

УДК 629.7.058.53

The Concept of Recognition of Air Targets in the Aviation Radar Complex

**Alexander V. Bogdanov^a,
Sergey S. Korotkov^a, Alexander A. Kuchin^{*a},
Victor N. Bondarev^a and Igor V. Lyutikov^b**

*^aVKO Military Academy named Marshal
of the Soviet Union Georgiy Zhukov
50 Zhigareva Str., Tver, 170100, Russia*

*^bSiberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

Received 16.12.2015, received in revised form 24.01.2016, accepted 18.02.2016

The version of the concept of comprehensive recognition of air targets in an aviation radar complex of the fighter is offered, the lists of decisions of the pilot of the fighter, levels of optimization of guidance of guided missiles and elements of artificial intelligence based on recognition of air targets are defined.

Keywords: detection, aircraft, radar, complex, guidance, guided missiles, artificial intelligence.

Citation: Bogdanov A.V., Korotkov S.S., Kuchin A.A., Bondarev V.N., Lyutikov I.V. The concept of recognition of air targets in the aviation radar complex, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2016, 9(3), 319-331. DOI: 10.17516/1999-494X-2016-9-3-319-331.

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: kuchin.a.a@gmail.com

Концепция распознавания воздушных целей в авиационном радиолокационном комплексе

**А.В. Богданов^а, С.С. Коротков^а,
А.А. Кучин^а, В.Н. Бондарев^а, И.В. Лютиков^б**

^а*Военная академия ВКО
имени маршала Советского Союза Г.К. Жукова
Россия, 170100, Тверь, ул. Жигарева, 50*
^б*Сибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

Предложен вариант концепции всестороннего распознавания воздушных целей в авиационном радиолокационном комплексе истребителя, определены перечни решений летчика-истребителя, уровни оптимизации наведения управляемых ракет и элементы искусственного интеллекта, основанные на распознавании воздушных целей.

Ключевые слова: распознавание, авиационный, радиолокационный комплекс, наведение, управляемые ракеты, искусственный интеллект.

В настоящее время какая-либо концепция (совокупность устойчивых взглядов) радиолокационного (РЛ) распознавания состояния воздушных целей (ВЦ) в авиационных РЛ-комплексах (АРЛК) практически отсутствует. В современных АРЛК вопросы РЛ-распознавания состояния одиночных, групповых и разделяющихся ВЦ ни на уровне первичной, ни на уровне вторичной обработки сигналов практически не рассматривались, а, например, для перспективных отечественных истребителей нового поколения делаются определенные попытки (в основном декларативного характера), но только в направлении распознавания типа одиночной пилотируемой ВЦ (не в комплексе типового состава группы целей, их количества, формы боевого порядка, характера полета элементов группы целей), что явно недостаточно для истребителя нового поколения, конкурирующего на мировом рынке. На рис. 1 представлен вариант концепции РЛ-распознавания ВЦ в перспективном АРЛК, в которой основополагающее место занимают следующие положения.

Цель распознавания ВЦ предполагает:

перечень решений летчика-истребителя, поддержка которых будет осуществляться на основе распознавания состояния ВЦ;

уровень оптимизации наведения ракет, которая будет осуществляться за счет распознавания состояния ВЦ;

перечень элементов искусственного интеллекта (выполнение операций без участия летчика), основанного на распознавании состояния ВЦ.

На основе теоретических и практических результатов летно-экспериментальных исследований информационных свойств РЛ-сигналов, отраженных от различных реальных одиночных, групповых и разделяющихся ВЦ, можно предложить следующую структуру их распознавания на каждом из этапов боевого применения АРЛК (рис. 2).

