

Рис. 9. Сгущение сетки

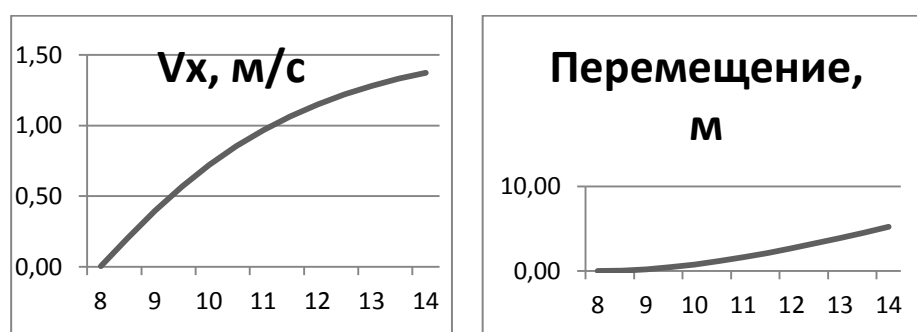


Рис. 10. Результаты расчета

Из графиков видно, что значение скорости со временем стремится к асимптоте. Это связано с увеличением силы сопротивления со стороны потока с увеличением скорости движения подводного аппарата. В итоге за 6.6 секунд движения объект переместился на 5.24 метра и развил скорость 1.37 М/сек. Таким образом, методика расчета гидродинамики и моделирования движения подводного аппарата показала свою работоспособность. В дальнейшем возможно будет задавать более сложные условия для движения подводного аппарата, например, движение с работающей системой управления или добавление случайных возмущений со стороны потока в виде подводных течений или следа от другого движущегося подводного объекта.

УДК 629.7 : 521.3

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ КИНЕТИЧЕСКОГО ПЕРЕХВАТА

С. Н. Ельцин, Д. А. Смирнов, М. М. Степанов

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова

Введение. Современные системы наведения способны обеспечить кинетический перехват ГЧ БР на скоростях более 10 км/с. Широко известен перехват противоракетой GBI головной части-мишени межконтинентальной баллистической ракеты, который произошел 30 мая 2017 г. Кроме того, известна и успешная статистика перехвата противоракетой THAAD, которая в 2007 г. перехватывала ракеты SCUD, в 2012 г. перехватывала ракету мишень E-LRALT.

Такие противоракеты, как THAAD, SM-3 и GBI являются противоракетами разного класса и движущимися на разных скоростях (GBI – противоракета дальнего космоса, скорость

движения порядка 8км/сек, ТНААД – противоракета ближнего космоса, скорость движения порядка 4км/сек). В связи с этим представляется интерес о возможности стрельбы разными противоракетами по одной и той же высокоскоростной цели, летящей на заатмосферном участке траектории, например, головной части баллистической ракеты, спускающейся со скоростью бкм/сек.

Концепция кинетического перехвата была выдвинута в США после анализа противодействия комплексов Patriot иракским ракетам Р-11(Скад). Несмотря на большой перерасход ракет (до 28 ракет Patriot на каждую Р-11), существенная часть баллистических ракет (по разным данным, от 52 % до 91 %) так и не была поражена, а пораженные ракеты получали осколочные повреждения двигательных отсеков, несколько отклонялись от цели, но боеголовки оставались полностью функциональными.

Американские инженеры считали, что осколки, образующиеся при подрыве зенитной управляемой ракеты (ЗУР), обладают слишком малой энергией для поражения прочной боеголовки БР. Хотя еще в 1961 году советские противоракеты В-1000 с ОБЧ успешно уничтожали боеголовки ракет Р-5 и Р-12, а уничтожение боеголовки Р-11 осколочной боеголовкой стандартной войсковой ЗУР было осуществлено российской С-300 в 1995 году. Тем не менее, поражение боеголовки осколками таит в себе актуальную проблему: осколочные повреждения могут вывести боеголовку из строя, но не гарантируют ее полного разрушения и не могут сбить с траектории. На радарх противоракетной обороны будет невозможно отличить выведенную из строя (но не разрушенную) вражескую боеголовку от исправной, что потребует дополнительных усилий и расхода противоракет на уничтожение уже выведенных из строя боеголовок [1].

