

Раздел I. Перспективы применения робототехнических комплексов

УДК 004.896

DOI 10.18522/2311-3103-2020-1-6-16

**В.Х. Пшихопов, А.Р. Гайдук, М.Ю. Медведев, Д.Н. Гонтар, В.В. Соловьёв,
О.В. Мартьянов**

КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ ГРУППЫ РТК*

Рассматривается задача формирования группы автономных робототехнических комплексов с целью нейтрализации обнаруженной группы противника. Группа робототехнических комплексов должна быть сформирована таким образом, чтобы поставленная ей задача по нейтрализации обнаруженного противника была выполнена с большой долей вероятности. Поставленная проблема математически представляет собой задачу о назначениях. Исходными данными для решения указанной задачи являются: типы и число объектов обнаруженной группы противника; данные о расположении объектов противника; данные о составе и характеристиках средств, имеющихся в нашей группировке; тип формируемой группы (робототехническая или смешанная); цель выполнения операции; действия группы по окончании операции. Предлагается решение задачи, базирующееся на оценках эффективности применения отдельных робототехнических комплексов. Решение сформулировано в виде последовательности этапов. На первом этапе осуществляется расчет априорных эффективностей применения каждого элемента обнаруженной группы противника. На втором этапе, исходя из экспертных оценок, производится выбор коэффициентов эффективности применения каждого из имеющихся робототехнических комплексов против каждого элемента обнаруженной группы противника. На третьем этапе осуществляется коррекция априорных оценок эффективности применения имеющихся в распоряжении робототехнических комплексов, с учетом выбранных на втором этапе коэффициентов. На четвертом этапе производится формирование группы робототехнических комплексов таким образом, чтобы ее суммарная эффективность применения превышала суммарную эффективность применения обнаруженного противника в 2,0–2,5 раза. Предложенная методика формирования группы позволяет сформировать как количественный, так и качественный состав группы. В статье приводится пример формирования группы, целью которой является нейтрализация обнаруженного противника. Результаты статьи могут использоваться при моделировании групп роботов, обладающих высокой степенью автономности. Такие группы могут не только выполнять поставленную задачу, но в автоматическом режиме составлять план решения задачи.

Групповое управление; робототехнические комплексы; формирование состава группы; эффективность применения; распределение целей.

**V.Kh. Pshikhopov, A.R. Gaiduk, M.Yu. Medvedev, D.N. Gontar, V.V. Solovjev,
O.V. Martjanov**

CONCEPT OF A ROBOT GROUP CALCULATION

The problem of calculation of an autonomous robotic group in order to destroy the detected enemy group is considered. A group of robots must be formed in such a way that the task assigned to it to destroy the enemy group is performed with a high degree of probability. The task is solved as an assignment problem. The initial information for solving this problem are types and number

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 16–08–00012 выполняемый в Южном федеральном университете.

of objects of the detected enemy group, positions of the enemy objects, information about the war possibilities of the tools available in our group, the type of group being formed (robotic or mixed), the purpose of the operation, the actions of the group at the end of the operation. We propose a solution to the problem based on the evaluation of the effectiveness of individual robotic systems. The solution is formulated as a sequence of the four stages. At the first stage, the calculation of a priori effectiveness of each element of the detected enemy group is performed. At the second stage, based on expert assessments, the choice of efficiency coefficients for each of the available robotic systems against each element of the detected enemy group is made. At the third stage, a priori estimates of the effectiveness of the available robotic systems are corrected, taking into account the coefficients selected at the second stage. At the fourth stage, a group of robotic systems is formed in such a way that its total application efficiency exceeds the total application efficiency of the detected enemy by 2.0–2.5 times. The proposed method of forming a group allows you to create both quantitative and qualitative composition of the group. The article provides an example of the formation of a group whose goal is to neutralize an exposed enemy.

Group control; mobile robots; calculation of a group robot; effectiveness of robot; task assignment.

Введение. Современные военные конфликты имеют ряд специфических черт, существенно отличающих их от конфликтов 19–20 веков. Прежде всего, это отсутствие явных весьма протяженных сплошных фронтов. Непосредственные столкновения в основном протекают между отдельными группами военных, использующих как обычные (традиционные) виды вооружения, так и специальные комплексы вооружений. В настоящее время все шире применяются робототехнические комплексы военного назначения (РТК ВН) наземного, воздушного или морского базирования [1–3]. В последнее время интенсивно проводятся исследования в области применения однородных и разнородных групп робототехнических комплексов [4–6]. Очень часто современные военные конфликты имеют локальный характер и протекают в отдельных районах населенных пунктов, причем при наличии мирного населения.