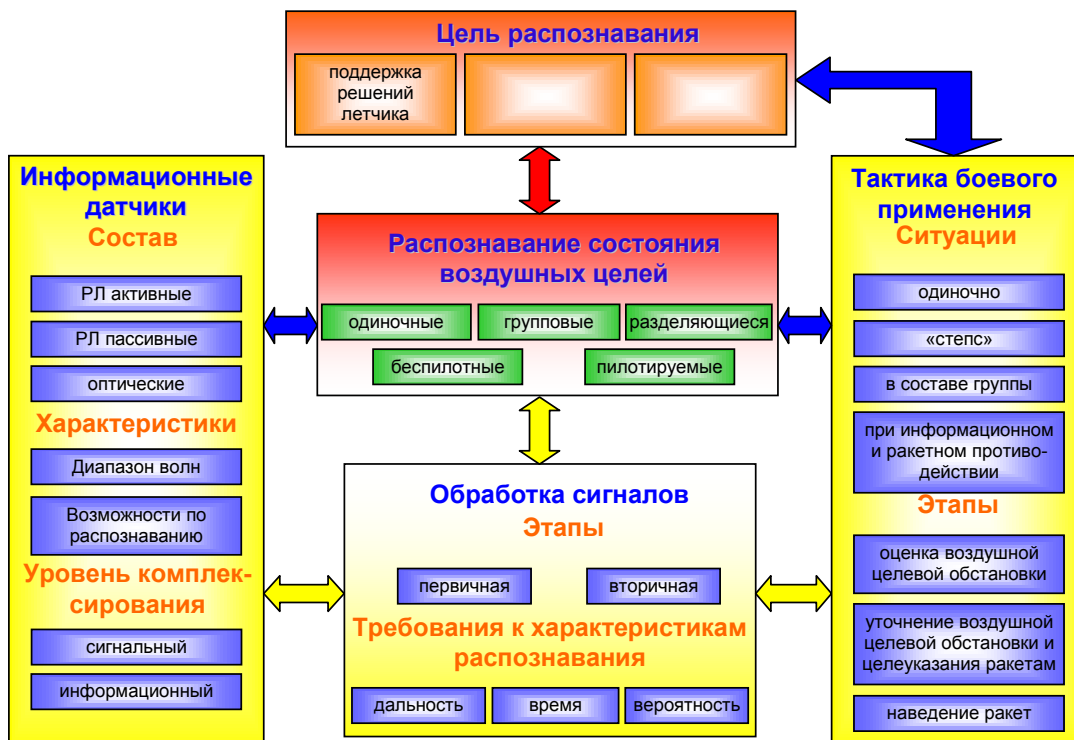


Рис. 1

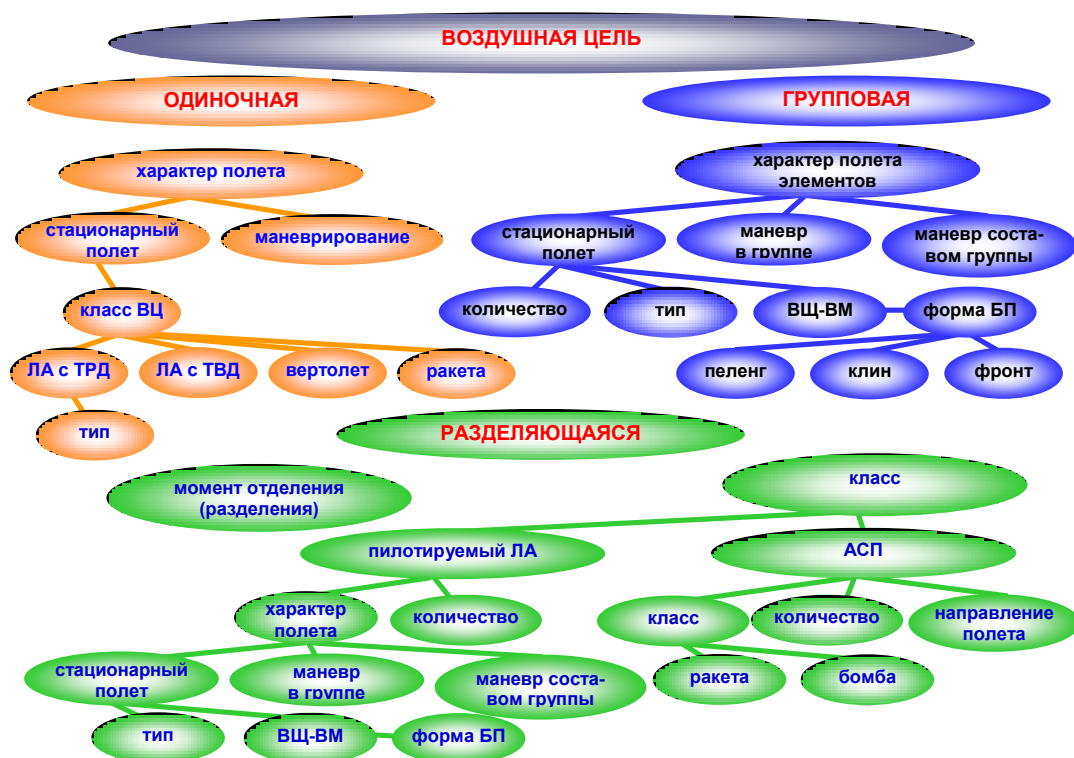


Рис. 2

На этапе оценки воздушной целевой обстановки в АРЛК на основе узкополосного спектрального анализа траекторных сигналов представляется возможным осуществить распознавание следующего состояния ВЦ.

