УДК: 004.942

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЯ МОНОЦЕНТРИЧЕСКОЙ И СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКОЙ ПВО

И.А. Соловатов, Н.В. Митюков (Ижевск)

1. Методы наведения зенитной ракеты

Для перехвата воздушной цели важнейшим является выбор метода наведения зенитной управляемой ракеты (ЗУР) на цель. От него напрямую зависит боевая эффективность зенитно-ракетного комплекса (ЗРК). Существует четыре основных трехточечных метода наведения ЗУР ЗРК.

При наведении по методу трех точек ракета, двигаясь по криволинейной траектории, все время удерживается на линии визирования «ЗРК – Цель». Это самый простой для аппаратной реализации метод наведения, инструментальные погрешности аппаратуры и флуктуация сигналов цели и ракеты вызывают меньшие ошибки наведения, чем в методе половинного спрямления. К недостаткам метода трех точек относятся большая кривизна кинематической траектории и высокие управляющие поперечные перегрузки ракеты.

Метод половинного спрямления представляет собой усовершенствованный метод трех точек, где движение ракеты в каждый момент времени направлено в упрежденную точку встречи ракеты с целью. Суть метода заключается в том, что текущие углы визирования и азимута цели определяются с учетом поправки на упреждение, рассчитываемой через угловую скорость цели относительно ЗРК, скорость сближения ЗУР с целью и расстояние между ЗУР и целью.

Метод параллельного сближения применяется, если в течение всего полета ракеты до встречи с целью угол линии визирования «ЗУР – Цель» не меняет своего численного значения. Его достоинством является то, что он идеально подходит для перехвата высокоскоростных целей на встречных курсах, где скорость цели может в несколько раз превышать скорость ЗУР. Недостатки метода заключаются в более сложной практической аппаратной реализации. Метод предъявляет высокие требования к вычислению пространственных и скоростных кинематических характеристик цели. Даже небольшая погрешность в их измерении ведет к промаху.

При методе пропорционального сближения в течение всего времени полета ракеты к цели угловая скорость поворота вектора скорости ракеты остается пропорциональной угловой скорости линии визирования «Ракета – Цель». Для реализации метода необходимо в каждый момент времени измерять угловую скорость линии визирования «ЗУР – Цель» и сравнивать ее с угловой скоростью вращения вектора скорости ракеты. Система управления должна содержать два типа измерителей: следящий визир цели и измеритель угловой скорости вращения вектора скорости ЗУР.

2. Сравнение методов имитационным моделированием

Для выбора оптимального метода наведения было проведено имитационное моделирование по перехвату разных целей. Оптимальный метод наведения должен обеспечить следующие требования:

- минимальное время подлета к цели;
- минимальную кривизну траектории на всех участках траектории, а особенно в районе встречи;
- надежно осуществлять перехват маневрирующих целей с высокими угловыми скоростями линии визирования «ЗРК – Цель»;

– быть эффективным против целей с более высокими скоростями, чем скорость ЗУР (бой на встречных и перпендикулярных курсах);

– быть простым в аппаратной реализации.

Имитационное моделирование проводилось путем сравнения возможности перехвата целей с одинаковыми начальными условиями по алгоритмам наведения по разным методам. В качестве цели выступала маневрирующая по курсу цель с высокой угловой скоростью линии визирования «ЗРК – Цель». Критерием эффективности выступало время перехвата цели (рисунки 1 и 2).

Рис. 1 – Задача перехвата маневрирующей цели

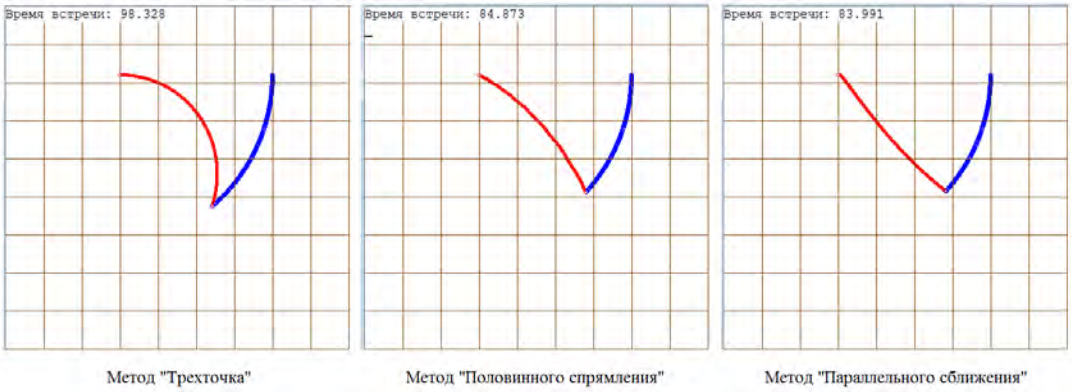

Рис. 2 – Результаты моделирования

Вторым испытанием для методов наведения была проверка их способности сбивать высокоскоростные цели. На рисунках 3 и 4 приведены результаты перехвата цели, скорость которой в три раза превышает скорость ракеты ЗРК. Здесь также как и в первой задаче, критерием эффективности выступало время перехвата цели.