Важной особенностью современных локальных вооруженных конфликтов является то, что обе противоборствующие стороны чаще всего применяют сходные виды вооружений. При этом тактико-технические характеристики современных вооружений являются, практически, открытыми. Это объясняется тем, что они производятся небольшим числом наиболее развитых в техническом отношении стран и являются предметом международной торговли, как странами-производителями, так и отдельными группами лиц. В связи с этим в печати и различных информационных сетях существует широкая реклама различных вооружений, в которой содержатся открытые данные о тактико-технических характеристиках практически всех известных видов вооружений [7–11]. Исключения составляют лишь виды вооружений новейших разработок, однако вероятность их применения в локальных конфликтах довольно мала.

С другой стороны, применение современных средств разведки: спутников, воздушных РТК ВН, радиотехнических и других систем позволяет не только обнаружить группу военных, но и установить расположение, виды и типы их вооружения. Имеющиеся в настоящее время методики оценки эффективности применения (ЭП) отдельных ВВТ и комплексов вооружений, в том числе и зарубежных, позволяют заранее разработать экспертные таблицы ЭП всех возможных видов ВВТ и РТК ВН, которыми могут располагать группы противника [12–16]. Эта информация позволяет по данным разведки найти оценку ЭП вооружений некоторой военной группы противника и сформировать оперативную группу для решения задачи нейтрализации группы противника.

В данной статье предлагается информационная концепция формирования из состава имеющейся в наличии союзной группировки оперативной группы для нейтрализации обнаруженной группы противника. Существование этой концепции заклю-

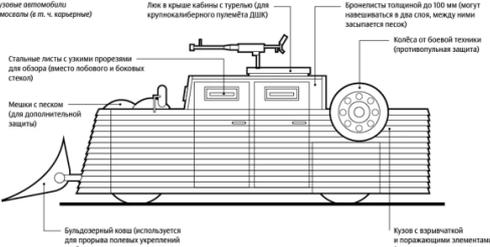
чается в том, чтобы формируемая оперативная группа была оснащена ВВТ, являющимися наиболее эффективными против ВВТ группы противника из тех, которыми располагает наша группировка. При этом ЭП выбранной совокупности ВВТ формируемой группы превышал бы ЭП группы противника не менее, чем в 2–2,5 раза [12, 14, 17]. Одновременно должна учитываться принадлежность ВВТ к тому или иному РТК ВН с тем, чтобы, с одной стороны, использовалось, по возможности, максимальное количество ВВТ, имеющих на каждом РТК ВН, а с другой стороны, минимальное количество последних. Тем самым будет снижена стоимость операции.

Постановка задачи. С математической точки зрения данная задача является задачей о назначениях [13, 18–22], и как всякая задача характеризуется исходными данными. В данном случае такими данными являются:

1. Данные о составе ВВТ (типы и число) обнаруженной группы противника, например, представленные в табл. 1.
2. Данные о расположении ВВТ противника.
3. Данные о живой силе противника.

Таблица 1

Данные о группе противника

Состав РТК ВН (типы и число) группы противника	<p>1. Танк Т-55 – 1 ед. 2. Легкобронированный автомобиль (Mitsubishi L200+ДШК) – 2 ед.</p> <p>«Джихад-мобиль»</p> <p>Используемая техника Платы Танки с демонтированными вооружениями Боевые машины пехоты БМП-1 Грузовые автомобили Самосвалы (в т.ч. карьерные)</p> 
Данные о расположении ВВТ противника	Расстояние до противника – 3 км.
Данные о живой силе противника	Экипажи танка и автомобилей (при расчете БП не учитываются)
Данные о боекомплектах СП ВВТ противника	<p>Т-55 1х 100-мм Д-10Т2С (43 выстрела). 1х 12,7-мм пулемет ДШК-М 300 патр. 1х 7.62 ПКТ (2250 патр.) Mitsubishi L200+ДШК (2 единицы) 1х 12,7-мм пулемет ДШК 500 патр.</p>

4. Данные о составе ВВТ РТК ВН, имеющих в нашей группировке.
5. Данные о технических характеристиках наших РТК ВН.
6. Тип формируемой группы: РТК ВН или смешанной (далее – группы РТК).
7. Цель формируемой группы – окружение, ликвидация или блокирование обнаруженной группы противника.
8. Действия оперативной группы по окончании операции.

Предполагается, что для решения поставленной задачи штаб группировки располагает следующими ресурсами:

- ♦ программа расчета ЭП ВВТ (любого типа) или база данных, в которой содержатся рассчитанные заранее ЭП всех известных ВВТ как наших, так и противника по их номинальным характеристикам;
- ♦ таблица сравнительной эффективности, которая позволяет рассчитать ЭП наших РТК ВН с учетом оставшегося боекомплекта каждого ВВТ и оценить эффективность применения того или иного нашего ВВТ против той или иной цели противника.