А. Состояние одиночной ВЦ:

класс ВЦ по принципу «летательный аппарат (ЛА) с турбореактивным двигателем (ТРД) – ЛА с турбовинтовым двигателем – вертолет – ракета»;

тип ВЦ из класса «ЛА с ТРД» [1].

Б. Состояние групповой ВЦ (ГВЦ):

численный состав группы [2];

типовой состав группы из класса «ЛА с ТРД» [3].

В. Состояние разделяющейся ВЦ:

факт разделения ВЦ;

класс разделяющихся ВЦ по принципу «пилотируемый ЛА – авиационные средства поражения (АСП)».

На этапе уточнения воздушной целевой обстановки в АРЛК, целеуказания (ЦУ) потребителям информации, в том числе и истребителям и радиолокационным головкам самонаведения (РГС) ракет, возможно распознать следующее состояние ВЦ

А. Состояние одиночной ВЦ:

характер полета по принципу «стационарный полет – маневр»;

тип ВЦ из класса «ЛА с ТРД»;

при стационарном полете ГВЦ распознается:

численный состав группы;

типовой состав группы из класса «ЛА с ТРД»;

характер полета элементов ГВЦ по принципу «стационарный полет – маневр в группе – маневр составом группы»;

функциональное назначение самолетов в группе по принципу «ведущий – ведомый» в основных формах боевого порядка «пеленг», «клин», «фронт».

В. Состояние разделяющейся ВЦ:

факт и характер разделения группы по принципу «разделение по скорости – по направлению»;

класс отделяющихся ВЦ по принципу «пилотируемый ЛА – АСП».

Для пилотируемых ЛА распознается:

численный состав по принципу «сколько отделилось ЛА – сколько осталось ЛА в группе»;

характер полета каждой группы по принципу «стационарный полет – маневр в группе – маневр составом группы»;

при стационарном полете каждой группы: типовой состав; функциональное назначение («ведущий-ведомый» в формах боевого порядка «пеленг», «клин» «фронт».

Для АСП:

класс АСП по принципу «ракета-бомба»;

количество отделившихся АСП;

направление полета ракеты по принципу «на меня-не на меня»;

время, оставшееся до точки встречи ракеты с истребителем в случае ее наведения «на меня».

На этапе непосредственного наведения ракет в их РГС структура распознавания состояния ВЦ может быть следующей:

1. Характер полета одиночной ВЦ (стационарный, маневр) с ее сопровождением.
2. Характер полета элементов ГВЦ («стационарный – маневр в группе – маневр составом группы – отделение пилотируемых ЛА») с их сопровождением.
3. Распознавание заданного для атаки типа ВЦ из состава группы.
4. Распознавание заданной цели из состава группы по ее функциональному назначению «ведущий – ведомый».

Информация о таком распознавании состояния ВЦ позволит поддержать следующие решения летчика истребителя и обеспечить оптимизацию наведения управляемых ракет.

1. Распознавание состояния одиночной воздушной цели

А. Распознавание класса и типа цели поддерживает следующие решения летчика на этапах оценки воздушной целевой обстановки и ее уточнения:

оценка тактического назначения самолета противника, степени его угрозы и возможности по противодействию;

выбор эффективных тактических приемов исходя из особенностей работы БРЛС противника и оружия на его борту;

выполнение атаки по турбовинтовому самолету без опасения быть контратакованным им (рис. 3).



Рис. 3

Б. Распознавание характера полета поддерживает следующие решения летчика на этапах уточнения воздушной целевой обстановки и коррекции наведения ракеты:

оценка собственной скрытности (сохраняется скрытность или произошло обнаружение противником);

определение начала выполнения противником тактических приемов одиночного воздушного боя;

контроль возможного изменения тактики боя противником при пуске по нему ракеты.

Оптимизация наведения ракеты:

предстартовое ЦУ в РГС ракеты о параметрах полета цели и возможных их изменениях;

радиокоррекция введенного ЦУ в РГС ракеты при существенном изменении параметров полета цели.

