеннону – для оценки разнообразия видов в скоплении; индекс доминирования Симпсона – для определения доминирующего вида ВВСТ в скоплении; коэффициент Серенсена-Чекановского – для определения степени встречаемости выбранного вида образцов ВВСТ в скоплении. Полученные результаты целесообразно использовать в многокритериальных задачах предполетного и оперативного планирования групповых действий беспилотных летательных аппаратов в интересах мониторинга контролируемой территории с учетом требуемого графика получения достоверной информации.

Подобие; сходство; близость; мера; скопление; идентификация; объект; динамика; индекс; коэффициент.

V.K. Abrosimov, S.M. Lapin**ON THE USE OF SIMILARITY THEORY TO ASSESS THE DYNAMICS OF CLUSTERS OF SUBJECTS OF INTEREST ON THE GROUND**

The experience of modern combat operations has initiated the high relevance of the tasks of air-delivered assessing the dynamics of changes in time characteristics of groups (clusters) of objects of interest on the ground. The active development of unmanned aviation, including within groups, provides new opportunities for periodic monitoring of the area with the solution of problems of detection and recognition of clusters of objects of interest in dynamics. The article analyses the possibility of using the theory of resemblance to solve the problems of assessing the similarity of types of weapons, military and special equipment by the nature of distribution in various clusters, including in various geographical conditions. It is shown that the dynamics of objects can be established by regular monitoring of the terrain with the estimation of various measures of similarity and difference for clusters. At the same time, the applicability of well-established statistical methods of biodiversity research developed in biology to assess the diversity of population, their complexity, similarity, relationships, etc. is proved. The characteristics of the species diversity of the most important deterministic clusters of troops and equipment of NATO countries are given. The efficiency of the proposed approach demonstrated by the example of aerial reconnaissance of a conditional area with recognition of the dynamics of five types of clusters, including various types of military personnel, personnel and engineering equipment. General recommendations for conducting appropriate assessments and decision-making are given. The following basic

similarity measurements are recommended for use: Jacquard similarity coefficients to determine the similarity level of clusters by their constituent types of VVST samples (cars, tanks, guns, armored vehicles, etc.), the Margalef index to determine the number of types of VVST in the total number of VVST units in the cluster, the generalized Shannon diversity mass to assess the diversity of species in a cluster, the Sorensen-Chekanovsky coefficient is used to determine the degree of occurrence of the selected type of samples in the cluster. It is advisable to use the obtained results in multi-criteria tasks of preflight and operational planning of group operations of unmanned aerial vehicles in the interests of monitoring the controlled territory, taking into account the required schedule for obtaining reliable information.

Resemblance; similarity; affinity; measure; cluster; identification; object; dynamics; index; coefficient.

Введение. В настоящее время в связи с трендами активного развития беспилотной авиации и миниатюризации повышенное внимание уделяется воздушной разведке. Беспилотные летательные аппараты оснащаются высокоэффективной разведывательной аппаратурой [1]. При этом одной из важных практических задач является обнаружение, распознавание и идентификация расположенной на местности группы объектов интереса, образующих некоторое ограниченное в пространстве объединение машин и людей. Такое пространственное образование в силу обычно высокой неопределенности формирования, целеполагания, поведения и постоянной динамики по сути является скоплением, то есть просто «большим количеством скопившихся где-то людей, предметов, веществ» [2].

В связи с изложенным, на практике часто возникает задача количественно оценить степень сходства нескольких скоплений, например, сходство заданных видов вооружений, военной и специальной техники (ВВСТ) по характеру распределения в различных скоплениях, в том числе в различных геофизических условиях. Возникает и обратная задача – оценить сходство двух и более скоплений по составу и видов ВВСТ. Близкой по семантике является постановка задачи определения динамики изменения одного и того же скопления во времени.

Для задач, где требуется найти определенные отличия, традиционно используется теория подобия, методы которой позволяют рассматривать и сравнивать явления, характеризующиеся общим законом развития, аналогичными механизмами процессов, одинаковой физической природой. Для таких явлений отношения характеризующих их величин постоянны. Для решения подобных задач применяют коэффициенты подобия или сходства, большое количество которых разработано в математической статистике (например, статистические критерии различий) [3].

В задачах распознавания и идентификации представляют интерес характеристики сходства и изменчивости складывающейся на местности ситуации с течением времени, степень разнообразия объектов, степень концентрации объектов на местности, меры включения одних объектов в скопление других и др. Поиск сходства, а по сути процесс сопоставления релевантных частей образов друг с другом, является одной из самых быстрорастущих областей в такой технологии искусственного интеллекта, как машинное обучение.

Представляет значительный интерес проведение определенных аналогий между на первый взгляд различными предметными областями – биологией и обороной. В биологии с использованием теории подобия активно изучаются и разрабатываются методы определения различного рода разнообразия популяций, их сложности, схожести, взаимоотношений и др. [4–6]. Но системы воздушной разведки, например, также фиксируют скопления людей, различного вида военной техники, размещаемых в различных геофизических условиях. При этом военным аналогом генетического разнообразия (популяций, индивидов, хромосом, генов и др.) являются образцы ВВСТ, обнаруженные и распознанные средствами разведки в скоплении. Военным аналогом разнообразия на различных уровнях (типы, семейства, роды, виды, подвиды, популяции) являются типы образующих скопления образцов ВВСТ. Военным аналогом экологического разнообразия (ландшафтов, экосистем, мест обитаний и др.) является география местности боевых действий.

Представляет определенный интерес использование хорошо себя зарекомендовавших статистических методов исследования биоразнообразия (см, например [7]) для решения военно-технических задач классификации скоплений ВВСТ на местности и исследования их динамики.

1. Формирование научной гипотезы. Под скоплениями в настоящей работе понимается совокупность военной, специальной и обеспечивающей боевые действия техники, людей, инженерных сооружений, размещенных в ограниченной области пространства. Такие скопления часто формируются, исходя их военно-стратегических соображений [8].

Обнаруживаемое средствами систем воздушной разведки совокупность объектов интереса на местности скопление обладает пятью основными, чаще нечетко выраженными, характеристиками: а) формой б) размерами в) плотностью г) составом образующих элементов (объектов) и г) динамикой. Во многом определяющим могут быть условия, в которых осуществляется наблюдение-время суток, географические особенности региона и др.

