

УДК 623.4.011

А.Б. Скорик, В.В. Воронин, О.Ф. Галицкий, М.И. Целик

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕНИТНЫМИ РАКЕТАМИ И РАКЕТАМИ ВОЗДУХ-ВОЗДУХ

В статье рассматриваются вопросы классификации систем управления ракетами. Сравниваются подходы к классификации СУР, характерные для отечественной и англосаксонской научных школ. Делается вывод о необходимости совершенствования существующей классификации СУР. Предлагается рассматривать особенности построения устройства управления и информационной системы, как независимые и взаимодополняющие классификационные признаки. Такой подход позволяет разделить СУР на классы по месту расположения устройства управления и на подклассы на основании анализа функций и места расположения источников информации.

Ключевые слова: система управления зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух, самонаведение, телеуправление, теленаведение, радиокоррекция, автономное наведение, система наведения.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы. Применение в военном деле концепции сетцентрических войн привело к глобальному расширению источников информации, непосредственно завязанных на систему наведения ракеты и другие системы ЗРК (систему управления огнем и др.), что существенно меняет наше представление о структуре построения перспективных систем управления (наведения). Следует отметить, что анализ структур перспективных СУР, опираясь на существующую классификацию и понятийный аппарат, осуществить достаточно сложно. В настоящее время утрачена существовавшая первоначально определенность классификации систем управления ракетами, различение систем по методам управления. В некоторых случаях можно даже говорить об искажении понятий, связанных с проблематикой построения систем управления ракетами, в ряде достаточно популярных учебных изданий высокоуважаемых авторов.

В 1946 году Массачусетский институт выпустил знаменитую "массачусетскую серию" книг по радиолокации. В Советском Союзе в 1958 году КБ-1 (ныне НПО "Алмаз – Антей") выпустило "таракановскую" серию книг (по названию реки Таракановки, протекающей в трубе около предприятия) по управлению ракетным оружием, которая не стала подобным бестселлером только по причине секретности, которая сопровождала жизнь и деятельность ее авторов. Тем не менее, именно этими людьми создавались лучшие в мире зенитные управляемые ракеты, описывались принципы их построения, которые в дальнейшем стали классическими. При анализе особенностей построения систем управления ракетами целесообразно опираться на их взгляды по данной проблематике [1]. Работы [2 – 11] позволяют с разных сторон взглянуть на проблему классифика-

ции систем управления перспективными зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух.

Цель статьи. Рассмотреть вопросы классификации систем управления зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух. Обращаясь к истокам, продемонстрировать недостаточную обоснованность существующей в настоящее время классификации СУР. Внести изменения, которые позволяют при сравнительно небольшой коррекции существующей классификации более точно описывать современные и перспективные системы управления зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух.

Основной материал

Общее движение летательного аппарата (ЛА) может быть представлено в виде суммы двух движений: движение его центра масс и вращение вокруг центра масс. *Траектория центра масс ЛА* описывается тремя координатами и тремя компонентами скорости. Движение ЛА относительно центра масс также описывается 6-ю величинами: тремя углами (курс, тангаж, крен) и их первыми производными. Данные переменные полностью представляют *траекторию ЛА* (и могут быть найдены как решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений двенадцатого порядка) [2]. Определение *траектории полета ЛА* и обеспечение ее реализации возлагается на *систему управления полетом* [2].

В составе *системы управления полетом* выделяют *систему наведения* или навигации (в англоязычной литературе используется понятие – *guided system* прим. авт.), которая выполняет функции только получения и обработки информации. В настоящее время, наряду с термином *система наведения* (СН), также часто используется термин *информационно-вычислительная система* [3]. Результатом функционирования СН является *закон управления* и управляющие функции, которые описывают

изменение управляющих сил в зависимости от времени. Вторая часть системы, которую в отечественной литературе называют *системой стабилизации* (в англоязычной литературе используется понятие – *control system* прим. авт.), решает задачу реализации закона управления, выработанного *системой наведения*.

Кроме функции *управления полетом* на системы управления накладывают еще целый ряд функций (связанных с процессами предпусковой подготовки, самого пуска ракеты и др.), с учетом решения которых вводят понятие *систем управления ракетами*.

Понятие *контура наведения* было введено для акцентирования внимания на том, что *системы управления ракетами*, как правило, строятся в виде системы автоматического управления с обратной связью. Структурная схема *контура наведения* показана на рис. 1 [4]. В теории наведения *контур наведения* представляется *системой стабилизации*, в которой в качестве объекта регулирования рассматривается кинематическое звено (КЗ) [8]. На КЗ воздействует возмущение \ddot{j}_d – ускорение цели, и управление \ddot{j}_p – ускорение ракеты. Стабилизируемой координатой является пролет $h(t)$ [4].