2. Распознавание состояния групповой воздушной цели

А. Распознавание численного состава группы поддерживает следующие решения летчика на этапах оценки воздушной целевой обстановки, ее уточнения и коррекции наведения оружия (рис. 4):

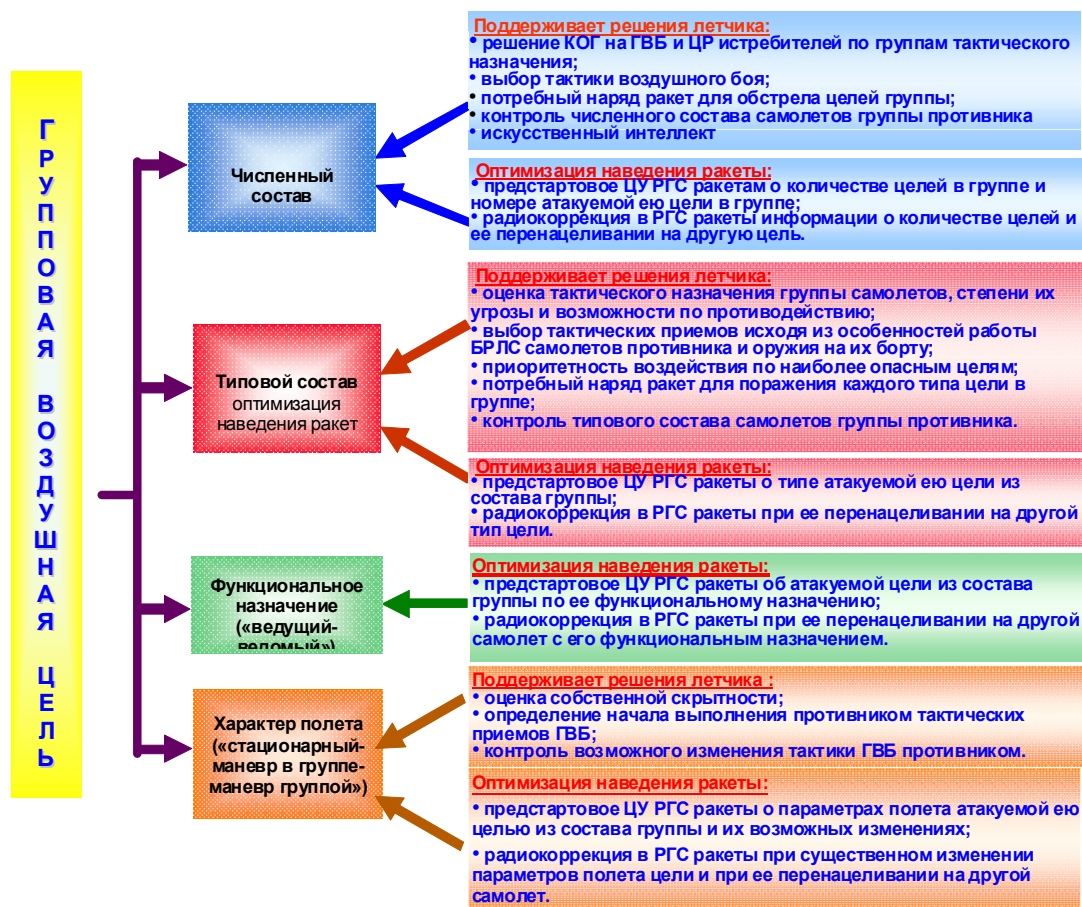


Рис. 4

решение командира объединенной группы на групповой воздушный бой и целераспределение (ЦР) истребителей по группам тактического назначения;

выбор тактики воздушного боя;

определение потребного наряда ракет для обстрела ВЦ группы;

контроль численного состава самолетов группы противника при пуске по ним ракет.

Оптимизация наведения ракеты:

предстартовое ЦУ РГС ракетам о количестве целей в группе и номере атакуемой ею цели в группе;

радиокоррекция в РГС ракеты информации о количестве целей при изменении информации предстартового ЦУ о численном составе группы;

радиокоррекция в РГС ракеты при необходимости ее перенацеливания на другую цель из состава группы.

Б. Распознавание типового состава группы поддерживает следующие решения летчика на этапах оценки воздушной целевой обстановки, ее уточнения и коррекции наведения оружия:

оценка тактического назначения группы, степени ее угрозы и возможности по противодействию;

выбор эффективных тактических приемов исходя из особенностей работы БРЛС самолетов противника и оружия на их борту;

приоритетность воздействия по наиболее опасным целям в зависимости от ситуации и важности целей;

очередность обстрела целей;

определение потребного наряда ракет для поражения каждого типа цели в группе;

контроль типового состава самолетов группы противника при пуске по ним ракет.

Оптимизация наведения ракеты:

предстартовое ЦУ РГС ракеты о типе атакуемой ею целью из состава (для оптимизации наведения ракеты на заданный тип цели из состава группы);

радиокоррекция в РГС ракеты при ее перенацеливании на другой тип цели из состава группы.