Анализ показывает, что скопления могут иметь как случайный, так и детерминированный характер. Под детерминированными скоплениями понимаются скопления, в которых основные характеристики скопления – форма, размер, плотность, включаемые в скопление объекты различных типов – подчинены определенным фиксированным закономерностям. Детерминированность скоплениям военного назначения придают правила формирования скоплений, изложенные в разнообразных документах; именно они в определенной степени фиксируют и рекомендуют указанные выше характеристики [9]. Под случайными скоплениями понимаются скопления, основные характеристики которых могут быть распределены по некоторому случайному закону распределения. Случайность обусловлена разнообразием ситуаций, в которых могут формироваться скопления; при этом далеко не всегда имеется необходимая статистика для формирования законов распределения.

По этой же причине законы распределения характеристик скоплений практически никогда не бывают равномерными или нормальными. В таких случаях, полагая, что характеристики скоплений имеют нечеткий характер, формируют нечеткие скопления, основные характеристики которых выражаются в виде нечетких, лингвистических характеристик [10].

Введем предположение, что сравнение характеристик скоплений и, в конечном итоге, степень их близости к другим пространственным образованиям можно оценивать с использованием совокупности мер теории подобия (мер разнообразия, концентрации и др.) Повторные обнаружения скоплений с расчетом показателей близости и разнообразия входящих в его состав образцов ВВСТ будут свидетельствовать о наличии динамики скопления, а значения показателей укажут на тренд динамики.

2. Краткий обзор литературы. В работе [11] на основе показателей сходства определяется мера близости задач организационного управления в предположении, что взаимосвязи задач управления могут быть описаны присущими им признаками. Предложена формула для определения коэффициента связности.

Довольно большое число публикаций посвящено обнаружению и распознаванию движущихся объектов (см, в частности, [12]). Как правило, при этом используется принцип выявления элементов, принадлежащих одному и тому же объекту и присвоение им одной и той же метки, что закладывается в основу соответствующих алгоритмов сегментации. Ценное замечание содержится в работе [13] о том, что «...ведущая роль в успешном решении задачи распознавания состояний динамических объектов принадлежит не алгоритмам распознавания, а методам выбора информативных признаков и используемых метрик...». В работе [14] предложены новые меры близости (сходства), функции состояний, решающие

правила, основанные на сформулированных автором трех принципах распознавания состояний. Показана высокая эффективность этих мер близости и функций состояний, способствующая правильному распознаванию состояния любых процессов и объектов, установлению истинного диагноза.

В работе [15] построена модель преобразования динамических изображений, позволяющая находить целевые признаки для так называемых статических сцен с движущимися объектами и динамических сцен на основе понятия максимального динамического инварианта.

Достаточно много внимания уделяется вопросам воздушной разведки [16–18]. При этом они ориентированы, прежде всего, на формирование данных для непосредственного целеуказания, точность, своевременность и полнота которых обеспечивали бы нанесение эффективных ударов с применением обычного и высокоточного оружия для поражения целей после ее обнаружения визуально или с помощью бортовых средств.

Наиболее близко к рассматриваемой тематике находится работа [19], в которой проведен анализ классификации объектов, перемещение которых подлежит отслеживанию, рассмотрены подходы и технологии отслеживания перемещения объектов и разработаны соответствующие модели отслеживания.

Подчеркнем, однако, что в основу большинства разработанных методов закладывается анализ видеопоследовательностей, что требует постоянного присутствия средства разведки над изучаемым районом. [20] Указанное является и демаскирующим признаком, и зачастую трудно выполнимо.

Настоящая работа является логическим продолжением статьи [21], в которой разработана методика распознавания класса пространственно-распределенной группы объектов интереса. Ключевой идеей является возможность систематизации и обобщения классификационных признаков, которыми руководствуется Оператор разметки данных в таких ситуациях, фиксация последовательности его рассуждений при принятии решения и формализация их в виде конкретной практической методики. Построена классификация компактных скоплений военной техники на местности, обнаруженных воздушной разведкой и представленных оптоэлектронной информацией систем технического зрения на примере войсковых подразделений стран НАТО.

3. Меры и коэффициенты теории подобия. В последние годы с новых позиций стали рассматриваться методы теории подобия, которую в литературе часто связывают с концепцией близости. Эта концепция в технике еще только формируется и типовые методы исследования пока не зафиксированы. Вместе с тем, вводятся и используются меры разнообразия, меры концентрации (однородности), меры включения, меры сходства, меры различия (в том числе расстояния), меры совместимости и несовместимости событий, меры взаимозависимости, ассоциативные меры, меры подобия и др. [4, 6]. Актуальность использования принципов близости существенно возросла при появлении в последнее время задач машинного обучения и формирования необходимых для этого обучающих выборок. Это связано еще и с тем, что именно эти концепции закладываются в основу методов распознавания образов.

Как основные используются два типа показателей: основанные на качественных данных (то есть присутствие или отсутствие сущности) и количественных данных (обилие сущностей и их численность). Большинство коэффициентов различных мер близости нормированы и находятся в диапазоне от 0 (сходство отсутствует) до 1 (полное сходство). Различают унарные меры сходства (меры разнообразия, меры концентрации, но для одного объекта), бинарные (здесь рассматриваются два объекта) и n -арные, когда рассматривается n объектов [6].

Меры близости широко применяются в биологии, где сравниваются участки (районы, отдельные фитоценозы, зооценозы и т.п.) по таким показателям, как богатство представленных на территории видов, их разнообразие по типам, по вероятности встречаемости вида (типа) и др. Они также применяются в географии, социологии, распознавании образов, поисковых системах, сравнительной лингвисти-

ке, биоинформатике и др. Как правило, совокупность мер близости представляют в виде матриц типа «объект-объект». Это, например, матрицы сходства, матрицы расстояний (в широком смысле-различия), матрицы совместных вероятностей, матрицы информационных функций и др. Большинство из них могут быть построены на основе абсолютных или относительных мер, а они в свою очередь могут быть симметричными или несимметричными (последние часто называются мерами включения).