Для иллюстрации порядка применения предлагаемой концепции приведем конкретный пример формирования оперативной группы для противодействия группе противника, обнаруженной разведкой. Исходные по этой группе приведены в табл. 1 [7, 11].

В составе группировки, на основе которой должна быть сформирована оперативная группа против указанной выше группы противника, имеются четыре РТК ВН, информация о которых представлена в табл. 2 [8–11].

Таблица 2

Состав и ВВТ нашей группировки РТК ВН

Тип РТК ВН и боекомплекты СП их ВВТ	1. Уран – 9 1х30-мм пушка 2А72 200 выстр. 1х7.62 ПКТМ 2000 патр. 4хПТУР «Атака»
	2. Нерехта 1х12.7 Корд 600 патр.
	3. Соратник 4х РПГ-18 «Муха» 1х12.7 Корд 300 патр.
	4. Уран-6 – инженерный РТК ВН
Данные о технических характеристиках наших РТК ВН в группировке	
Тип формируемой группы	Группа автономных РТК ВН
Цель формируемой группы	Уничтожение РТК и ВВТ противника
Действия по окончании операции	Возврат в пункт постоянной дислокации
Ресурсы	Программа (база ЭП)
	Таблица распределения ВВТ по целям

Решение задачи. В общем случае, выполнение поставленной задачи состоит из этапа разведки, формулирования цели операции, разработки плана выполнения задачи, формирования группы для решения поставленной задачи, выполнения задачи [23, 24]. Последний этап включает в себя периодическую корректировку плана по данным доразведки и, при необходимости, введение резервов.

Указанная процедура поясняется структурой, представленной на рис. 1.

Согласно представленной структуре, центральный пункт управления ставит задачи для группы разведки, которая посылает отчеты по поставленным задачам. В результате полученных данных осуществляется постановка задачи для группы РТК, которая выполняет указанную выше последовательность действий.

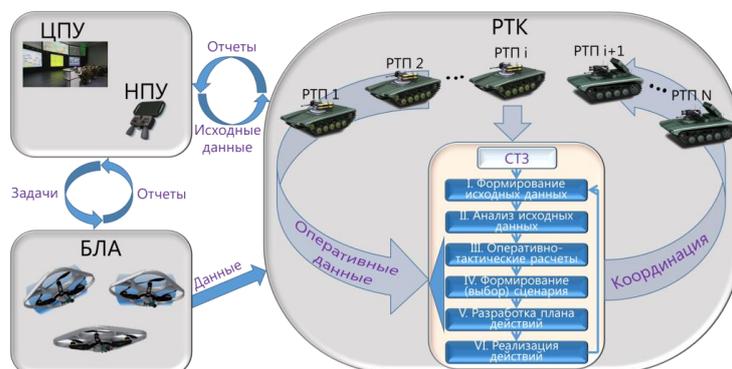


Рис. 1. Структура решения задачи по назначению группой роботов

Формирование группы РТК ВН происходит в следующей последовательности.

1. Прежде всего, определяются значения ЭП каждого ВВТ противника. Если указанная выше база данных имеется, то значения ЭП обнаруженных ВВТ противника выбираются из базы данных. В противном случае они рассчитываются по открытым данным о соответствующих ВВТ. В данном случае значения ЭП рассчитаны по указанным в левой колонке данным табл. 3. Суммарное значение ЭП каждого обнаруженного элемента группы противника указано в правой колонке этой таблицы.

Таблица 3

Суммарные значения ЭП ВВТ группы РТК противника

Типы РТК ВН	Эффективность применения
Т-55 1х 100-мм Д-10Т2С (43 выстрела). 1х 12,7-мм пулемет ДШК-М 300 патр. 1х 7.62 ПКТ (2250 патр.)	1041
Mitsubishi L200+ДШК (2 единицы) 1х 12,7-мм пулемет ДШК 500 патр.	$452 \cdot 2 = 904$

2. По экспертным таблицам распределения выбираются коэффициенты эффективности применения каждого из ВВТ, имеющих в нашей группировке РБК, против каждого РБК и его ВВТ противника. Эти таблицы могут быть составлены, в частности, на основе экспертных оценок с применением «метода парных сравнений» Т.Л. Саати или каким-либо другим методом [25–29]. По отношению к некоторым ВВТ эти коэффициенты можно найти в литературе.

Оценки показателей эффективности применения ВВТ уfriend группировки РТК ВН применительно к рассматриваемому случаю приведены в табл. 4. В пятом столбце этой таблицы приведены максимальные значения ЭП каждого ВВТ, а в шестом и седьмом – значения коэффициентов ЭП против Т-55 и Д-мобиля, соответственно.