Рис. 3 – Задача перехвата высокоскоростной цели на встречных курсах

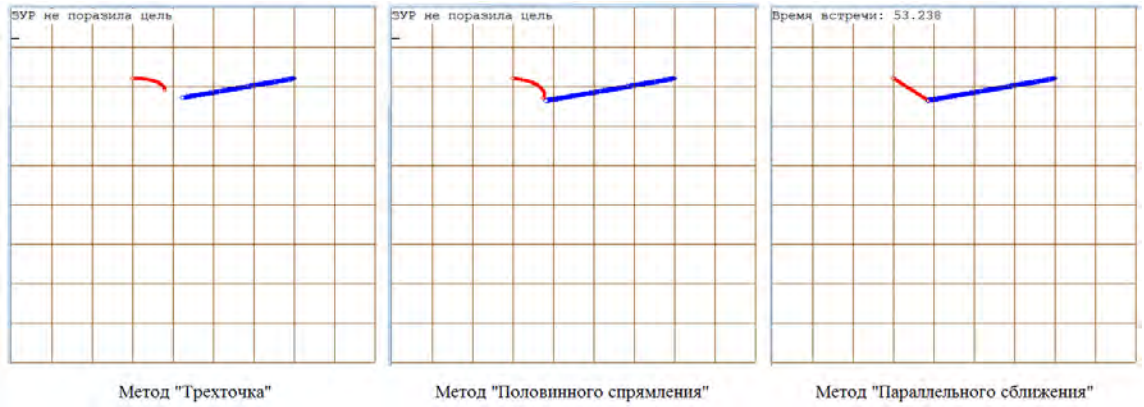

Рис. 4 – Результаты моделирования

Имитационное моделирование перехвата маневрирующей цели показало, что хуже всех с задачей перехвата справляется метод трех точек. Более высокую эффективность по времени показал метод половинного спрямления. С небольшим отрывом от него лучший результат показал метод параллельного сближения. Это означает, что для перехвата маневрирующих целей хорошо подходят оба метода.

Моделирование боя ЗУР с высокоскоростной прямолетящей целью показало, что методы трех точек и половинного спрямления вообще не справляются с поставленной задачей. Работа программы прерывалась триггером, когда азимутальная угловая скорость линии визирования «ЗРК – Цель» принимала более высокое численное значение, чем максимально возможная азимутальная угловая скорость линии визирования «ЗРК – ЗУР».

Результаты имитационного моделирования показали, что метод параллельного сближения является идеальным вариантом для стрельбы на упреждение, так как он сочетает в себе минимальное подлетное время до цели и способность перехватывать цели, имеющие скорость, превышающую предельную скорость полета ЗУР в несколько раз. Он также позволяет перехватывать цели с высокой угловой скоростью линии визирования «ЗРК – Цель».

3. Моделирование сетецентрической системы ПВО

В настоящее время аппаратура слежения и целеуказания конструктивно оформляется на одном шасси с пусковой установкой ЗРК. Такой способ размещения можно назвать моноцентрическим, так как все происходит из одного центра. В противовес ему существует сетецентрическая система, когда аппаратура слежения распределена на несколько центров. Именно такая система была создана в СССР как стратегическая система ПВО. Сеть радиолокационных станций, располагавшихся вдоль границы и в ключевых точках внутри СССР, давала возможность создать единое впечатление о воздушной обстановке. Опыт вооруженных конфликтов последнего времени (в первую очередь в Сирии и Карабахе) показывает, что возможности сетецентрической ПВО тактического звена или непосредственных боевых порядков явно недооценены.

Для проверки этого предположения было проведено имитационное моделирование боевой работы ЗРК «Тор М1», характеристики которого имеются в открытой печати [2], по массированной атаке его высокоманевренным беспилотным летательным аппаратом TB2 «Bayraktar» (аналог боевой ситуации в Карабахе) и скоростной крылатой ракетой BGM-109 «Tomahawk» (аналог боевой ситуации в Сирии). Задача противника состояла в прорыве системы ПВО и уничтожении ЗРК.

В первой симуляции противником ЗРК выступило ударное звено из пяти БПЛА TB2 «Bayraktar». Их боевая задача заключалась в уничтожении ЗРК бортовыми ракетами UMTAS с лазерным наведением. Начальное положение звена задавалось случайным образом. Во всех 100 симуляциях моноцентрическая установка ЗРК была уничтожена. Сетецентрическая установка ЗРК успешно отразила все атаки и за все 100 боев не была ни разу уничтожена.

Во второй игре противником ЗРК выступала «стая» крылатых ракет BGM-109 «Tomahawk», сгруппированных для прорыва противовоздушной обороны. Снова, моноцентрическая установка ЗРК задачи свои не выполнила, в то время как сетецентрическая установка каждый раз уничтожала все цели.

Критерием эффективности ПВО в данном случае выступало отношение суммы сбитых целей к общей сумме целей. Бой с ударной группой БПЛА TB2 «Bayraktar» показал увеличение эффективности с 43% до 94%. Симуляция боя по отражению массированного ракетного удара показало увеличение эффективности ЗРК «Тор М1» с 54% до 100%.

Литература

1. **Соловатов И.А., Митюков Н.В**. Выбор метода наведения для перехвата маневренных и высокоскоростных целей // Известия РАРАН. 2022. № 2. С. 58-66.

2. **Ельцин С.Н.** Зенитный ракетный комплекс «Тор М1»: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Балтийского гос. техн. ун-та, 2015. 67 с.