

Олег Феликсович Галицкий

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫМИ ЗЕНИТНЫМИ РАКЕТАМИ. ФОРМИРОВАНИЕ КОМАНД НАВЕДЕНИЯ ЗУР МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ

Постановка проблемы. Анализ последних исследований и публикаций

Одной из важнейших задач теории наведения является изучение информационных процессов, протекающих в контуре наведения ракеты. В научных исследованиях, ведущихся на кафедре вооружения зенитных ракетных войск Харьковского университета Воздушных Сил значительное внимание уделяется разработке моделей систем управления ЗУР, позволяющих оценить информационные связи и информационное взаимодействие между основными системами, характерное для современных и перспективных управляемых ракет. В данной статье рассматриваются принципы построения интегрированной модели контура наведения зенитной управляемой ракеты (ЗУР) [1], разработанной специалистами кафедры. Актуальность данной работы связана с тем, что до настоящего времени в известной литературе вопросы комплексирования информации в современных и перспективных системах управления ЗУР рассмотрены недостаточно. На примере ЗУР малой дальности рассматриваются особенности формирования команд наведения современных ракет.

Материалы, раскрывающие суть проблематики данного вопроса, изложены в работах [1-4].

Формулирование цели статьи

Целью статьи является анализ задачи построения математических моделей систем управления современных зенитных ракет; рассмотрение особенностей формирования команд наведения ЗУР малой дальности.

Изложение основного материала

Повышение автономности наведения ракеты, в особенности на конечном участке полета, часто рассматривается как наиболее перспективное направление развития управляемого ракетного оружия [2].

Не отрицая важности фактора автономности, отметим, что не менее важным является развитие систем наведения, в которых на первый план выходит комплексирование информации от различных источников.

Современная теория оптимального управления

показывает, что качество функционирования любой системы наведения существенно зависит от того насколько полно и точно информационная подсистема определяет фазовые координаты обобщенного объекта управления. Известный принцип автоматике гласит: нельзя управлять точнее, чем измерять (оценивать). Один из перспективных путей повышения точности измерений состоит в объединении различных по принципу действия измерителей в единую измерительную систему, называемую часто комплексным измерителем. Уменьшение ошибок измерения (оценки) в комплексном измерителе объясняется тем, что возрастание числа измерительных приборов эквивалентно увеличению времени измерения.

Особую важность комплексирование информации приобретает в связи с появлением концепции сетцентрической войны – *Network-centric Warfare*. Основоположниками данной концепции считаются американские специалисты. Концепция начала активно развиваться в 90-х годах прошлого столетия. Однако принятые на вооружение в 80-х годах прошлого века, и состоящие на вооружении в вооруженных силах Украины ЗРК обладают целым рядом возможностей, характерных для таких систем.

Внедрение новых технологий приводит к изменению наших представлений и о контуре наведения ракеты. И контур наведения современных ракет во многом отличается от классических представлений [1-4]. Модифицированная, с учетом современной концепции *Network-centric Warfare*, интегрированная модель контура наведения современных и перспективных ЗУР представлена на рис. 1 [1]. С использованием данной модели была разработана и используется в учебном процессе модель системы управления ракеты 9М38М1 ЗРК "БУК-М1".

Вопросы комплексирования информации при построении современных и перспективных систем управления ЗУР рассмотрим, анализируя особенности построения интегрированной модели контура наведения ЗУР (рис. 1) и результаты, полученные при моделировании контура самонаведения ракеты 9М38М1.

Зенитные управляемые ракеты 9М38М1 оснащены радиолокационными головками самонаведения (РГС), относящимися к третьему поколению. рис. 2. Третье поколение – активные и полуактивные РГС, имеющие аналоговые приемники и цифровую управляющую перепрограммируемую машину, используемую для вторичной обработки информации с приемника, построения логики захвата, сопровождения и помехозащиты РГС от помех самоприкрытия. В этих РГС широко используется микроминиатюризация устройств, интегральные микросхемы и микрополосковая техника. РГС этого поколения защищены от основных помех самоприкрытия, но не полностью защищены от помех из зон барражирования и имеют

недостаточную дальность действия в задней полусфере [2].