3. По данным табл. 4 вычисляются реальные значения ЭП каждого ВВТ нашей группировки РТК по отношению к каждому РТК, входящих в состав группы противника. Вычисление реальной ЭП некоторого ВВТ осуществляется путем умножения его расчетного ЭП на соответствующий коэффициент. Например,

ЭП ПТУР «Атака» по отношению к танку Т-55 равна $863 \cdot 0,9 = 777$. Аналогично, ЭП 30-мм пушки 2А72 по отношению к танку Т-55 равна $433 \cdot 0,2 = 87$, а по отношению к одному Mitsubishi L200+ДШК равна $433 \cdot 0,8 = 346$. Этим же методом найдены и остальные значения реальных ЭП, приведенные в табл. 5.

Таблица 4

Коэффициенты ЭП ВВТ нашей группировки РБК ВН

Поражающие РТК ВН				Поражаемые РТК ВН		
Типы РТК ВН	Стоимость участия в операции	Кол-во в группировке	Типы ВВТ и боекомплект СП	Расчетный ЭП (макс.)	Т-55	Д-мобиль Mitsubishi L200+ДШК
Уран-9	1 000 000	5	ПТУР «Атака»	863	0,9	1
			30-мм пушка 2А72	433	0,2	0,8
			7.62 ПКТМ	0/216	0	0,6
Соратник	300 000	15	РПГ-18 «Муха»	431	0,7	0,9
			12.7 Корд	0/254	0	0,7
Нерехта	100 000	5	12.7 Корд	0/254	0	0,7

Переходя к формированию оперативной группы, по данным табл. 5, не трудно заключить, что из имеющихся в нашей группировке РТК против РТК группы противника эффективными являются только РТК Уран-9 и Соратник, так как каждый из них может действовать как против танка Т-55, так и против L200+ДШК, но с различной эффективностью. Поэтому выделим эти РТК в отдельную табл. 6.

В соответствии с предложенной концепцией, тип и число РТК входящих в состав формируемой оперативной группы выбирается таким образом, чтобы суммарная ЭП группы наших РТК была в 2–2,5 раза больше ЭП группы РТК противника.

Для решения задачи выбора РТК воспользуемся следующей методикой. Прежде всего, отметим, что суммарный ЭП группы противника равен: $1041 + 904 = 1945$, т.е. чтобы иметь преимущество в 2–2,5 раза необходимо создать группировку с ЭП от 3890 до 4862.

Таблица 5

Реальные ЭП ВВТ наших РТК

Поражающие РТК ВН		Поражаемые РТК ВН		
Типы РТК ВН	Типы ВВТ	Расчетный БП (макс.)	Т-55 (1041)	Д-мобиль Mitsubishi L200+ДШК (452*2=904)
Уран-9	4хПТУР «Атака»	863	777	863
	30-мм пушка 2А72	433	87	346
	7.62 ПКТМ	0/216	0	130
Соратник	4хРПГ-18 «Муха»	431	302	388
	12.7 Корд	0/254	0	178
Нерехта	12.7 Корд	254	0	178

В связи с этим рассмотрим 3 варианта:

1. Если в формируемой группе использовать РТК Уран-9, то против танка Т-55 необходимо иметь от $1041 \cdot 2 / 864 = 2,4$ до $1041 \cdot 2,5 / 864 = 3$, т.е. 3 РТК, а против Д-мобилей от $904 \cdot 2 / 1339 = 1,35$ до $904 \cdot 2,5 / 1339 = 1,68$, т.е. 2 РТК. Следовательно, в этом случае в группу необходимо включить 5 единиц РТК Уран-9 общей стоимостью 5 миллионов рублей.

2. Если группу формировать из РТК Соротник, то против танка Т-55 необходимо иметь от $1041 \cdot 2 / 302 = 6,9$ до $1041 \cdot 2,5 / 302 = 8,6$, т.е. от 7 до 9 единиц, а против Д-мобилей от $904 \cdot 2 / 566 = 3,2$ до $904 \cdot 2,5 / 566 = 3,99$, т.е. 4 единицы. Следовательно, в этом случае в группу необходимо включить 12 единиц РТК Соротник общей стоимостью 3,6 миллиона рублей.

3. Приведенные расчеты позволяют заключить, что оперативную группу можно сформировать и таким образом: против танка Т-55 ориентировать 3 РТК Уран-9, а против двух Д-мобилей – 4 РТК Соротник. Тогда общая стоимость РТК оперативной группы составит 4,42 миллиона рублей. Очевидно, этот вариант, как и первый, является нецелесообразным.

Очевидно, при формировании группы целесообразно использовать второй вариант. При этом, окончательно, оперативная группа должна включать 12 единиц РТК Соротник, из которых 8 единиц действуют против танка Т-55, а 4 – против двух Д-мобилей.