Рассмотрим применительно к задаче анализа динамики скоплений на местности и сформулированной выше гипотезе наиболее распространенные меры близости.

Важнейшим термином здесь считается разнообразие. Оно рассматривается как комплексный критерий, отражающий три важнейших характеристики скопления: «богатство» (для техники более подходит простой термин «количество»), характеризующееся общим числом элементов всех видов на выбранной территории, выравненность, отражающая степень неравномерности статистического распределения относительных частот встречаемости отдельных видов и экологические расстояния, или мера различий между отдельными элементами внутри скопления

Принципиальным является одновременность нахождения различных видов в определенной области пространства. При этом активно используется крайне простое правило (табл. 1).

Таблица 1

К качественной оценке степени подобию

Сравниваемые скопления	Параметр	1 скопление	
	Наличие видов	есть	нет
2 скопление	есть	a	b
	нет	c	d

Здесь a – количество видов в первом скоплении, b – количество видов во втором скоплении, c – количество видов, общих для 1-ого и 2-ого скоплений, d – количество видов, отсутствующих в обоих скоплениях.

Коэффициент сходства Жаккара. Этот показатель сходства между двумя наборами данных определяет **степень общности видов на различных территориях** (в двух различных скоплениях), является наиболее используемым и определяется по формуле:

$$K_j = c/(a+b-c).$$

Показатель коэффициента Жаккара для разных степеней общности примерно соответствует таким числам: $K_j \leq 0,2$ -отсутствие общности, интервал $K_j=[0,2-0,65]$ – малая общность, интервал $K_j=(0,65-1)$ – значительная общность и $K_j= 1$ – полная общность.

Несходство между двумя наборами данных описывает термин «Расстояние Жаккара». Оно выражается очевидной формулой

$$R_j = 1 - K_j.$$

Индекс Маргалефа. Индекс Маргалефа характеризует качественную и количественную меру видового спектра (**видовое богатство на определенной территории**) и позволяет оценить, сколько видов ВВСТ приходится на общее число объектов на данной территории. Для расчета индекса используется абсолютная величина – число видов и общее число объектов, что делает его чрезвычайно чувствительным к объему выборки. Он определяется по формуле:

$$D = (S - 1) / \lg N.$$

Здесь S – число выявленных видов, а N общее число объектов S видов в скоплении. Понятно, что чем выше значение индекса, тем большее количество видов на нем представлено и тем больше собственно разнообразие.

Для скоплений военной техники разнообразие групп и типов в группах составляющих его объектов является важным критерием распознавания. Типовыми являются абсолютные значения количества ВВСТ и их относительные значения в данном скоплении. Для относительных оценок целесообразно использовать так называемую качественную метрологическую шкалу Стивенсона [22] со следующими оценками: R (англ. rare) – редко (<0,5%); O (англ. occasional) – изредка (0,5-1,5%); C (англ. common) – обычно (1,5-3,0%); A (англ. abundant) – массово (>3,0%). Однако этот индекс допускается только при сравнении скоплений одного и того же типа. Основным недостатком индекса Маргалефа является зависимость от объема выборки. Вместе с тем, характерной особенностью скоплений военной техники является неравномерность – одни виды ВВСТ представлены большим количеством единиц техники, другие – единичными экземплярами. Принято считать, что скопление с примерно одинаковым количеством всех видов обладает высокой «выравненностью» (биологический термин).

Обобщенная мера разнообразия. Итак, число общих видов для сравниваемых скоплений определяется коэффициентом Жаккара. Качественную и количественную меру видового спектра определяет индекс Маргалефа. Для обобщения обеих мер вводится обобщенная мера разнообразия, учитывающая как число видов, так и равенство между ними по численности. Наиболее часто используемым показателем является индекс разнообразия Шеннона. Индекс характеризует *разнообразие видов и выравнивание в структуре скопления*. Он определяется по формуле

$$H = -\sum_i p_i * \ln p_i,$$

где p_i – доля скопления, состоящего из i видов.

Чем выше значение H , тем выше видовое разнообразие (количество видов) в конкретном скоплении. Значение индекса Шеннона возрастает при увеличении числа видов и увеличении доли видов, представленных значительным числом образцов. Разнообразие уменьшается с уменьшением H , а при $H=0$ вырождается в сообщество, состоящее только из одного вида. Индекс Шеннона обычно варьируется в пределах от 1,5 до 3,5, очень редко превышая 4,5.

Минимальное значение индекса Шеннона соответствует минимальному доминированию при минимальном разнообразии видов (все обнаруженные объекты относятся к одному виду). При невысоком уровне доминирования для примерно 100 видов значения индекса Шеннона в пределах 1-2,5.

Индекс доминирования. В биологии есть эмпирическая закономерность Р.Фишера «большинство видов всегда представлены незначительным числом находок» [4]. Таким образом, нормальный закон распределения (большинство представителей выборки характеризуются средними значениями изучаемого параметра) как ни странно, в биологии почти не работает. Поэтому представляется весьма важным распознавать доминирующие группы и типы объектов ВВСТ в скоплениях. Доминирование означает степень неравенства между скоплениями по числу объектов или типов, входящих в скопление.

К числу основных индексов, показывающих *степень выраженности доминирования определенных видов в структуре скопления*, относится индекс Симпсона. Он описывает вероятность принадлежности любых двух образцов ВВСТ, случайно отобранных из неопределенно большого скопления, к разным видам формулой:

$$I_D = \sum_i p_i^2 = \sum_i (n_i / N)^2, i = 1, 2, 3, \dots, S.$$

Здесь p_i – вероятность встречаемости i -го вида в генеральной совокупности, а N – общая численность элементов скопления. Симпсон также вывел несмещенный определитель этой меры

$$I_C = \sum_i \{n_i (n_i - 1) / N (N - 1)\}, N = \sum_i n_i.$$

где n_i – число экземпляров i -го вида.