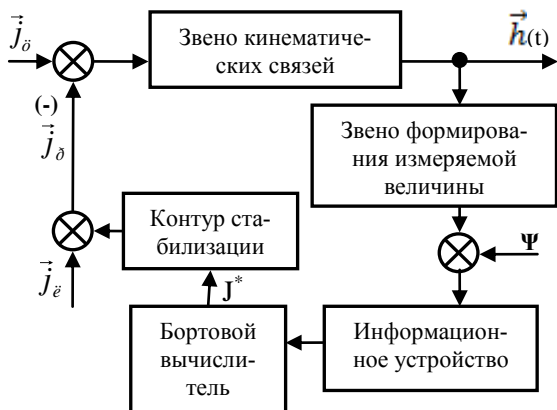


Рис. 1. Структурная схема контура наведения

Часто на борту ракеты не удается измерить пролет, а измеряется какая-либо другая координата, которая используется для оценки пролета. С этой целью в *контур наведения* вводится звено формирования измеряемой величины. Информационное устройство осуществляет измерение координат с ошибкой Ψ . *Бортовой вычислитель* (БВ – вычислительное и корректирующее звенья) формирует управляющее воздействие (заданное ускорение \ddot{j}^*), которое через исполнительное устройство (контур стабилизации) подается на объект регулирования. Контур стабилизации, задачей которого является воспроизведение с наилучшей точностью заданного ускорения \ddot{j}^* , подвержен воздействию возмущений, приложенных к ракете или автопилоту. Та часть возмущений, которая не подавляется автопилотом, является «ложной составляющей» в ускорении ракеты \ddot{j}_d и воздействует

на систему наведения подобно маневру цели.

Для управления движением ракет и режимом работы установленных на ракете устройств, могут быть применены следующие *принципы управления*: *телеуправление* (ТУ), *теленаведение* (ТН) или телеориентирование, *самонаведение* (СН), *автономное управление* (АУ) и *комбинированное управление* [1].

В научных работах англосаксонских авторов системы управления ракетами подразделяются на два класса: *GOT (Go-Onto-Target)* – *наведения на подвижные цели*, и *GOLIS (Go-Onto-Location-in-Space)* – *наведения на неподвижные (малоподвижные) цели* [5]. В отечественной литературе явного разбиения на такие классы не наблюдается, тем не менее, из всех систем управления выделяют *системы управления зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух* (GOT системы). В настоящее время данные системы подразделяются на системы с *самонаведением*, различные виды *командного управления* или *иначе телеуправления* и системы с *автономным управлением* [3, 10].

Принцип командного управления (телеуправления) состоит в том, что управляющая информация передается на ракету от внешнего источника, вследствие чего ракета движется по предписанной ей траектории [6, 7]. В автоматике *системой телеуправления* обычно называют систему, в которой объектом управляют на расстоянии [6]. *Система телеуправления* представляет собой комплекс, состоящий из *устройства телеуправления, устройства автоматизации и устройства телеконтроля* [1].

Совокупность приборов и средств, осуществляющих выработку, передачу на расстояние и раздельный прием сигналов обусловленной структуры, служащих для независимого включения, выключения или изменения режима и состояния соответствующих исполнительных органов, образует *устройство телеуправления* [1]. Устройство ТУ вырабатывает и передает на борт ракеты сигналы, под воздействием которых на ракете происходит открытие, прекращение или изменение того или иного процесса, а также команды (например "дальнего взведения радиовзрывателя"), обеспечивающие изменение режима работы отдельных систем и устройств или их работу по заданной программе [1].

Устройство автоматизации под воздействием сигналов управления непосредственно обеспечивает автоматическое выполнение и связывание отдельных процессов на ракете. Одним из наиболее характерных *устройств автоматизации* является *автопилот*.

Устройство телеконтроля вырабатывает и передает на пункт управления информацию о цели, и информацию о режиме, положении, состоянии ракеты и ее систем [1].

В известной работе Локка [7] *системы командного наведения* разделяются на две большие группы:

первая, называемая *системой с сопровождающими локаторами*, в которой информация о движении цели и ракеты получается при помощи сопровождающих РЛС, и вторая, называемая *системой с оптическим сопровождением*, где то же самое выполняется при помощи оптики. В современной классификации им соответствуют системы: *Command Off Line-Of-Sight (COLOS)* и *Command to Line-Of-Sight (CLOS)* [5].