В. Распознавание характера полета поддерживает следующие решения летчика на этапах уточнения воздушной целевой обстановки и коррекции наведения ракеты:

оценка собственной скрытности (сохраняется скрытность или произошло обнаружение противником);

определение начала выполнения противником тактических приемов одиночного и группового воздушного боя;

контроль возможного изменения тактики группового воздушного боя противником при пуске по нему ракеты.

Оптимизация наведения ракеты:

предстартовое ЦУ в РГС ракеты о параметрах полета атакуемой цели и возможных их изменениях;

радиокоррекция введенного ЦУ в РГС ракеты при существенном изменении параметров полета цели;

радиокоррекция в РГС ракеты при ее перенацеливания на другой самолет с параметрами его полета.

Г. Распознавание функционального назначения самолетов позволит оптимизировать наведение ракеты:

предстартовое ЦУ РГС ракеты об атакуемой цели из состава группы по ее функциональному назначению;

радиокоррекция в РГС ракеты при ее перенацеливания на другую ВЦ с ее функциональным назначением.

3. Распознавание состояния разделяющейся воздушной цели

А. Распознавание факта разделения ВЦ поддерживает решение летчика на этапах оценки воздушной целевой обстановки и ее уточнения о возможном изменении тактики воздушного боя.

Б. Распознавание количества отделившихся целей поддерживает следующие решения летчика на этапах оценки воздушной целевой обстановки, ее уточнения и коррекции наведения оружия (рис. 5):

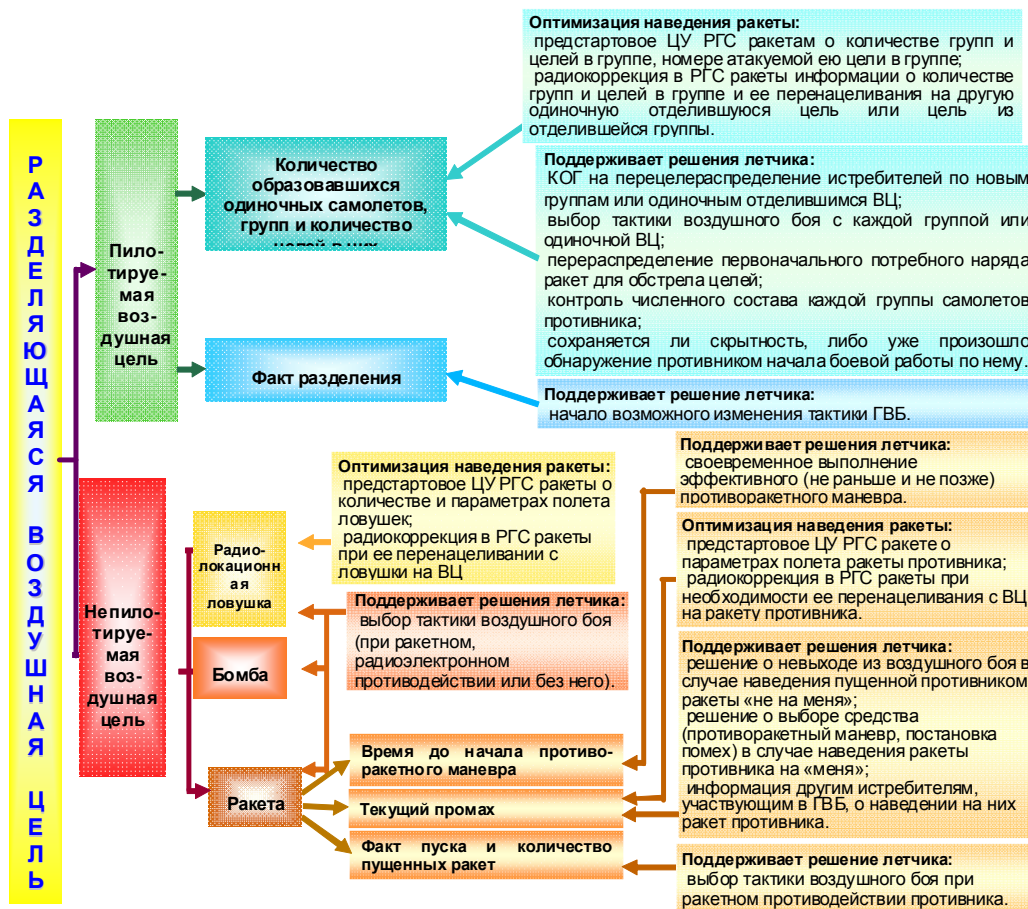


Рис. 5

решение командира объединенной группы на перецелераспределение истребителей по новым группам или одиночным отделившимся целям;

выбор тактики воздушного боя с каждой группой или одиночной целью;

перераспределение первоначального потребного наряда ракет для обстрела целей;

контроль численного состава каждой группы самолетов противника при пуске по ним ракет.