На рис.1 изображены характерные траектории полета существующих кинетических перехватчиков (КП) США с указанием диапазона дальностей перехватываемых ракет и располагаемого времени подлета до зоны перехвата. Перехватчик может выводиться в расчетную точку встречи с боеголовкой (БГ) в пространстве носителя или в составе боевой ступени (БС). В любом случае за начало работы перехватчика принимается момент отделения от носителя или БС. В составе КП имеются инфракрасная головка самонаведения (ИкГС), двигательная установка, позволяющая КП маневрировать и осуществлять его стабилизацию.

Как видно из рис. 1, перехват осуществляется в основном на внеатмосферном участке траектории на нисходящей ветви траектории БГ [2].

После захвата цели ГСН КП осуществляется его отделение от БС (носителя) наведение на нее. ГСН измеряет положение цели относительно КП (углы фазирования φ и рассогласования).

Постановка задачи. В основу оценки возможности перехвата были положены две математические модели:

- модель полета перехватчика в режиме самонаведения (метод пропорционального сближения);
- модель полета цели (спуск неуправляемой ГЧ БР по параболе).

Запишем систему уравнений, обеспечивающих наведение КП на боеголовку [3]. в обозначениях: V – скорость движения ракеты, $V_{ц}$ – скорость движения цели θ - угол возвышения ракеты, $\theta_{ц}$ – угол возвышения цели, φ – угол наклона линии визирования ракеты, r – расстояние между ракетой и целью, k – коэффициент пропорциональности, g – гравитационная постоянная; $\frac{dr}{dt}$ – описывает изменение расстояния между ракетой и целью; $\frac{d\varphi}{dt}$ – описывает угловую скорость вращения линии визирования ракеты; $\frac{d\theta}{dt}$ – описывает угловую скорость вращения ракеты; $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}$ – описывает изменение соответствующих координат с течением времени ракеты; $\frac{V \frac{d\theta}{dt}}{g}$ – описывает нормальные поперечные перегрузки, испытываемые ракетой; $\frac{dx_{ц}}{dt}, \frac{dy_{ц}}{dt}$ – описывает изменение соответствующих координат с течением времени цели, $\frac{d\theta_{ц}}{dt}$ - описывает угловую скорость вращения цели.

$$\begin{aligned} \frac{dr}{dt} &= V_u \cos(\theta_u - \varphi) - V \cos(\theta - \varphi) \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{1}{r} (V_u \sin(\theta_u - \varphi) - V \sin(\theta - \varphi)) \\ \frac{d\theta}{dt} &= k \frac{d\varphi}{dt} \\ \frac{dx}{dt} &= V \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} &= V \sin \theta \\ \frac{dV}{dt} &= g \cdot \sin \theta + V_n \left(\frac{d\theta}{dt} \right) \\ n_y &= \frac{V \frac{d\theta}{dt}}{g} \\ \frac{dx_u}{dt} &= V_u \cos \theta_u \\ \frac{dy_u}{dt} &= V_u \sin \theta_u \\ \frac{dV_u}{dt} &= g \sin \theta_u \\ \frac{d\theta_u}{dt} &= \frac{g \cos \theta_u}{V_u} - \frac{V_u \cos \theta_u}{R_z + y_u} \end{aligned}$$

Особенностью метода пропорционального сближения является то, что при выборе различного коэффициента k можно получить различные траектории. Так, при малом значении k получаем траекторию похожую на метод погони, при больших значениях k получаем траекторию похожую на метод параллельного сближения. Проведенные кинематические исследования показывают, что для наведения на цель, скорости которых соизмеримы со скоростью ЛА, целесообразно использовать методы наведения с упреждением, причем метод пропорционального сближения и его частный случай – метод параллельного сближения, обеспечивают траектории, близкие к прямолинейным. В связи с этим, для построения траектории ракеты будем использовать k с большими значениями. Однако стоит отметить, что полный анализ свойств траекторий, проведенный с учетом динамики системы наведения, показывает, что при чрезмерном увеличении параметра k траектории вблизи цели приобретают неблагоприятный характер.

Для решения задачи будем использовать следующие допущения:

- цель является не маневрирующей;
- угол возвышения и угол тангажа перехватчика в каждый момент времени является одинаковым;
- угловая скорость вращения ГСН обеспечивает слежение за целью при нахождении цели в области видимости ГСН.
- сопротивление воздуха не учитывается, поскольку перехват осуществляется на внеатмосферном участке траектории;
- вращение Земли не учитывается, т.к. время протекания процесса мало.