Как видно из модели (рис. 1), информация от цели поступает на три основные группы измерителей:

1. *Seeker* блок моделирующий работу головки самонаведения (ГСН), под которой в общем случае понимается вся возможная совокупность радиолокационных, оптических, комплексиремых измерителей;

2. *Fuse/Warhead* взрывательное устройство (ВУ). ВУ представляет собой определенную совокупность контактных и неконтактных датчиков и устройства управления, формирующего команду на подрыв боевой части в момент времени, обеспечивающий максимальное воздействие поражающих свойств БЧ по цели.

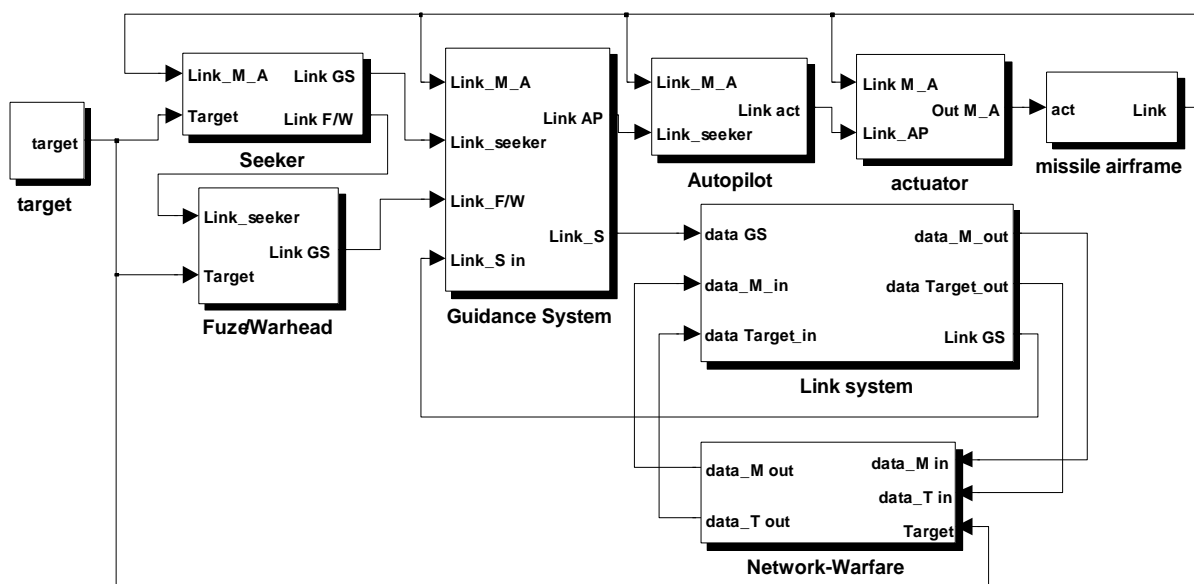


Рис. 1. Интегрированная модель контура наведения ЗУР

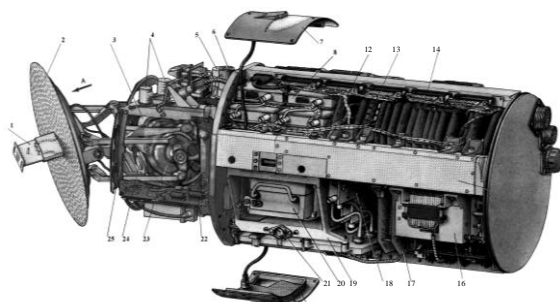


Рис.2. РГС 9Э50М1

Блок *Guidance* используется для моделирования устройства формирования команд наведения (УФКН). Так как модель используется в учебном процессе, для наглядности автопилот ракеты представлен в виде трех отдельных блоков:

1. *Autopilot* модель блока управления автопилота;
2. *actuator* модель исполнительных управляющих систем и механизмов (аэродинамические и газодинамические рули и т.д.);
3. *missile airframe* блок, моделирующий

кинматику движения ракеты с 6-ю степенями свободы.