Оптимизация наведения ракеты:

предстартовое ЦУ РГС ракетам о количестве целей в группе и номере атакуемой ею цели в ней;

радиокоррекция в РГС ракеты информации о количестве целей при изменении информации предстартового ЦУ о численном составе группы;

радиокоррекция в РГС ракеты при ее перенацеливании на другую одиночную отделившуюся цель или цель из отделившейся группы.

В. Распознавание класса отделившейся ВЦ поддерживает решение летчика на этапах оценки воздушной целевой обстановки и ее уточнении о выборе тактики воздушного боя при ракетном противодействии противника или без него.

Г. Распознавание направления полета ракеты противника поддерживает следующие решения летчика на этапах уточнения воздушной целевой обстановки и коррекции наведения оружия [4]:

решение о невыходе из воздушного боя в случае наведения пущенной противником ракеты «не на меня»;

решение о выборе средства (противоракетный маневр, постановка помех и т.д.) в случае наведения ракеты противника на «меня»;

информация другим истребителям, участвующим в групповом воздушном бою, о наведении на них ракет противника;

контроль наведения пущенной ракеты с борта истребителя на ракету противника.

Оптимизация наведения ракеты:

предстартовое ЦУ РГС ракете о параметрах полета ракеты противника;

радиокоррекция в РГС ракеты при ее перенацеливания с носителя на ракету.

Д. Распознавание времени, оставшегося до точки встречи ракеты с истребителем, поддерживает решение летчика на этапе уточнения воздушной целевой обстановки на своевременное выполнение эффективного (не раньше и не позже) противоракетного маневра, отстрела ловушек и т.д.

Кроме того, распознавание состояния ВЦ позволит не только поддержать вышеуказанные решения летчика, но и перейти к построению радиоэлектронной системы управления ракетой класса «воздух-воздух» с **искусственным интеллектом** [5], которая представляет собой комплекс функционально связанных объекта управления (ракета), информационно-вычислительной системы (активная, полуактивная, полуактивная-активная РГС) ракеты, системы управления ракетой (автопилот), информационно-вычислительной системы истребителя (БРЛС), позволяющих без участия летчика на основе распознавания и анализа информации о состоянии ВЦ произвести ЦР пущенных ракет и обеспечить путем информационной поддержки с помощью радиосредств эффективное наведение каждой пущенной ракеты на выбран-

ную для атаки ВЦ. Здесь (рис. 6) элементами искусственного интеллекта является выполнение следующих операций без участия летчика:

РЛ-распознавание состояния ВЦ в БРЛС истребителя;

анализ информации о результатах распознавания состояния ВЦ в БРЛС и выдача ЦУ в РГС ракетами по их целераспределению на ВЦ;

РЛ-распознавание состояния ВЦ в РГС ракет на этапе их самонаведения;

анализ информации о результатах распознавания состояния ВЦ в РГС каждой ракеты и передача ее в БРЛС истребителя;

анализ в БРЛС истребителя информации о результатах распознавания состояния ВЦ в РГС каждой ракеты и передача команд радиокоррекции в РГС каждой ракеты по наведению ее на конкретную ВЦ;

выбор на борту каждой пущенной ракеты траектории ее наведения на ВЦ на основе анализа информации о ее состоянии, поступающей из РГС ракеты и из БРЛС по каналам целеуказания и радиокоррекции;

совместная оптимизация траектории наведения ракеты и алгоритмов обработки сигналов в их РГС и БРЛС истребителя.

Для определения важности и приоритетности информации о воздушных целях на борту истребителя проводилось анкетирование летного состава (135 летчиков с классом не ниже второго), эксплуатирующего самолеты фронтовой авиации типа Су-27 (Су-30), МиГ-29 и МиГ-31.