Соотношение ЭП РТК оперативной группы с ЭП РТК группы противника:

♦ против Т-55 с ЭП равной 1041 действуют 8 РТК Соротник с ЭП равной $302 \cdot 8 = 2416$, т.е. с превышением в 2,32 раза.

♦ против двух Д-мобилей с ЭП равной 904 действуют 4 РТК Соротник с ЭП равной $566 \cdot 4 = 2264$, т.е. с превышением в 2,5 раза.

Таблица 6

Эффективные РТК нашей группировки

Поражающие РТК ВН			Поражаемые РТК		Варианты и стоимость		
Типы РТК ВН	Цена участия 1 ед. РТК	Типы ВВТ	Т-55 (1041)	Д-мобиль L200+ДШК 2 ед. ($452 \cdot 2 = 904$)	1	2	3
					$5 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^6$	$4,2 \cdot 10^6$
Уран-9	$5 \cdot 10^6$	ПТУР «Атака»	864	1339	3+2=5	0	3
		30-мм пушка 2А72					
		7.62 ПКТМ					
Соротник	$3 \cdot 10^5$	РПГ-18 «Муха»	302	566	0	8+4=12	4
		12.7 Корд					

Очевидно, полученное решение задачи формирования оперативной группы для нейтрализации группы противника, с известными значениями ЭП её РТК, соответствует предложенной концепции.

Заключение. В работе представлен подход к решению задачи формирования оперативных групп робототехнических комплексов военного назначения, предназначенных для нейтрализации обнаруженных разведкой групп противника. Решение задачи осуществляется с применением экспертных оценок эффективности боевого применения робототехнических комплексов, которые формируются соответствующими методами на основе известных ценовых и технических характеристик имеющихся в наличии РТК.

Расчитанная в результате предложенного подхода группа обладает эффективностью, позволяющей решить поставленную задачу.

Следует отметить, что эффективность решения поставленной задачи, зависит не только от состава группы, но и от качества решения задач группового управления, таких как формирование оптимального строя, целераспределение, рациональный выбор критериев [30–32]. Указанные аспекты также могут быть учтены при формировании группы. В частности, в работе [33] проведена оценка системного эффекта от группового применения роботов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макаренко С.И.* Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 2. – С. 17-28.
2. *Дульнев П.А., Педенко Н.П., Старовойтов С.Н., Сычев С.А.* К вопросу развития робототехнических средств сухопутных войск и оценки эффективности их боевого применения // Военная мысль. – 2019. – № 7. – С. 147-156.
3. *Рубцов И.В.* Вопросы состояния и перспективы развития отечественной наземной робототехники военного и специального назначения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (140). – С. 23-29.
4. *Rizk Y., Awad M., Tunstel E.W.* Cooperative heterogeneous multi-robot systems: A survey // ACM Computing Surveys Volume. – 2019. – Vol. 52 (2).
5. *Xu B., Yang Z., Ge Yu., and Peng Z.* Coalition Formation in Multi-agent Systems Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm // International Journal of Hybrid Information Technology. – 2015. – Vol. 8 (3). – P. 1-8.
6. *Tan Y., Zheng Z.-Y.* Research Advance in Swarm Robotics // Defense Technology. – 2013. – Vol. 9 (1). – P. 18-39.
7. *Гришин Н.В.* Организация системы закупок вооружения и военной техники для министерств обороны ведущих стран НАТО // ФГУП Труды Крыловского государственного научного центра. – 2017. – № 380. – С. 148-160.
8. Боевой робот «Урал-9». *huntsmanblog*, 2017. – URL: <http://huntsmanblog.ru/boevoj-robot-ural-9/> (дата обращения: 20.02.2020).
9. Боевой роботизированный комплекс "Нерехта" // Новости ВПК. – 2019. – URL: <https://vpk.name/library/f/nerehta-rtk.html> (дата обращения: 20.02.2020).
10. БАС-01Г БМ "Соратник", вариант. № 2. Армия-2016. – 2016. – URL: <https://yuripasholok.livejournal.com/9424148.html> (дата обращения: 20.02.2020).
11. *Зубов В.Н.* Новые российские военные робототехнические комплексы // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – СПб.: Научно-производственное объединение специальных материалов, 2017. – № 5-6. – P. 107-108. – С. 73-81. – ISSN: 2306-1456.
12. *Паршин Н.М., Степанов О.А., Куренков Н.И., Ананьев С.Н.* Концептуальный подход к оценке эффективности применения системы высокоточного оружия в операциях // Военная мысль. – 2019. – № 3. – С. 72-81.
13. *Костин Н.А.* Методический подход к определению боевых потенциалов войсковых формирований // Военная мысль. – 2017. – № 10. – С. 33-48.
14. *Брезгин В.С.* Методика расчёта боевых потенциалов образцов вооружения и военной техники по результатам имитационного моделирования боевых действий // Вооружение и экономика. – 2009. – № 1 (5). – С. 30-34.
15. *Леонов А.В., Трущенко В.В., Нестеров Д.В.* Алгоритм военно-экономической оценки эффективности использования робототехнических комплексов в составе подразделений Вооруженных Сил Российской Федерации // Военная мысль. – 2019. – № 7. – С. 81-90.
16. *Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П.* Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения / редкол. серии: *В.В. Панов* (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2010. – 368 с.
17. *Гайдук А.Р., Каркищенко А.Н., Пилюхов В.Х.* О влиянии РТК ВН на эффективность использования ВВТ // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 1 (203). – С. 61-74.
18. *Gaiduk A.R.* Polynomial design of the stochastic optimal, minimal complication system // Lecture Notes in Control and Information Sciences. – 1990. – P. 611-615.

19. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009. – 280 с.
20. Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Концепция построения систем коллективного управления беспилотными летательными аппаратами // В кн.: Системы радиоуправления. Кн. 4. Оптимизация алгоритмов управления / под ред. В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2018. – С. 39-46.
21. Geng M., Xu K., Zhou X., Ding B., Wang H., Zhang L. Learning to cooperate via an attention-based communication neural network in decentralized multi-robot exploration // Entropy. – 2019. – Vol. 21 (3).
22. Martínez-García E.A., Torres-Córdoba R., Carrillo-Saucedo V.M., López-González E. Neural control and coordination of decentralized transportation robots // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*. – 2018. – Vol. 232 5. – P. 519-540.
23. Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042 // Department of defense. US, 2017. – P. 58.
24. Unmanned Aircraft Systems. Joint Doctrine Publication 0-30.2. – https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/673940/doctrine_uk_uas_jdp_0_30_2.pdf.
25. Саати Т.Л. Принятие решений: Методы анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
26. Мартемьянов Ю.Ф. Экспертные методы принятия решений. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2010. – 80 с.
27. Орлов А.И. Методы принятия управленческих решений. – М.: КНОРУС, 2018. – 286 с. – ISBN 978-5-406-06430-6
28. Blanco-Mesa, F., Merigó, J.M., Gil-Lafuente, A.M. Fuzzy decision making: A bibliometric-based review // *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. – 2017. – Vol. 32 (3). – P. 2033-2050.
29. Groeneveld, J., Müller, B., Buchmann, C.M., et. all. Theoretical foundations of human decision-making in agent-based land use models – A review // *Environmental Modeling and Software*. – 2017. – Vol. 87. – P. 39-48.
30. Pshikhopov V., and Medvedev M. Group control of autonomous robots motion in uncertain environment via unstable modes // *SPIIRAS Proceedings*. – 2018. – Vol. 60 (5). – P. 39-63.
31. Vorotova A., Medvedev M., Soloviev V., Finaev V. Statistical Data Processing of Two Mobile Objects Behavior in Random Environments Using Simulation Modeling Method // *International Review of Automatic Control*. – 2019. – Vol. 12 (4). – P. 182-191.
32. Pshikhopov V., Medvedev M. Position-Path Control of a Vehicle // *Path Planning for Vehicles Operating in Uncertain 2D Environments*. – 2017. – P. 1-23.
33. Гайдук А.Р., Пишхопов В.Х., Медведев М.Ю., Плаксиенко В.С., Гонтарь Д.Н. Оценка влияния эффекта системности на результативность антагонистических игр // *Известия Юго-Западного государственного университета*. – 2019. – Т. 23, № 5. – С. 129-144.

REFERENCES

1. Makarenko S.I. Robototekhnicheskie komplekсы voennogo naznacheniya – sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Military robotic systems – current state and development prospects]. *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti* [Systems of Control, Communication and Security], 2016, No. 2, pp. 17-28.
2. Dul'nev P.A., Pedenko N.P., Starovoytov S.N., Sychov S.A. K voprosu razvitiya robototekhnicheskikh sredstv sukhoputnykh voysk i otsenki effektivnosti ikh boevogo primeneniya [On the issue of development of robotic means of the land forces and evaluation of the effectiveness of their combat use]. *Voennaya mysl'* [Military thought], 2019, No. 7, pp. 147-156.
3. Rubtsov I.V. Voprosy sostoyaniya i perspektivy razvitiya otechestvennoy nazemnoy robototekhniki voennogo i spetsial'nogo naznacheniya [Current situation and perspective of development for ground military and special robotics]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences], 2013, No. 3 (140), pp. 23-29.
4. Rizk Y., Awad M., Tunstel E.W. Cooperative heterogeneous multi-robot systems: A survey, *ACM Computing Surveys Volume*, 2019, Vol. 52 (2).
5. Xu B., Yang Z., Ge Yu., and Peng Z. Coalition Formation in Multi-agent Systems Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm, *International Journal of Hybrid Information Technology*, 2015, Vol. 8 (3), pp. 1-8.