Модель *Network-Warfare* – система внешней информационной поддержки ракеты характеризует наиболее новые, не формализованные до настоящего времени свойства систем управления. Оружие становится не только средством поражения, но и информационным элементом. Модель *Link system* – предназначена для моделирования интерфейса обмена ракеты с пусковым устройством ЗРК и системы связи между ЗУР и системой внешней информационной поддержки ракеты.

В случае моделирования УФКН ЗУР 9М38М1 в блоке *Guidance* реализуются модели двух модулей: модуля расчета и оценки кинематических координат (рис. 3) и модуля формирования команды наведения (рис. 4). Фактически, в реальной ракете данные функции реализуются бортовым вычислителем и блоком формирования радиокоманд.

Традиционно, системы управления ЗУР

рассматриваются как комбинированные системы. Причем комбинирование, в большинстве публикаций [1], ассоциируется с последовательным сочетанием автономного управления, различных видов телеуправления и самонаведения. При описании работы системы наведения, используемой в ЗРК "БУК-М1" в большинстве случаев стараются использовать классические подходы. Однако адекватно описать систему наведения как классическую комбинированную систему не представляется возможным. Более адекватно ее рассматривать с позиций классификации, описанной в работе [3].

В системе управления ракетой 9М38М1 реализован комплексный измеритель, в котором в

зависимости от доступной информации реализуются различные режимы расчета (оценки) относительных координат движения ракеты и цели. Алгоритм формирования команд наведения не зависит от режима работы комплексного измерителя. При отсутствии захвата цели РГС ЗУР реализуется режим квазиинерциального самонаведения с радиокоррекцией [3]. Данный режим может включаться как на начальном участке полета, так и в любой момент наведения при срыве захвата цели РГС. В модуле расчета и оценки кинематических координат осуществляется оценка текущей дальности \hat{D} , скорости сближения $\hat{\dot{D}}$, угловой скорости вращения в антенной системе координат $\hat{\omega}_y, \hat{\omega}_z$.

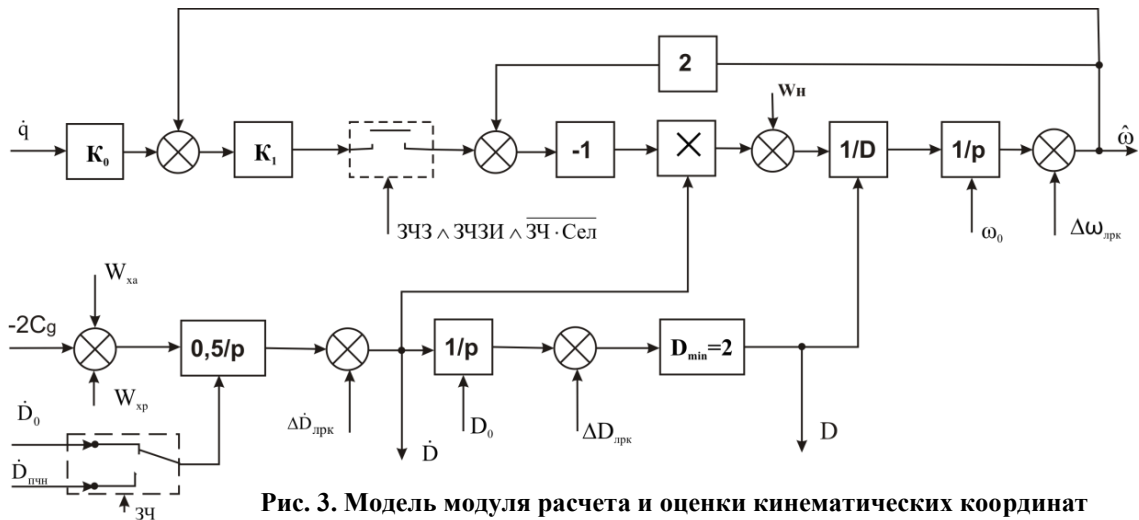


Рис. 3. Модель модуля расчета и оценки кинематических координат

$$\hat{D} = D_0 - \int_0^t \hat{\dot{D}} dt + \Delta D_{\text{лрк}}, \quad (1)$$

$$\hat{\dot{D}} = \dot{D}_0 + \frac{1}{2} \int_0^t (W_{xa} + W_{xp} - 2 \cdot C_q) dt + \Delta \dot{D}_{\text{лрк}}, \quad (2)$$