Увеличение величины индекса Симпсона, означает уменьшение разнообразия и увеличение степени доминирования одного вида n_i ВВСТ. Уровень доминирования считается высоким, если индекс Симпсона превышает значение 0.1. По мере увеличения I_D разнообразие уменьшается. Поэтому индекс Симпсона, как показатель разнообразия, обратного по смыслу «концентрации», часто используют в следующей форме

$$I_D^* = 1 - \sum_i p_i^2.$$

Эта величина в биологии носит название «вероятность межвидовых встреч» и варьируется от 0 до 1. Индекс I_D^* очень чувствителен к присутствию в выборке наиболее обильных видов, но слабо зависит от видового богатства. Высокая или низкая величина индекса определяется типом распределения видовых обилий для случаев, когда число видов превышает 10.

Коэффициент Серенсена-Чекановского. Этот коэффициент является наиболее универсальным при оценках сходства двух или более совокупностей данных в скоплениях ВВСТ. Удобен он тем, что для его вычисления данные могут быть представлены как в виде «встречаемости» (т.е. в виде процентов или долей единицы, где сумма значений равна 100% или 1) так и в абсолютных величинах. Для качественных переменных он рассчитывается по формуле

$$K_S = 2c/(a+b),$$

где c – число общих видов, присутствующих в двух скоплениях, a – число видов ВВСТ, имеющих только в первом скоплении, b – число видов ВВСТ, имеющих только во втором скоплении.

Для учета численности видов используются индексы, включающие показатели обилия. Так, модифицированный индекс Серенсена-Чекановского рассчитывается по формуле

$$K_{SN} = 2 * \sum_{i=1}^N \min(a_i, b_i) / (\sum_{i=1}^N a_i + \sum_{i=1}^N b_i),$$

где a – общее число объектов в скоплении А, b – общее число объектов в скоплении В.

4. Расчет показателей сходства динамических скоплений. Наш анализ показывает, что существует достаточно большое количество разнообразных детерминированных скоплений на местности, в состав которых входят размещаемые на определенных расстояниях и заключенные в определенной географической зоне образцы ВВСТ, личный состав, инженерные сооружения и др. Среди них наиболее характерными являются пункты управления (взводный, ротный, бригады, дивизии (основной, передовой,)), места расположения ударных средств (батареи гаубиц, тактических ракет, РСЗО и др.), склады боеприпасов, питания, горюче-смазочных материалов и др. (табл. 2).

Таблица 2

Видовое разнообразие детерминированных скоплений

Наименование объекта	Условия	Размеры	Плотность	Типы объектов
Взводный опорный пункт	располагается на передней линии (линия боевого соприкосновения)	400×300 м	-	3 отделения, КНП, укрытия для л/с, основные, запасные временные и ложные ОП, р-н БМ, ходы сообщений
Ротный опорный пункт	располагается на передней линии (линия боевого соприкосновения)	1,5×1 км	-	3 ВОП+ усиление
Батальонная тактическая группа	располагается на передней линии (линия боевого соприкосновения)	5×5 км	-	Ротные опорные пункты + усиление

Наименование объекта	Условия	Размеры	Плотность	Типы объектов
Батарея 105-мм букс.гауб М102	Располагается в 2-4 км от переднего края	400×500 м	50-100 м	105-мм буксируемые гаубицы – 6 шт., 87 чел.
Батарея 155-мм самох.гауб М102	Располагается в 3-5 км от переднего края	700×500 м	100-150 м	155-мм сам.гаубицы – 8 шт., 129 чел.
Батарея 203-мм самох.гауб М102	Располагается в 3-5 км от переднего края	700×500 м	100-150 м	203-мм сам.гаубицы – 6 шт., 122 чел.
Основной КП бригады	располагается от переднего края на удалении 4-6 км и далее в наступлении, 8-10 км и далее в обороне	200×200 м	-	-
Передовой командный пункт бригады	на удалении 1,5-2 км в наступлении, 3-5 км в обороне от переднего края	100×200 м	-	-
Основной командный пункт дивизии	рассредоточено	1,5-2×1-2 км	-	штаб, ЦУБД, узел связи, вспомогательные отделы и секции штаба, всего до 200 человек личного состава, 80-90 автомобилей
Передовой командный пункт дивизии	развертывается на удалении 4-8 км от переднего края в наступлении и 6-15 км в обороне	0,4 км ²	-	-
Батарея ТР «АТАСМС»	15-20 км от линии фронта	4×4 км	-	группа управления, три огневых взвода, отделение транспортировки, всего в батарее 86 человек личного состава, 9 ПУ, 4 КШМ, 8 автомобилей, боезапас для одной ПУ – 2-6 ракет
Батарея РСЗО «LARS-2»	8-10 км от переднего края	-	-	машины управления – 2, два огневых взвода, отделение транспортировки, всего в батарее 67 человек личного состава, восемь 110-мм 36-ствольных ПУ, ТЗМ – 1 на батарею, 12 автомобилей
Склады обычных боеприпасов	-	-	-	наличие рассредоточенных групп подземных и полуподземных хранилищ (бункеров), наземных хранилищ на площади 2,5-5 км ² (в каждой группе по 8-10 бункеров, хранилищ); наличие ограждающих валов и маскировочных заборов; усиленная охрана объектов, особенно ночью; прибытие и убытие большегрузных крытых машин, машин с прицепами; расположение вблизи подразделений артиллерийско-технической службы.

Раздел I. Перспективы применения робототехнических комплексов

Наименование объекта	Условия	Размеры	Плотность	Типы объектов
Склады горюче-смазочных материалов	-	-	-	наличие рассредоточенных подземных и наружных различных емкостей: цистерн, наливных мягких емкостей, баков, штабелей бочек и канистр на площади 1,5-3 км ² , подвод стационарных и полевых трубопроводов; работа насосно-распределительных станций; наличие земляных валов, канав вокруг складов и противопожарных щитов; прибытие на склад бензовозов и машин с жесткой или мягкой тарой под горюче-смазочные материалы; объявление и обозначение запретного района, огороженного проволочным забором и предупредительными щитами (указками).

Рассмотрим пример.