Системы теленаведения рассматриваются Локком как отдельный класс систем, использующих для управления направленный известным образом в пространстве луч, причем ракета должна всегда находиться на оси этого луча – *Line-Of-Sight Beam Riding Guidance (LOSBR)*.

В отечественных работах подобная классификация не используется, а *системы теленаведения* (управления по лучу) чаще рассматривают как разновидность систем *телеуправления* [3, 10].

Однако к такой трактовке систем теленаведения есть достаточно серьезные замечания.

В отличие от *телеуправления*, когда сигналы управления образуются вне ракеты и передаются на ракету по радиолинии связи, при *теленаведении*, так же как и при *самонаведении*, сигналы управления движением ракеты образуются непосредственно на борту ракеты. Непременной составной частью систем теленаведения являются *устройства пространственного ориентирования*. В качестве таких средств могут служить радиолокационные, радионавигационные системы и т.д. [1]. В результате измерения отклонения положения ракеты от ориентированных в пространстве точек (линий и поверхностей) на ракете вырабатываются сигналы, заставляющие ее двигаться по *предписанной траектории*. В наиболее общем случае положение ориентированных в пространстве точек, линий и поверхностей формируется в соответствии с выбранным методом наведения ракеты и данными о координатах цели, полученными на выходе системы слежения за целью [1]. Приведенные выше данные позволяют говорить о недостаточной правомерности рассмотрения систем теленаведения как одного из вариантов построения *телеуправляемых систем*.

Далее рассмотрим *системы самонаведения*. Самонаведение ракеты на цель есть такой метод управления, при котором сигналы управления ракетой вырабатываются на ней в результате непосредственного использования энергии, излученной или отраженной от цели. Следовательно, при самонаведении на цель сигналы управления могут возникнуть вследствие того, что цель является источником собственного (первичного) излучения или, выделяясь контрастно на окружающем ее фоне, является источником отраженного (вторичного) излучения [1].

Система с самонаведением определяется как система наведения, в которой ракета наводится на

цель с помощью устройства, находящегося на самой ракете и приводимого в действие некоторым признаком, отличающим цель. Данное определение приводится в работе Локка [7], датированной 1955г., однако при этом автор ссылается на еще более раннюю работу 1949г. [9].

В большинстве отечественных исследований используются те или иные вариации данного определения *систем самонаведения*. Хотя следует отметить, что исходное определение в переводе с английского языка допускает достаточно широкое толкование. Именно поэтому нигде в известных авторам работах отечественных ученых не применяется определение для *квазиактивных систем самонаведения*. Локк рассматривает их как модификацию полуактивной системы самонаведения, в которой передатчик помещается на ракете, а приемник отраженной энергии – вне ее. Все вычисления, необходимые для определения желаемой траектории, производятся также вне ракеты, и соответствующие команды передаются на ракету [7]. В отечественной классификации подобные системы скорее можно рассматривать как разновидность систем телеуправления. При одинаковости формулировок понятия систем самонаведения имеются значительные расхождения в толковании данного термина. В соответствии с данным подходом англосаксонские ученые используют также термин *retransmission homing (Track Via Missile –TVM)* – *ретрансляционное самонаведение (управление через ракету)* и относят ЗУР, используемые в ЗРК *Patriot*, к самонаводящимся. Имеющие сходные принципы построения системы средней дальности в отечественной классификации относятся к *ЗРК с телеуправлением* [11].

Метод автономного управления есть такой метод, когда сигналы управления вырабатываются непосредственно на ракете без использования энергии специальных источников, расположенных на других объектах, а также энергии первичного и вторичного излучения цели [1]. Исходя из этого, до сих пор часто используется следующее определение. *Автономная система управления ракетой* – это СУР, в которой команды управления полетом вырабатываются на борту ракеты в соответствии с программой, задаваемой до старта [7]. В 50-х годах считалось, что при автономном управлении на ракете нет данных о цели, однако в настоящее время более корректно говорить о наличии на ракете только априорной информации о цели.

Вполне очевидно, что в существующей классификации *систем управления зенитными ракетами* и ракетами *воздух-воздух* отсутствуют единые классификационные признаки. Представляется необходимым внести некоторые правки, которые позволяют при сравнительно небольшой коррекции существующей классификации более точно описывать

современные системы наведения и избегать двоякого толкования. Для этого необходимо рассматривать особенности построения *устройства управления и информационной системы*, как независимые взаимодополняющие классификационные признаки. Такой подход позволяет разделять СУР на классы по месту расположения *устройства управления* и на подклассы на основе анализа функций и места расположения *источников информации* (табл. 1).