В табл. 1 приведены результаты анкетирования о важности информации о состоянии ГВЦ и ее процентном распределении на борту истребителя, наглядно свидетельствующие

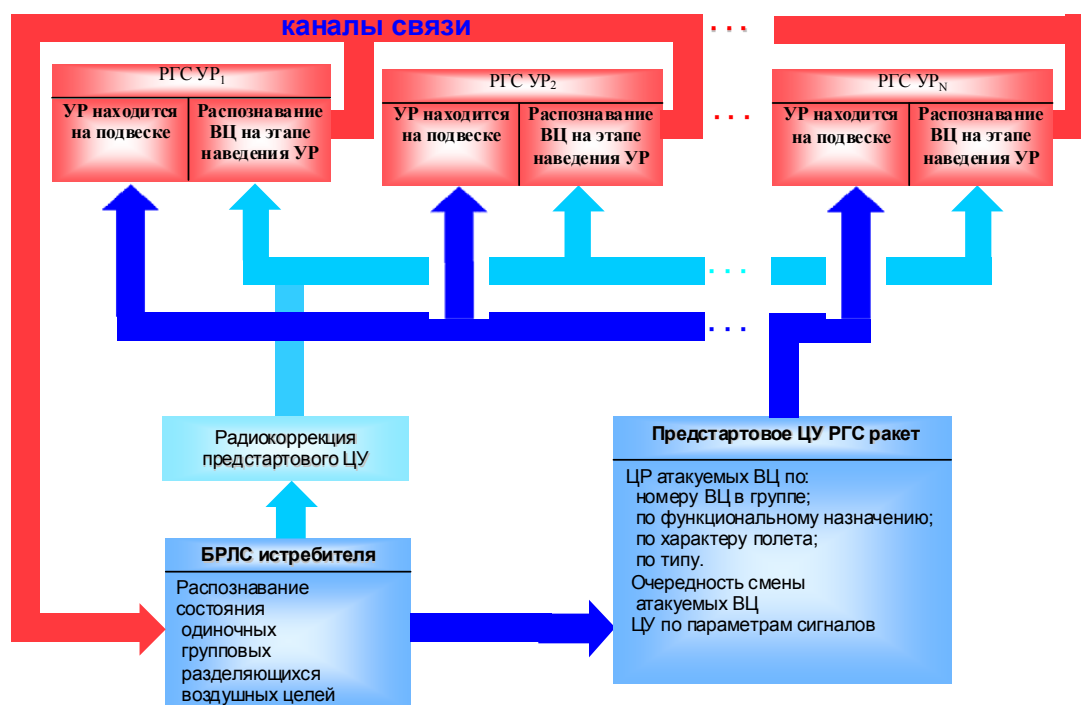


Рис. 6

о том, что более 33 % по важности отдают предпочтение информации о типовом составе ГВЦ.

В табл. 2 отражены результаты подобного анкетирования о важности информации о состоянии пущенных противником ракетах класса «воздух-воздух» в направлении на истребитель и аналогичном (как и для ГВЦ) ее процентном распределении. Анализ результатов показывает, что приоритет отдается такой информации, как обнаружение факта пуска ракеты противником и времени, оставшемся до точки встречи истребителя с ракетой противника, на основании которого летчиком принимается решение о начале выполнения противоракетного маневра. Суммарная доля данной информации от общей информации о состоянии ракет противника составляет около 65 %.

В табл. 3 приведены результаты анкетирования летчиков по оценке ожидаемого прироста в эффективности атаки ГВЦ в случае, если БРЛС и ракетное вооружение его истребителя позволяют определенным образом распознать состояние ГВЦ и поразить ее элементы по заданному ЦР.

При этом в качестве показателя эффективности принималось отношение ожидаемого количества сбиваемых истребителем целей при том или ином виде целераспределения к ожидаемому количеству затрачиваемых на это ракет. Из анализа табл. 3 следует, что в целом наличие

Таблица 1. Результаты анкетирования летного состава о важности информации о ГВЦ

Информация о состоянии ГВЦ	Важность информации, %				Распределение информации, %			
	этап 1	этап 2	этап 3	обобщ./	этап 1	этап 2	этап 3	обобщ.
Типовой состав ГВЦ	100	100	100	100	36,4	33,6	30,2	33,4
Численный состав ГВЦ	90	100	100	97	23,6	26,3	31,4	27,1
Характер полета (стационарный-маневр в группе-маневр составом группы)	86	88	89	88	15,8	16,9	20,2	17,6
Функциональное назначение самолетов (ведущий-ведомый)	69	87	76	77	11,3	12,8	9,2	11,1
Форма боевого порядка (клин-пеленг-фронт)	73	59	87	73	12,9	10,4	9,0	10,8