Воздушная разведка некоторого района в момент t_0 обнаружила скопления А, В и С, включающие различные ВВСТ и средства инженерного оборудования. В результате разметки данных было установлено, что в круге А радиусом $R_A=2$ км обнаружены I видов образцов ВВСТ ($i=1,2,3, \dots, I$) (табл. 1). В круге В меньшего радиуса $R_B=1$ км обнаружены J видов образцов ВВСТ ($j=1,2,3, \dots, J$). В квадрате со стороной $R_C=1,5$ км обнаружены K ($k=1,2,3, \dots, K$) «обвалованных» сооружений и построек.

С использованием информационных формул объектов (см. работу [16]) установлено, что скопление А представляет собой основной командный пункт (КП) бригады, скопление В – артдивизион, а скопление С – склад боеприпасов. На рис 1,а для примера изображен вид скопления основного КП бригады, наблюдаемого с беспилотного летательного аппарата с высоты около 1 км.

Противник усилил контроль своего воздушного пространства и поэтому непрерывный мониторинг местности исключен. Таким образом, возможность получения видеопоследовательностей отсутствует.



а) исходное положение б) положение после перемещения

Рис. 1. Пример. Основной командный пункт бригады одной из стран-вероятных противников, обнаруженный воздушной разведкой

Через промежуток времени $t_0 + 5$ часов воздушная разведка рассматриваемого района проведена повторно. Объект А не обнаружен. При неизменных типах количество образцов ВВСТ на объектах В и С изменилось (см. табл. 3). Однако обнаружены две новые группы: скопления Д и Е (значительная группа объектов ВВСТ, вытянутая в колонну).

В табл. 3 систематизированы результаты разведки географического района, сделанные в моменты t_0 и $t_0 + 5$ час.

Таблица 3

Виды размеченных объектов в скоплениях

	Скопление А		Скопление В		Скопление С		Скопление D		Скопление Е	
	t_0	$t_0 + 5$	t_0	$t_0 + 5$	t_0	$t_0 + 5$	t_0	$t_0 + 5$	t_0	$t_0 + 5$
Автомашины	25	0	26	20	2	12	0	20	0	6
Танки	3	0	-	-	-	-	0	2	-	-
Орудия	-	-	18	15	-	-	-	-	0	3
Бункеры	-	-	-	-	12	12	-	-	-	-
Личный состав	~ 150	0	~ 55	~ 500	~ 20	~ 100	0	~ 120	0	~ 50
Результат распознавания	КП бригады	Нет объектов	арт дивизион	арт дивизион	Склад боеприпасов	Склад боеприпасов с пополнением склада	Нет объектов	Перемещенный КП бригады	Нет объектов	Перебазируемая группа от артдивизиона

По полученным результатам для всех скоплений рассчитаны на моменты t_0 и $t_0 + 5$ меры сходства и различия: коэффициент сходства Жаккара, индекс Маргалефа, обобщенная мера разнообразия по Шеннону, индекс доминирования Симпсона и коэффициент Серенсена-Чекановского.

Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Коэффициенты, индексы и меры сходства для обнаруженных скоплений

	А		В		С		D		Е		Характеризует в задаче распознавания скоплений
	t_0	$t_0 + 5$	t_0	$t_0 + 5$	t_0	$t_0 + 5$	t_0	$t_0 + 5$	t_0	$t_0 + 5$	
Коэффициенты сходства Жаккара (типы объектов)	0		1		1		0		0		Типаж объектов
Индексы Маргалефа	0,89/-		0,72/0,73		1,3/0,95		-/0,93		0/1,13		Количество видов объектов
Обобщенная мера разнообразия по Шеннону	0,48/0		0,31/0,29		0,84/0,63		0/0,48		0/0,52		Видовое разнообразие
Индекс доминирования Симпсона	0,73/-		0,86/0,88		0,46/0,67		-/0,73		-/0,73		Разнообразие видов в скоплении
Коэффициент Серенсена-Чекановского	0		1		1		0		0		Типаж объектов при незначительном сходстве

6. Анализ показателей сходства скоплений, находящихся в динамике.

Показатели, рассчитанные в разделе 5, являются весьма информативными для поддержки принятия соответствующих решений.

Анализ динамики скопления А. Коэффициент Жаккара демонстрирует неизменность типов объектов с течением времени. Нулевое значение этого коэффициента для А означает отсутствие всех типов объектов, то есть по существу исчезновение скопления к моменту $t_0 + 5$.

Значение индекса Маргалефа ($K_M > 0,8$) в А показывает доминирование одного вида (в данном случае личного состава) над остальными.

Небольшое значение меры разнообразия по Шеннону ($K_{Ш} < 0,5$) указывает на неравномерность распределения видов в скоплении (преобладание количества личного состава над количеством автомобилей и танков).

Индекс доминирования по Симпсону ($K_C > 0,7$) указывает на доминирование вида (личный состав) в скоплении на другими видами (автомобили и танки). А нулевое значение коэффициента по Серенсену-Чекановскому подтверждает исчезновение скопления А к моменту t_0+5 .

Отсутствие в момент t_0+5 скопления А и появление на расстоянии примерно в 5-7 км от места бывшего расположения скопления А нового скопления Д с аналогичными показателями всех коэффициентов позволяет с высокой степенью достоверности предполагать, что произошло перебазирование КП бригады в новое место дислокации.

Анализ динамики скопления В. К моменту t_0+5 скопление В не изменило своего местонахождения. Между тем, максимально высокое значение коэффициента Жаккара при временных изменениях в скоплении В ($K_J = 1$) демонстрирует как неизменность типажа, так и неизменность нахождения скопления на том же месте через 5 часов.

Индекс Маргалефа ($K_M > 0,7$) также подтверждает, что новых типов ВВСТ в скоплении В не появилось, а в течении всего времени наблюдения доминирование одного вида (личного состава скопления) над остальными не изменилось. Вместе с тем, в момент времени t_0+5 произошли небольшие изменения в численном составе видов скопления В.

Небольшое значение меры разнообразия по Шеннону ($K_{Ш} < 0,35$) указывает на неравномерность распределения видов в скоплении (преобладание количества личного состава над количеством автомобилей и орудий). А небольшие изменения значения $K_{Ш}$ в момент времени t_0+5 указывают на изменения в численном составе видов скопления В. Индекс доминирования по Симпсону ($K_C > 0,8$) указывает на доминирование вида (личный состав) в скоплении над другими видами (автомобили и орудия) в течении всего времени наблюдения.