При таком подходе используемое в ЗРК средней дальности бинарное управление уже представ-

ляется не как некое параллельное использование ТУ1 и ТУ2, а рассматривается как телеуправление, в котором применен комплексный измеритель, использующий информацию, поступающую как от БРП ракеты, так и от РПН.

$$\omega_{\Sigma} = (1 - \nu) \cdot \omega_n + \nu \cdot \omega_{\sigma}, \quad (1)$$

где $\omega_n, \omega_{\sigma}$ – угловые скорости вращения линии ракеты цель, измеренные соответственно по данным наземной РЛС и БРП ракеты; ν – весовой коэффициент [11].

Таблица 1

Классификация систем управления зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух

Телеуправление	Теленаведение		Самонаведение
Пункт управления	БВ + Пункт управления		БВ
Подклассы систем наведения \ источники информации:	датчики и измерительные устройства (ИУ) ракеты	РЛС, датчики и измерительные устройства ЗРК (ИВС истребителя)	РЛС, датчики и ИУ внешних взаимодействующих систем
ТУ-1		+	
ТУ-2	+		
Бинарное управление	+	+	
ТУ-ВЦУ			+
Теленаведение по лучу	+	+	
Активное СН	+		
Полуактивное СН	+	+ РЛС подсвета	
Пассивное СН	+ пассивные датчики		
СН с радиокоррекцией	+	+	+
Комбинированные	варианты последовательного и параллельного построения систем		

Согласно предлагаемой классификации, необходимо ввести новый подкласс систем телеуправления, использующих информацию внешних, по отношению ЗРК (истребителя), источников информации (ТУ-ВЦУ). Что характерно, такая система управления была реализована в одной из поздних модификаций ЗРК С-75, однако на то время она значительно опередила свое время, и данное направление развития систем управления не использовалось достаточно долгое время. И лишь сегодня с развитием концепции *сетевых войн* подобные системы становятся чрезвычайно актуальными.

Рассмотренные выше особенности построения систем телеуправления делают целесообразным возврат к классическим подходам, согласно которым *системы теленаведения* выделяются из командных систем в отдельный класс систем управления ракетами.

Системы теленаведения предполагают наличие *устройства управления*, как на *пункте управления*, так и на борту ЗУР. Решаемая на пункте управления задача управления положением в пространстве луча РЛС «подсвета» – это есть, по сути, задача определения *кинематической* или опорной (заданной) *траектории* движения ракеты. На борту ракеты решается задача измерения (оценки) *ошибки наведения* – отклонения ракеты от заданной траектории. При таком подходе *системы управления ракетами*, в которых *формирование команд управле-*

ния (в соответствии с методом наведения) реализуется посредством *управляющих устройств*, расположенных на ракете и в пункте управления, следует называть *системами теленаведения*.

Системы, использующие *управление по лучу*, полностью соответствуют данному определению.

Автономные системы, аналогично подходам, применяемым в англосаксонской школе [6], целесообразно исключить из классификации *систем управления зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух* как отдельный класс систем и рассматривать только автономный метод управления либо режим функционирования СУР.

Автономный режим функционирования системы управления ракетой – это режим функционирования, при котором в СУР имеется только априорная информация о цели.

Для ЗРК с телеуправлением как автономный, может рассматриваться режим работы СУР при стрельбе по цели с заданными координатами.

Рассматривая *устройство управления и источник информации*, как взаимодополняющие классификационные признаки, необходимо скорректировать и формулировку систем самонаведения. Система с самонаведением определяется как система наведения, в которой ракета наводится на цель по сигналам наведения, вырабатываемым *устройством управления, находящимся на борту ракеты, испол-*

ьзуючим інформацію о состоянии объекта управления (ракеты) и цели, поступающую от бортовых датчиков или по линии связи от внешних измерителей.

При этом вполне логичным становится добавление к классическим (активное, полуактивное, пассивное) типам СН, нового типа: системы самонаведения с радиокоррекцией.

Системы самонаведения с радиокоррекцией – это системы СН, в которых в качестве источника информации о состоянии объекта управления (ракеты) и цели управления (цели) используется комплексный измеритель, объединяющий в своем составе бортовые датчики и внешние измерители, передающие информацию на борт ракеты посредством специальных линий связи.