Таблица 2. Результаты анкетирования о важности информации о ракетах противника

Информация о ракетах противника класса «воздух-воздух»	Важность информации, %			Распределение информации, %		
	этап 1	этап 2	обобщ.	этап 1	этап 2	обобщ.
Факт пуска ракеты	98,5	100	99,3	32,6	26,8	29,7
Количество пущенных ракет	77,2	100	88,6	13,4	17,0	15,2
Направление полета пущенных ракет («на меня-не на меня»)	93	100	96,5	22,6	18,7	20,6
Время, оставшееся до встречи с истребителем (момент начала противоракетного маневра при наведении «на меня»)	95,5	100	97,8	31,4	37,5	34,5

Таблица 3. Результаты анкетирования об ожидаемом приросте в эффективности

Возможности БРЛС истребителя и его ракетного вооружения	Прирост в эффективности, %			
	этап 1	этап 2	этап 3	обобщ.
Распознаны и поражены цели по их функциональному назначению	54,6	68,3	48,7	57,2
Распознаны и поражены цели по их типу	50,9	63,3	59,7	58,0
Распознаны и поражены цели по характеру их полета	45,79	48,3	17,9	37,3
Наличие на борту истребителя информации о пущенных противником ракетах	-	39,8	57,3	48,6

подобной информации на борту истребителя позволит повысить эффективность ее боевого применения на 35-60 %.

Таким образом, предложен вариант концепции всестороннего распознавания воздушных целей в АРЛК истребителя, определены перечни решений летчика-истребителя, уровни оптимизации наведения управляемых ракет и элементы искусственного интеллекта, основанные на распознавании воздушных целей. Проведенное анкетирование летного состава неоспоримо свидетельствует о необходимости всестороннего распознавания воздушных целей на борту истребителя.

Список литературы

[1] *Богданов А.В., Васильев О.В., Исаков И.Н., Ситников А.Г., Филонов А.А.* Способ сопровождения воздушной цели из класса “самолет с турбореактивным двигателем”. Патент на изобретение № 2419815, 2009. [Bogdanov A.V., Vasiv'ev O.V., Isakov I.N., Sitnikov A.G., Filonov A.A. *Way of maintenance of an air target from class “the aircraft with a turbojet”*, Patent for the invention № 2419815, 2009. (in Russian)]

[2] *Богданов А.В., Белый Ю.И., Васильев О.В., Голубенко В.А., Киселев В.В., Маняшин С.М., Пекариш А.И., Синицын А.В., Филонов А.А.* Способ сопровождения групповой воздушной цели. Патент на изобретение № 2324952, 2006. [Bogdanov A.V., Belyi Yu.I., Vasil'ev O.V., Golubenko V.A., Kisilev V.V., Maniashin S.M., Pekarsh A.I., Sinitsyn A.V., Filonov A.A. *Way of maintenance of a group air target*. Patent for the invention № 2324952, 2006. (in Russian)]

[3] *Богданов А.В., Васильев О.В., Ибрагим А.К., Круталевич Ю.А., Ситников А.Г., Филонов А.А.* Способ сопровождения групповой воздушной цели из класса “самолеты с турбореактивными двигателями”. Патент на изобретение № 2456633, 2011. [Bogdanov A.V., Vasil'ev O.V., Ibragim A.K., Krutalevich Yu.A., Sitnikov A.G., Filonov A.A. *Way of maintenance of a group air target from class “aircraft with turbojets”*, Patent for the invention № 2456633, 2011. (in Russian)]

[4] *Богданов А.В., Андронов А.В., Голубенко В.А., Киселев В.В., Кучин А.А., Синицын А.В., Филонов А.А., Черваков В.О.* Способ сопровождения пилотируемой воздушной цели. Патент на изобретение № 2408031, 2009. [Bogdanov A.V., Andronov A.G., Golubenko V.A., Kisilev V.V., Kuchin A.A., Sinitsyn A.V., Filonov A.A., Chervakov V.O. *Way of maintenance of the piloted air target*. Patent for the invention № 2408031, 2009. (in Russian)]

[5] *Богданов А.В., Кучин А.А., Лютиков И.В., Мещеряков В.Г., Филонов А.А.* Методы наведения летательных аппаратов на групповую воздушную цель в интересах построения радио-

электронных систем управления с элементами поддержки решений летчика. Радиотехника. 2013. №6. С. 65 – 69. [Bogdanov A.V., Kuchin A.A., Liutikov I.V., Meshcheriakov V.G. Filonov A.A. Methods of guidance of aircraft on a group air target for the benefit of creation of radio-electronic control systems with elements of support of decisions of the pilot, *Radioengineering*, 2013, 6, 65 – 69 (in Russian)]