$$\hat{\omega}_y = \frac{1}{D} \cdot (W_{za} + 2 \cdot \hat{\omega}_y \cdot \hat{D} + C_{q\omega}), \quad (3)$$

$$\hat{\omega}_z = \frac{1}{D} \cdot (W_{ya} - 2 \cdot \hat{\omega}_z \cdot \hat{D} - C_{q\omega}), \quad (4)$$

$$\hat{\omega}_y = \int_0^t \hat{\omega}_y dt + \Delta \omega_{y,\text{лрк}}, \quad (5)$$

$$\hat{\omega}_z = \int_0^t \hat{\omega}_z dt + \Delta \omega_{z,\text{лрк}}. \quad (6)$$

При расчетах используются данные о дальности, скорости сближения и угловой скорости ЛВЦ, вводимые в полетное задание ЗУР до старта: D_0, \dot{D}_0, ω_0 ; данные радиокоррекции:

$\Delta D_{\text{лрк}}, \Delta \dot{D}_{\text{лрк}}, \Delta \omega_{y,\text{лрк}}, \Delta \omega_{z,\text{лрк}}$ сигналы поправки по дальности, скорости сближения и угловым скоростям в плоскостях азимута и наклона; проекции ускорения ракеты в антенной СК

W_{xa}, W_{ya}, W_{za} и W_{xp} - продольного ускорения в связанной СК; постоянные поправки для компенсации силы тяжести: $C_q = 6\text{м/с}^2$,

$$C_{q\omega} = 9,81\text{м/с}^2.$$

В модуле формирования команды наведения (рис. 4) рассчитывается значение команд наведения согласно модифицированного закона пропорционального сближения с коэффициентом навигации $K_n = 3,5$.

$$\lambda_y = \left[\frac{K_n \dot{D} \hat{\omega}_z}{g \cos \varepsilon_\Gamma} + K_x \varepsilon_\Gamma n_{x1} + \Delta n_g \right] Y_\phi, \quad (7)$$

$$\lambda_z = \left[\frac{K_n \dot{D} \hat{\omega}_y}{g \cos \beta_\Gamma} + K_x \beta_\Gamma n_{x1} + \Delta n_g \right] Y_\phi. \quad (8)$$

где λ_y, λ_z команды наведения ракеты в плоскостях тангажа и курса; n_{x1} продольное ускорение ракеты; K_x коэффициент компенсации продольного ускорения ракеты n_{x1} ; g ускорение свободного падения; $\varepsilon_\Gamma, \beta_\Gamma$ значение углов пеленга антенны в плоскостях азимута и наклона; Y_ϕ передаточная функция корректирующего фильтра. Для условий стрельбы ЗУР 9М38М1 в

морском варианте ЗРК составляющая компенсации веса ракеты Δn_g имеет знак минус, что связано с развернутым на 180° по крену стартовым положением ракеты на пусковой установке.

При захвате цели РГС ЗУР реализуется режим самонаведения с РК [4]. Отличия моделирования в данном режиме состоят в том, что в модуле расчета и оценки кинематических координат оценка угловых ускорений $\hat{\omega}_y, \hat{\omega}_z$ осуществляется с использованием измеренных РГС значений угловой скорости \dot{q}_y, \dot{q}_z и скорости \dot{D}_r

$$\hat{\omega}_y = \frac{1}{D} (W_{za} + 2\hat{\omega}_y \dot{D}_r - K_1 \dot{D}_r (K_0 \dot{q}_y - \hat{\omega}_y) + C_{q\omega}), \quad (9)$$

$$\hat{\omega}_z = \frac{1}{D} (W_{ya} - 2\hat{\omega}_z \dot{D}_r - K_1 \dot{D}_r (K_0 \dot{q}_z - \hat{\omega}_z) - C_{q\omega}). \quad (10)$$

где $K_0 = 1,3$; $K_1 = 7,0$ – постоянные весовые коэффициенты.