Высокое значение коэффициента по Серенсену-Чекановскому ($K=1$) подтверждает неизменность типов в скоплении и, соответственно, сохранение скоплением В своего места положения к моменту t_0+5 .

Анализ динамики скопления С. Типы объектов в скоплении С не изменились с течением времени (коэффициент Жаккара равен $K_J=1$).

Индекс Маргалефа в начальный момент времени ($K_M = 1,3$) указывает на сравнительно небольшое доминирование одного вида в скоплении над другими (20 человек и 12 бункеров), а через 5 часов индекс ($K_M = 0,95$) позволяет сделать вывод о численном увеличении двух преобладающих видов (на 100 человек личного состава и небольшому увеличению автомобилей).

Сравнительно высокое значение меры разнообразия по Шеннону ($K_{Ш} = 0,84$) в начальный момент времени отображает примерное равенство видов в скоплении, а снижение меры разнообразия ($K_{Ш} = 0,63$) указывает на неравномерность распределения видов в скоплении через выбранный промежуток времени. С учетом предварительного распознавания, что скопление является складом боеприпасов, это позволяет сделать вывод о том, что в момент t_0+5 предположительно осуществляется пополнение склада новыми боеприпасами, с привлечением большего количества личного состава.

Изменение индекса доминирования по Симпсону с $K_C = 0,46$ до $K_C = 0,67$ указывает на увеличение доминирования вида (личный состав) в скоплении на другими видами (автомобили и бункеры), что подтверждает выводы, сделанные на основании меры разнообразия по Шеннону.

Высокое значение коэффициента по Серенсену-Чекановскому ($K_s=1$) подтверждает неизменность типов в скоплении и соответственно сохранение скоплением С своего местоположения к моменту t_0+5 .

Анализ динамики скопления D. Появление скопления D в момент t_0+5 с показателями всех коэффициентов аналогичными скоплению А позволяет сделать вывод о том, что скопление D является перемещенным скоплением А.

Анализ динамики скопления E. Коэффициент Жаккара равный 0 демонстрирует отсутствие каких либо типов объектов, т.е. отсутствие динамики скопления E в момент времени t_0 , и появление скопления в момент t_0+5 .

Нулевой индекс Маргалефа в начальный момент времени ($K_M = 0$) указывает на отсутствие преобладания какого-либо вида в скоплении т.е. на отсутствие самого скопления, а через 5 часов индекс ($K_M = 1,13$) позволяет сделать вывод о появлении нового скопления и преобладании в нем одного из видов над другими (50 человек по отношению к трем орудиям и шести автомобилям).

Небольшое значение меры разнообразия по Шеннону ($K_{ш} = 0,52$) указывает на неравномерность распределения видов в скоплении, что подтверждает выводы из значений индекса Маргалефа.

Индекс доминирования по Симпсону ($K_c > 0,7$) указывает на доминирование вида (личный состав) в скоплении на другими видами (автомобили и орудия).

Нулевое значение коэффициента по Серенсену-Чекановскому подтверждает отсутствие динамики скопления E к моменту t_0+5 , что означает его появление в промежутке времени между t_0 и t_0+5 .

Заключение. Для распознавания динамики изменения ситуации на наблюдаемой местности пока еще не разработано требуемых и простых способов автоматизации таких процессов. Применимость методов распознавания на основе анализа видеопоследовательностей объективно ограничена, прежде всего активностью противника по контролю воздушного пространства. Кроме того, специалист по разметке данных должен обладать крайне высокой квалификацией для определения типа скопления на местности, тем более в процессе его потенциально возможного перемещения.

В работе введена и доказана гипотеза о том, что сравнение характеристик скоплений и, в конечном итоге, степень их близости к другим пространственным образованиям целесообразно оценивать с использованием совокупности мер теории близости. Действительно, по изменениям и возникающим трендам значений мер сходства и различия скоплений объектов интереса можно оценивать их динамику (перемещение в пространстве, вариации значений числа образующих скопление элементов и др.) и выработать соответствующие классификации и выводы.

Рассмотрены и рекомендованы к применению следующие основные меры сходства:

- ◆ коэффициенты сходства Жаккара для определения меры сходства скоплений по входящим в их состав видам образцов ВВСТ (автомобилей, танков, орудий, бронемашин и др.);
- ◆ индекс Маргалефа для определения количества видов ВВСТ в общем количестве объектов ВВСТ в скоплении;
- ◆ обобщенная мера разнообразия по Шеннону для оценки разнообразия видов в скоплении;
- ◆ индекс доминирования Симпсона для определения доминирующего вида ВВСТ в скоплении;
- ◆ коэффициент Серенсена-Чекановского для определения степени встречаемости выбранного вида образцов ВВСТ в скоплении.