6. Tan Y., Zheng Z.-Y. Research Advance in Swarm Robotics. *Defense Technology*, 2013, Vol. 9 (1), pp. 18-39.
7. Grigin N.V. Organizatsiya sistemy zakupok vooruzheniya i voennoy tekhniki dlya ministerstv oborony vedushchikh stran NATO [Organization of the procurement system for weapons and military equipment for the Ministry of defense of the leading NATO countries]. *FGUP Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo centra* [Proceedings of the Krylov state scientific center], 2017, No. 380, pp. 148-160.
8. Boevoy robot «Ural-9» [Ural-9 combat robot], 2017. Available at: <http://huntsmanblog.ru/boevoy-robot-ural-9/> (accessed 20 February 2020).
9. Boevoy robotizirovanny kompleks "Nerekhta" [Nerekhta combat robot]. *Elektronnyy resurs* [Electronic resource]. *Novosti VPK* [News of the military -industrial complex], 2019. Available at: <https://vpk.name/library/f/nerekhta-rtk.html> (accessed 20 February 2020).
10. BAS-01G BM "Soratnik", variant № 2. Armiya-2016 [BAS-01G BM "Soratnik", variant 2, Army-2016], 2016. Available at: <https://yuripasholok.livejournal.com/9424148.html> (accessed 20 February 2020).
11. Zubov V.N. Novye rossiyskie voennye robototekhnicheskie komplekсы [New Russian military robotic systems], *Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodeystviya terrorizmu* [Questions of defense equipment. Series 16: Technical means of countering terrorism], 2017, No. 5-6 (107-108), pp. 73-81. ISSN: 2306-1456.
12. Parshin N.M., Stepanov O.A., Kurenkov N.I., Ananjev S.N. Kontseptual'nyy podkhod k otsenke effektivnosti primeneniya sistemy vysokotochnogo oruzhiya v operatsiyakh [A conceptual approach to evaluating the effectiveness of a precision weapon system in operations]. *Voennaya mysl'* [Military thought], 2019, No. 3, pp. 72-81.
13. Kostin N.A. Metodicheskiy podkhod k opredeleniyu boevykh potentsialov voyskovykh formirovaniy [Methodological approach to determining the combat potential of military formations]. *Voennaya mysl'* [Military thought], 2017, No. 10, pp. 33-48.
14. Brezgin V.S. Metodika rascheta boevykh potentsialov obrazcov vooruzheniya i voennoy tekhniki po rezul'tatam imitatsionnogo modelirovaniya boevykh deystviy [Method of calculating the combat potential of weapons and military equipment samples based on the results of simulation of combat operations]. *Vooruzhenie i ekonomika* [Armament and economy], 2009, No. 1 (5), pp. 30-34.
15. Leonov A.V., Trushenkov V.V., Nesterov D.V. Algoritm voenno-ekonomicheskoy otsenki effektivnosti ispol'zovaniya robototekhnicheskikh kompleksov v sostave podrazdeleniy Vooruzhennykh Sil Rossiyskoy Federatsii [Algorithm for military -economic evaluation of the effectiveness of using robotic systems in the armed Forces of the Russian Federation]. *Voennaya mysl'* [Military thought], 2019, No. 7, pp. 81-90.
16. Burenok V.M., Pogrebnyak R.N., Skotnikov A.P. Metodologiya obosnovaniya perspektiv razvitiya sredstv vooruzhennoy bor'by obshchego naznacheniya [Methodology for substantiating the prospects for the development of General-purpose weapons]. Ed. by V.V. Panov. Moscow: Mashinostroenie, 2010, 368 p.
17. Gaiduk A.R., Karkischenko A.N., Pshikhopov V.Kh. O vliyaniy RTK VN na effektivnost' ispol'zovaniya VVT [About influence of the military rtk on efficiency use of WMT], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences], 2019, No. 1 (203), pp. 61-74.
18. Gaiduk A.R. Polynomial design of the stochastic optimal, minimal complication system, *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, 1990, pp. 611-615.
19. Kalyaev I.A., Gaiduk A.R., Kapustyan S.G. Modeli i algoritmy kollektivnogo upravleniya v gruppakh robotov [Models and algorithms for collective control in robot groups]. Moscow: Fizmatlit, 2009, 280 p.
20. Gaiduk A.R., Kapustyan S.G. Kontseptsiya postroeniya sistem kollektivnogo upravleniya bespilotnymi letatel'nymi apparatami [The concept of building collective control systems for unmanned aerial vehicles], *In book: Sistemy radioupravleniya. Kn. 4. Optimizatsiya algoritmov upravleniya* [Radio control systems. Book 4. Optimization of control algorithms]. Ed. by V.I. Merkulov. Moscow: Radiotekhnika, 2018, pp. 39-46.
21. Geng M., Xu K., Zhou X., Ding B., Wang H., Zhang L. Learning to cooperate via an attention-based communication neural network in decentralized multi-robot exploration, *Entropy*, 2019, Vol. 21 (3).
22. Martínez-García E.A., Torres-Córdoba R., Carrillo-Saucedo V.M., López-González E. Neural control and coordination of decentralized transportation robots, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 2018, Vol. 232 (5), pp. 519-540.