В модуле формирования команды наведения при моделировании СН с РК рассчитывается значение команд наведения λ_y, λ_z , причем в выражениях (7), (8) вместо значений оценок $\hat{\omega}_y, \hat{\omega}_z, \dot{D}$ используются измеренные РГС $\dot{q}_y, \dot{q}_z, \dot{D}_r = \dot{D}_{пчн}$.

При стрельбе по маневрирующей цели в гарантированной зоне поражения по команде Зона 1, поступающей в полетном задании ЗУР изменяется коэффициент навигации $K_n = 4$.

При стрельбе по групповым целям и в условиях постановки противником мерцающих помех флуктуации мгновенного центра отражения РГС

приводят к раскату угловой следящей системы ЗУР и могут вызвать срыв сопровождения. В рассматриваемой модели, в блоке *Seeker* анализируется сигнал с выхода угловой системы, и при обнаружении такой ситуации выдается команда СЕЛЕКЦИЯ. В модуле формирования команды наведения анализируется условие $ЗЧ \wedge СЕЛ$ и при истинности условия для формирования команд управления ракетой используются оценки угловых скоростей $\hat{\omega}_y, \hat{\omega}_z$.

Используемые в интегрированной модели контура наведения (рис. 1) информационные связи между блоками *Seeker* и *Fuse/Warhead*, *Seeker* и *Guidance* являются достаточно характерными для моделей систем управления ракетами. Большой интерес представляет связь блока *Warhead* с *Guidance* (рис. 1), которая отсутствует в большинстве рассматриваемых в литературе подобных моделей. Однако в системах наведения реально существующих ракет ЗРК "БУК-М1" такие связи есть.

При атаке ракетой 9М38М1 цели, летящей на малой высоте, перед стартом или в процессе полета ЗУР на радиовзрыватель подается команда "НЛЦ". По этой команде, при снижении ракеты до высот, при которых дальность до подстилающей поверхности по ДН антенн РВ составляет 150м, а затем 100м в радиовзрывателе формируются сигналы, пропорциональные скорости снижения ракеты. В зависимости от их значения, вырабатывается управляющее напряжение смещения промаха $U_{сп}$, которое используется для корректировки траектории полета ЗУР (смещение вверх трубки промаха).