Полученные результаты целесообразно использовать в многокритериальных задачах предполетного и оперативного планирования групповых действий беспилотных летательных аппаратов в интересах мониторинга контролируемой территории с учетом требуемого графика получения достоверной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bartulović V., Trzun Z., Hoić M.* Use of Unmanned Aerial Vehicles in Support of Artillery // Operations Strategos. – 2023. – Vol. 7 (1). – P. 71-92.
2. *Ожегов С.И.* Толковый словарь русского языка. – М.: АСТ, 2017. – 320 с.
3. *Perinetti G.* Choosing statistical test when dealing with differences // South European Journal of Orthodontics and Dentofacial Research. – 2016. – Vol. 3 (1). – P. 4-5. – DOI: 10.5937/sejodr3-1264.
4. *Еремеев Е.А.* Математические методы в фаунистических исследованиях. Методическое пособие. – Бийск: Бия, 2020. – 67 с.
5. *Шайхутдинова А.А.* Методы оценки биоразнообразия: методические указания. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 37 с.
6. *Леонтьев Д.В.* Флористический анализ в микологии: учебник для студентов высших учебных заведений. – Харьков, 2008. – 110 с.
7. *Kumphakarm R.* Statistical Methods for Biodiversity Assessment: Doctor of Philosophy Thesis. School of Mathematics, Statistics and Actuarial Science University of Kent, 2016. – Режим доступа: URL: <https://kar.kent.ac.uk/60557/1/81thesis.pdf>.
8. *McCloud G.* What are clusters in the military? – Режим доступа: URL: <https://thegunzone.com/what-are-clusters-in-the-military/>.
9. *Кабанченко А.М.* Основы боевого применения подразделений частей и соединений иностранных армий (на примерах армий США и ФРГ): учеб. пособие. – М.: МГИМО, 2018. – 202 с.
10. *Grover N.* A study of various Fuzzy Clustering Algorithms // International Journal of Engineering Research. – 2014. – Vol. No. 3, Issue No. 3. – P. 177-181.
11. *Кадыров А.Л., Ваховов А.А.* Определение меры близости задач управления // Вестник ТГУПБП. – 2009. – № 4 (40). – С. 86-91.
12. *Обухова Н.А.* Обнаружение и сопровождение движущихся объектов // Информационно-управляющие системы. – 2004. – № 1. – С. 30-37.
13. *Колесникова С.И.* Методы распознавания состояний динамических систем // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316, № 5. – С. 55-62.
14. *Уздин Д.З.* Меры близости, функции состояний и решающие правила в теории распознавания состояний (статистической классификации). – 2-е изд., доп. и испр. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 126 с.
15. *Фаворская М.В.* Модели и методы распознавания динамических образов на основе пространственно-временного анализа последовательностей изображений: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – 2011. – Режим доступа: URL: <https://www.dissercat.com/content/modeli-i-metody-raspoznavaniya-dinamicheskikh-obrazov-na-osnove-prostranstvenno-vremennogo-a> (дата обращения: 2.04.2023).
16. *Васильев В.А., Федюнин П.А., Манин В.А., Васильев А.В.* Концептуальная оценка разведывательного обеспечения ударных действий авиации // Воздушно-космические силы. Теория и практика. – 2020. – № 14. – С. 41-53.
17. *Верба В.С., Меркулов В.И., Чернов В.С.* Информационные системы авиационных комплексов тактической воздушной разведки США // Успехи современной радиоэлектроники. – 2020. – Т. 74, № 2. – С. 5-21.
18. *Гончаренко В.И., Желтов С.Ю., Князь Г.Н., Лебедев Д.А., Михайлин О.Ю., Царева О.Ю.* Интеллектуальная система планирования групповых действий беспилотных летательных аппаратов при наблюдении наземных мобильных объектов на заданной территории // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2021. – № 3. – С. 39-56.
19. *Савинкова С.А.* Разработка метода отслеживания перемещений объектов // Вестник современных исследований. – 2021. – № 1-6 (39). – С. 28-36.
20. *Zhang J., Shao L., Zhang L., Jones G.* Intelligent video event analysis and understanding // Studies in Computational Intelligence. – Berlin, Germany: Springer, 2010. – Vol. 332. – DOI: 10.1007/978-3-642-17554-1.
21. *Абросимов В.К., Никоноров В.И.* Методика разметки данных о компактных скоплениях объектов интереса в задачах машинного обучения // Полет. – 2022. – № 10. – С. 21-28.
22. *Mehtar Erguven* Influences of Measurement Theory on Statistical Analysis & Stevens' Scales of Measurement // Journal of Technical Science and Technologies. – 2014. – Vol. 2, Issue 1. – DOI: <https://doi.org/10.31578/v2i1.52>.

REFERENCES

1. *Bartulović V., Trzun Z., Hoić M.* Use of Unmanned Aerial Vehicles in Support of Artillery, *Operations Strategos*, 2023, Vol. 7 (1), pp. 71-92.
2. *Ozhegov S.I.* Tolkovyy slovar' russkogo yazyka [Explanatory dictionary of the Russian language]. Moscow: AST, 2017, 320 p.
3. *Perinetti G.* Choosing statistical test when dealing with differences, *South European Journal of Orthodontics and Dentofacial Research*, 2016, Vol. 3 (1), pp. 4-5. DOI: 10.5937/sejodr3-1264.
4. *Eremeev E.A.* Matematicheskie metody v faunisticheskikh issledovaniyakh. Metodicheskoe posobie [Mathematical methods in faunal studies. Toolkit]. Biysk: Biya, 2020, 67 p.
5. *Shaykhutdinova A.A.* Metody otsenki bioraznoobraziya: metodicheskie ukazaniya [Methods for assessing biodiversity: guidelines]. Orenburg: OGU, 2019, 37 p.
6. *Leont'ev D.V.* Floristicheskiy analiz v mikologii: uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy [Floristic analysis in mycology: a textbook for students of higher educational institutions]. Khar'kov, 2008, 110 p.
7. *Kumphakarm R.* Statistical Methods for Biodiversity Assessment: Doctor of Philosophy Thesis. School of Mathematics, Statistics and Actuarial Science University of Kent, 2016. Available at: <https://kar.kent.ac.uk/60557/1/81thesis.pdf>.
8. *McCloud G.* What are clusters in the military? Available at: <https://thegunzone.com/what-are-clusters-in-the-military/>.
9. *Kabanchenko A.M.* Osnovy boevogo primeneniya podrazdeleniy chastey i soedineniy inostrannykh armiy (na primerakh armiy SShA i FRG): ucheb. posobie [Fundamentals of the combat use of units of units and formations of foreign armies (using the examples of the US and German armies): tutorial]. Moscow: MGIMO, 2018, 202 p.
10. *Grover N.* A study of various Fuzzy Clustering Algorithms, *International Journal of Engineering Research*, 2014, Vol. No. 3, Issue No. 3, pp. 177-181.
11. *Kadyrov A.L., Vakhobov A.A.* Opredelenie mery blizosti zadach upravleniya [Determination of the measure of proximity of control tasks], *Vestnik TGUPBP* [Bulletin of TSUPBP], 2009, No. 4 (40), pp. 86-91.
12. *Obukhova N.A.* Obnaruzhenie i soprovozhdenie dvizhushchikhsya ob"ektov [Detection and tracking of moving objects], *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Information and control systems], 2004, No. 1, pp. 30-37.
13. *Kolesnikova S.I.* Metody raspoznavaniya sostoyaniy dinamicheskikh sistem [Methods for recognizing states of dynamic systems], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2010, Vol. 316, No. 5, pp. 55-62.
14. *Uzdin D.Z.* Mery blizosti, funktsii sostoyaniy i reshayushchie pravila v teorii raspoznavaniya sostoyaniy (statisticheskoy klassifikatsii) [Proximity measures, state functions and decision rules in the theory of state recognition (statistical classification)]. 2nd ed. Moscow: MAKS Press, 2016, 126 p.
15. *Favorskaya M.V.* Modeli i metody raspoznavaniya dinamicheskikh obrazov na osnove prostranstvenno-vremennogo analiza posledovatel'nostey izobrazheniy: avtoref. diss. ... d-ra tekhn. nauk, 2011 [Models and methods for recognizing dynamic images based on spatio-temporal analysis of image sequences: abstract dr. eng. sc. diss.]. Available at: <https://www.dissercat.com/content/modeli-i-metody-raspoznavaniya-dinamicheskikh-obrazov-na-osnove-prostranstvenno-vremennogo-a> (accessed 2 April 2023).
16. *Vasil'ev V.A., Fedyunin P.A., Manin V.A., Vasil'ev A.V.* Kontseptual'naya otsenka razvedyvatel'nogo obespecheniya udarnykh deystviy aviatsii [Conceptual assessment of reconnaissance support for aviation strike operations], *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika* [Aerospace Forces. Theory and practice], 2020, No. 14, pp. 41-53.
17. *Verba V.S., Merkulov V.I., Chernov V.S.* Informatsionnye sistemy aviatsionnykh kompleksov takticheskoy vozdushnoy razvedki SShA [Information systems of US tactical air reconnaissance aircraft], *Usp ekhi sovremennoy radioelektroniki* [Advances in modern radio electronics], 2020, Vol. 74, No. 2, pp. 5-21.
18. *Goncharenko V.I., Zheltov S.Yu., Knyaz' G.N., Lebedev D.A., Mikhaylin O.Yu., TSareva O.Yu.* Intellektual'naya sistema planirovaniya gruppovykh deystviy bespilotnykh letatel'nykh apparatov pri nablyudenii nazemnykh mobil'nykh ob"ektov na zadannoy territorii [Intelligent system for planning group actions of unmanned aerial vehicles when observing ground mobile objects in a given territory], *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems], 2021, No. 3, pp. 39-56.