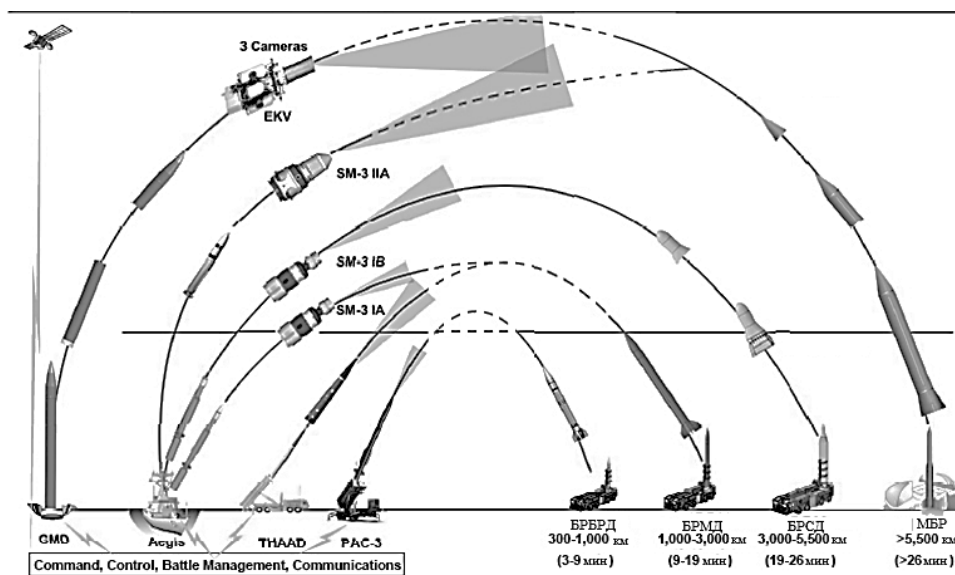


Рис. 1. Характерные траектории КП и БР

Также для решения задачи прием некоторые характеристики противоракеты: максимальный угол видимость ГСН $\pm 30^\circ$, максимальная дальность полета боевой ступени перехватчика 350км, максимальные поперечные перегрузки 30g.

Варьируемыми параметрами для исследования зон наведения будут:

- скорость перехватчика (4км/сек...7км/сек);
- взаимное начальное угловое расположение объектов ($180^\circ \dots 360^\circ$);
- дальность наведения (0км...300км).

Данная задача решается методом Рунге-Кутты четвертого порядка, начальные условия которой представляют собой постоянные и варьируемые параметры перехватчика, перечисленные выше, и параметры полета БР (скорость спуска бкм/сек, угол возвышения 35°). Шаг интегрирования при решении задачи принимался $dt=0,1$ сек.

Для удобства решения задачи и представления результатов, выше описанную систему уравнений будем решать в системе координат связанной с начальным положением цели, ось ОУ которой будет сонаправлена с вектором скорости БГ, а ось ОХ повернута на $\pi/2$ относительно оси ОУ.

Обсуждение результатов. Как показали результаты расчета, наведение и попадание в цель возможно при больших коэффициентах пропорциональности. Это связано с тем, что при малых значениях и больших взаимных углах расположения траектория наведения противоракеты в конечный момент времени подходит под углами близкими к 90° к траектории ГЧ. В связи с чем, для наведения на цель требуется достаточно высокая угловая скорость вращения противоракеты, а малые коэффициенты пропорциональности (порядка $k=3, 4,5$) не обеспечивают этого и очень часто происходит срыв наведения из-за потери цели ГСН. При больших коэффициентах пропорциональности, траектория противоракеты стремится в точку упреждения, что в свою очередь с одной стороны уменьшает требуемую угловую скорость вращения на конечных участках траектории для наведения на цель, однако при больших взаимных углах расположения возможна также потеря цели из области видимости ГСН, но зона наведения при использовании больших коэффициентов пропорциональности гораздо больше, чем при малых. В качестве расчетного параметра коэффициента пропорциональности было принято $k=15$.

Также стоит отметить, что при прочих равных условиях у противоракет, которые наводятся на больших скоростях, зона наведения шире, чем у противоракет, наводящихся на

меньших скоростях при наведении на больших дальностях (порядка 300 км). Это связано с тем, что они успевают выйти на встречный курс, и навестись на ГЧ при тех же взаимных угловых положениях, в отличие от ракет, двигающихся на меньших скоростях, которые вынуждены осуществлять достаточно большой разворот в сторону цели.