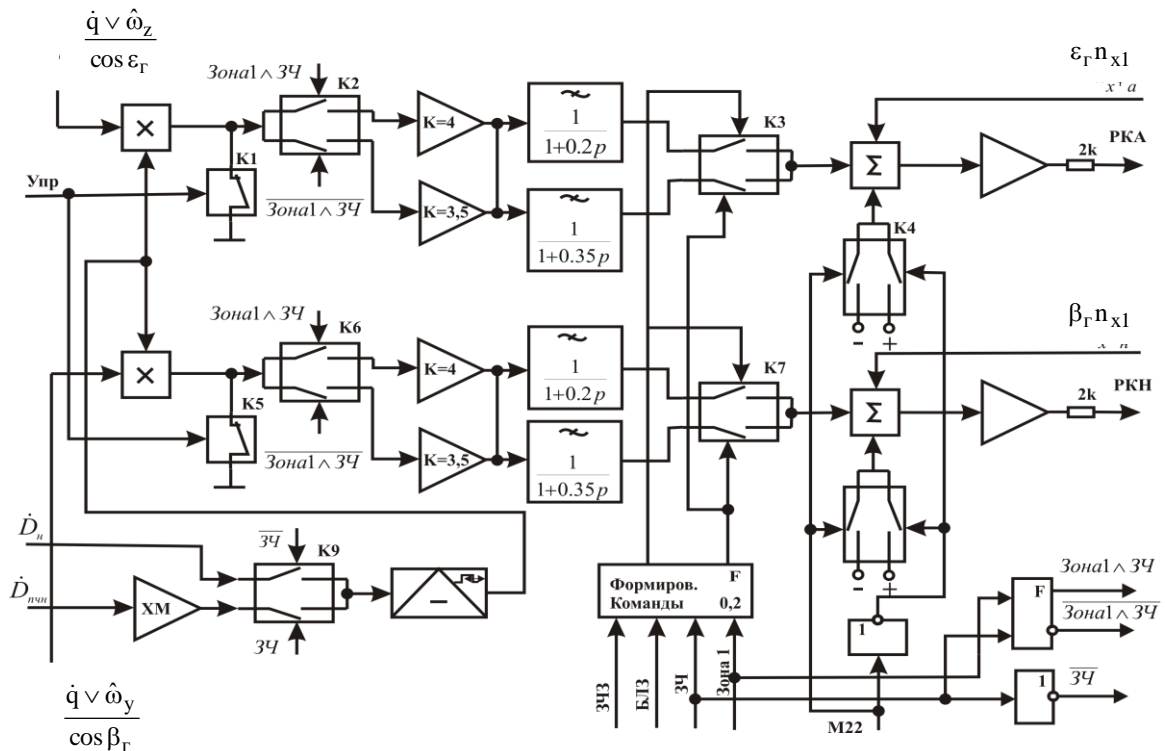


Рис.4. Модель модуля формирования команды наведения

Использование информации радиовзрывателя при формировании команд управления ракетой резко снижает вероятность попадания ракеты в зону опасного влияния подстилающей поверхности. Это обеспечивает защиту РВ от влияния подстилающей поверхности в процессе снижения ЗУР. Совместное использование информации ГСН и ВУ позволяет реализовать в перспективных ракетах комбинированную

информационную систему, обеспечивающую ракету информацией о цели при дальности до цели от десятков километров до единиц метров.

Выводы

В статье проанализированы особенности построения математических моделей систем управления ракетами. Рассмотрены особенности формирования команд наведения ЗУР малой дальности.

Литература

1. Скорик А.Б. Проблемные вопросы изучения принципов построения зенитных управляемых ракет и стрельбы ЗУР/ А.Б. Скорик, С.В. Ольховиков, А.С. Кирилук // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, – 2008. – Вип. 5 (72). – с. 111-115. **2. Проектирование** зенитных управляемых ракет // Под ред. И.С. Голубева, В.Г.Светлова. - М.: изд. МАИ, 1999. – 728с. **3. Галицкий О.Ф.** Классификация современных и перспективных систем управления зенитными ракетами и ракетами воздух-воздух / А.Б.Скорик, О.Ф.Галицкий,

В.В.Воронин, М.И.Целик// Системы обработки информации. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил. – 2012. – Вип.7(105). – С. 150 – 154. **4. Скорик А.Б.** Анализ особенностей построения современных систем самонаведения ЗУР и ракет воздух-воздух с радиокоррекцией / А.Б.Скорик, Н.Т. Грицына, Д.Ю. Кириченко, В.И. Снаговский // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – Х.: ХУПС, – 2012.- Вип 3(9). - С.65 – 68.

У статті аналізуються питання побудови математичних моделей систем управління сучасних зенітних керованих ракет. Розглядається приклад побудови моделі пристрою формування команд наведення ЗКР малої дальності, що використовує модифікований метод пропорційного зближення. Аналізуються особливості формування команд наведення при різних умовах стрільби ЗКР, питання комплексування інформації у системі наведення

Ключові слова: контур наведення, система управління ракети, модифікований метод пропорційного зближення.

The article analyzes the issues of constructing mathematical models of guidance systems of modern anti-aircraft guided missiles. The example of the construction of the model shaper teams short-range guided missiles using a modified method of proportional approach. The features of the formation of teams aiming for different shooting conditions missiles, issues of integration of information in the guidance system.

Key words: contour guidance, missile control system, modified proportional approach.