23. Unmanned Systems Integrated Roadmap 2017-2042, Department of defense. US, 2017, pp. 58.
24. Unmanned Aircraft Systems. Joint Doctrine Publication 0-30.2. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/673940/doctrine_uk_uas_jdp_0_30_2.pdf.
25. Saati T.L. Prinyatie resheniy: Metody analiza ierarkhiy [Decision making: Methods of the analysis of hierarchies]. Moscow: Radio i svyaz', 1993.
26. Martwmyanov Yu.F. Ekspertnye metody prinyatiya resheniy [Expert decision making methods]. Tambov: Tambovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet, 2010. 80 p.
27. Orlov A.I. Metody prinyatiya upravlencheskikh resheniy [Management decision making methods]. Moscow: KNORUS, 2018, 286 p.
28. Blanco-Mesa, F., Merigó, J.M., Gil-Lafuente, A.M. Fuzzy decision making: A bibliometric-based review. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2017, Vol. 32 (3), pp. 2033-2050.
29. Groeneveld, J., Müller, B., Buchmann, C.M., et. all. Theoretical foundations of human decision-making in agent-based land use models – A review, *Environmental Modeling and Software*, 2017, Vol. 87, pp. 39-48.
30. Pshikhopov V., and Medvedev M. Group control of autonomous robots motion in uncertain environment via unstable modes, *SPIIRAS Proceedings*, 2018, Vol. 60 (5), pp. 39-63.
31. Vorotova A., Medvedev M., Soloviev V., Finaev V. Statistical Data Processing of Two Mobile Objects Behavior in Random Environments Using Simulation Modeling Method, *International Review of Automatic Control*, 2019, Vol. 12 (4), pp. 182-191.
32. Pshikhopov V., Medvedev M. Position-Path Control of a Vehicle, *Path Planning for Vehicles Operating in Uncertain 2D Environments*, 2017, pp. 1-23.
33. Gaiduk A.R., Pshikhopov V., Medvedev M., Plaksienko V.S., Gontar' D.N. Otsenka vliyaniya effekta sistemnosti na rezul'tativnost' antagonistskikh igr [Evaluation of the impact of the system effect on the effectiveness of antagonistic games], *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Southwestern state University], 2019, Vol. 23, No. 5, pp. 129-144.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Р.А. Нейдорф.

Пшихопов Вячеслав Хасанович – НИИ робототехники и процессов управления Южного федерального университета; e-mail: pshichop@rambler.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2; тел.: 88634371694; д.т.н.; профессор; директор.

Гайдук Анатолий Романович – e-mail: gaiduk_2003@mail.ru; д.т.н.; профессор; в.н.с.

Медведев Михаил Юрьевич – e-mail: medvmihal@sfedu.ru; д.т.н.; в.н.с.

Гонтарь Дмитрий Николаевич – e-mail: dimagont@gmail.com; м.н.с.

Соловьев Виктор Владимирович – e-mail: soloviev-tti@mail.ru; с.н.с.

Мартьянов Олег Викторович – Фонд перспективных исследований; e-mail: martyanovov@fpi.gov.ru; г. Москва, Бережковская набережная, 22, стр. 3; тел.: +74994180025; к.т.н.; руководитель Национального центра развития технологий и базовых элементов робототехники.

Pshikhopov Viacheslav Khasanovich – R&D Institute of Robotics and Control Systems; e-mail: pshichop@rambler.ru; 2, Shevchenko street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634371694; dr. of eng. sc.; professor; director.

Gaiduk Anatoly Romanovich – e-mail: gaiduk_2003@mail.ru; dr. of eng. sc.; leading researcher.

Medvedev Mikhail Yurjevich – e-mail: medvmihal@sfedu.ru; dr. of eng. sc.; leading researcher.

Gontar Dmitrii Nikolaevich – e-mail: dimagont@gmail.com; researcher.

Solovjev Victor Vladimirovich – e-mail: soloviev-tti@mail.ru; senior researcher.

Martyanov Oleg Victorovich – Fond of Prospective Investigations; e-mail: martyanovov@fpi.gov.ru; 22/3, Berezhkovskaya naberezhnaya, Moscow, Russia; phone: +74994180025; cand. of eng. sc.; Director of National center for the development of technologies and basic elements of robotics.