19. Savinkova S.A. Razrabotka metoda otslezhivaniya peremeshcheniy ob"ektov [Development of a method for tracking the movement of objects], *Vestnik sovremennykh issledovaniy* [Bulletin of modern research], 2021, No. 1-6 (39), pp. 28-36.
20. Zhang J., Shao L., Zhang L., Jones G. Intelligent video event analysis and understanding, *Studies in Computational Intelligence*. Berlin, Germany: Springer, 2010, Vol. 332. DOI: 10.1007/978-3-642-17554-1.
21. Abrosimov V.K., Nikonorov V.I. Metodika razmetki dannykh o kompaktnykh skopleniyakh ob"ektov interesa v zadachakh mashinnogo obucheniya [Methodology for marking data on compact clusters of objects of interest in machine learning problems], *Polet* [Polet], 2022, No. 10, pp. 21-28.
22. Mehtar Erguven Influences of Measurement Theory on Statistical Analysis & Stevens' Scales of Measurement, *Journal of Technical Science and Technologies*, 2014, Vol. 2, Issue 1. DOI: <https://doi.org/10.31578/v2i1.52>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. И.В. Соколов.

Абросимов Вячеслав Константинович – Главный научно-исследовательский испытательный межвидовой центр перспективного вооружения Министерства обороны РФ; e-mail: avk787@yandex.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79168153512; д.т.н.; с.н.с.; советник РАРАН; в.н.с.

Лапин Сергей Михайлович – e-mail: serg110687@ya.ru; тел.: +79219792431; старший инженер-испытатель.

Abrosimov Viacheslav Konstantinovich – The Main Research and Testing Interspecific Advanced Weapons Center of the Ministry of Defense of the Russian Federation; e-mail: avk787@yandex.ru; Moscow, Russia; phone: +79168153512; dr. of eng. sc.; senior researcher; advisor to RARAN; leading researcher.

Lapin Sergey Michailovich – e-mail: serg110687@ya.ru; phone: +79219792431; senior test engineer.

УДК 007.52:005: 623.094

DOI 10.18522/2311-3103-2024-1-43-57

Д.Н. Гонтарь, В.В. Соловьев, Р.Ю. Джаныбеков, А.В. Палеев, В.В. Семак

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ БОЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УДАРНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В современной системе вооруженного конфликта, где актуальны гибридные и информационные способы решения боевых задач, становится всё более важным разрабатывать эффективные методы оценки боевых возможностей разведывательно-ударных робототехнических систем. Данное исследование направлено на создание универсального метода для оценки таких систем в условиях реальной боевой среды, обеспечивая комплексный подход к измерению их эффективности. Авторы делают акцент на интеграции алгоритмических решений, предназначенных для анализа эффективности современного вооружения и военной техники, что позволяет учесть широкий диапазон переменных и тактико-технических характеристик, характерных для нынешней боевой обстановки. В работе особое внимание уделено выявлению ключевых характеристик наземных боевых роботизированных комплексов и исследованию их использования в группах. Это открывает пути для повышения боевой эффективности, уменьшения рисков для личного состава и улучшения процессов принятия решений. С учетом внедрения автономных технологий исследование подчеркивает значимость роботизации в контексте военных действий, акцентируя на необходимости использования машин в местах высокого риска для человека. Проанализировав существующие методики оценки боевой эффективности ударно-разведывательных образцов вооружения и военной техники, авторы предложили алгоритм, который принимает во внимание уникальные требования и характеристики роботизированных систем, включая их огневую мощь, мобильность и выживаемость. Этот алгоритм может стать основой для разработки систем управления роботизированными комплексами следующего поколения, что обеспечит их повышенную боевую эффективность и способность к эффективной работе в составе групп