В современных ЗРК С-300В, БУК-М1 информация на борт ракеты поступает от радиолокационных средств ЗРК. В перспективных системах наведения возможно использование информации от внешних по отношению ЗРК (истребителя) систем.

Как правило, такие системы наведения могут работать в автономном с радиокоррекцией режиме самонаведения – в котором команды наведения ракетой формируются БВ с использованием модели движения цели, вводимой в устройство управления ракеты до старта (априорная информация о цели) и корректируемой в процессе полета ракеты специальными командами радиокоррекции.

Вывод

В статье проведен анализ вопросов классификации систем управления зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух. Сделан вывод о недостаточной обоснованности существующей классификации СУР.

Предложено рассматривать особенности построения устройства управления и информационной системы, как независимые и взаимодополняющие

классификационные признаки. Такой подход позволил разделить СУР на классы по месту расположения устройства управления и на подклассы на основании анализа функций и места расположения источников информации.

Список литературы

1. Методы проектирования многоканальных радиолокационных систем управления реактивными зенитными снарядами. В 3-х томах. Т.1. Общие принципы построения и методы анализа систем управления реактивными зенитными снарядами; управляемые реактивные зенитные снаряды. – М.: МО СССР, 1986. – 322 с.
2. Чембровский О.А. Общие принципы проектирования систем управления / О.А. Чембровский, Ю.И. Топчеве, Г.В.Самойлович. – М.: Машиностроение 1972. – 416 с.
3. Канащенков А.И. Авиационные системы радиоуправления. В 3-х томах. Т.1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа / А.И. Канащенков, В.И. Меркулов. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.
4. Проектирование систем наведения / Под ред. Е.А. Федосова. – М.: Машиностроение, 1975. – 296 с.
5. Bureau of Naval Personnel. Principle of Guided Missiles and Nuclear Weapons. NAVPERS 10784-B, 1st Rev. Washington, D.C.: GPO, 1972.
6. Батков А.М. Системы телеуправления / А.М. Батков, И.Б. Тарханов. – М.: Машиностроение, 1971. – 192 с.
7. Локк А.С. Управление снарядами / А.С. Локк. – М.: ГИИТЛ, 1957. – 775 с.
8. Кринецкий Е.И. Системы самонаведения / Е.И. Кринецкий. – М.: Машиностроение, 1970. – 236 с.
9. Glossary of Guided Missile Terms /Committee on Guided Missiles. 20.09.1949. – 50 p.
10. Проектирование зенитных управляемых ракет / Под ред. И.С. Голубева, В.Г. Светлова. – М.: Издательство МАИ, 1999. – 725 с.
11. Бурцев В.В. Основы побудови багатоканальних зенітних ракетних систем середньої дальності / В.В. Бурцев, М.Я.Кузь. – Х.: ХВУ, 2002. – 86 с.

Поступила в редколлегию 11.07.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Малайчук, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск.

КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ І ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТ І РАКЕТ ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ

А.Б. Скорик, В.В. Воронін, О.Ф. Галицький, М.І. Целік

У статті розглядаються питання класифікації систем управління ракетами. Порівнюються підходи до класифікації СУР, характерні для вітчизняної та англосаксонської наукових шкіл. Робиться висновок про необхідність вдосконалення існуючої класифікації СУР. Пропонується розглядати особливості побудови пристрою управління та інформаційної системи, як незалежні і взаємодоповнюючі класифікаційні ознаки. Такий підхід дозволяє розділити СУР на класи за місцем розташування пристрою управління і на підкласи на підставі аналізу функцій і місця розташування джерел інформації.

Ключові слова: система управління зенітними ракетами і ракетами повітря-повітря, самонаведення, телеуправління, теленаведення, радіокорекція, автономне наведення, траєкторія, система наведення.

CLASSIFICATION OF MODERN AND PERSPECTIVE GUIDED SYSTEMS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILES AND AIR-TO-AIR MISSILES

A.B. Skoryk, V.V. Voronin, O.F. Galitsky, M.I. Celik

In the article is considering the questions of classification of missile guidance systems. Comparing approaches to classification MGS typical for domestic and Anglo-Saxon academic schools. The conclusion on the need to improve the existing classification MGS. Proposed to consider the characteristics of building control and information systems, as independent and complementary classifications. This approach allows you to split MGS into classes according to the location of the control unit and to the divisions on the basis of analysis of the functions and location of sources of information.

Keywords: guidance system of anti-aircraft missiles and air-to-air missiles, homing, telecontrol, telelaying, radio correction, self-guidance, trajectory, guidance system.