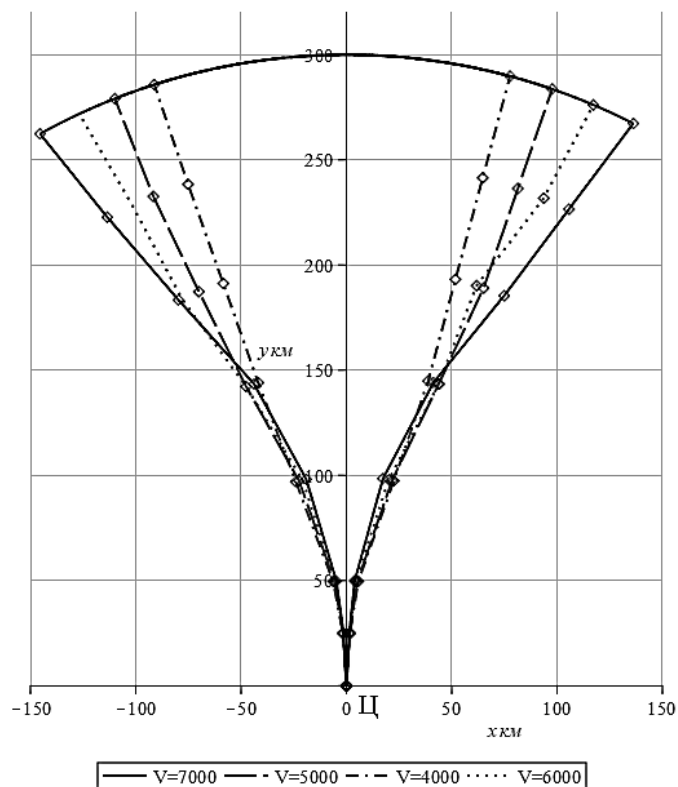


Рис. 2. Характерные зоны наведения боевой ступени в СК связанной с начальным положением цели

Однако, как видно из рис. 2 при уменьшении дальности зоны наведения начинают выравниваться и после некоторого значения (порядка 100 км) более эффективными становятся противоракеты с меньшими скоростями, т.к. они успевают развернуться в сторону цели и навестись. Противоракеты с большими скоростями двигаются с максимальными поперечными перегрузками и в определенный момент времени ГЧ уходит из области видимости ГСН.

Еще одной особенностью наведения противоракеты на цель является и то, что зона наведения не является симметричной относительно оси ОУ в системе координат, проведенной через начальное положение цели. В этой системе координат левая часть шире, чем правая. Это объясняется тем, что в правой части зоны наведения противоракета преимущественно движется сверху вниз за целью, а в левой – снизу вверх, поэтому средняя скорость движения в левой части зоны наведения будет ниже на несколько сотен метров в секунду, что делает ее более маневренной (рис.3а, рис.3б).

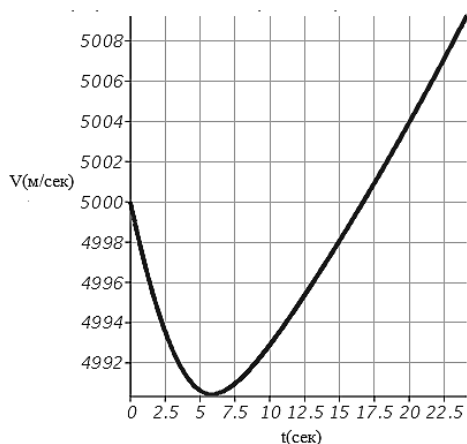


Рис.3а. Изменение скорости перехватчика при наведении на цели с положения $+17^{\circ}$ относительно цели

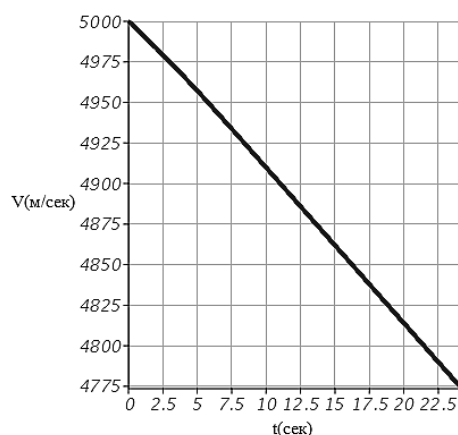


Рис.3б. Изменение скорости перехватчика при наведении на цели с положения -17° относительно цели

Библиографический список

1. URL: <http://www.washprofile.org>. Дата обращения 10.10.2018;
2. Зенитная управляемая ракета Standard-3 (SM-3/ RIM-161) // Ракетная техника. [Электронный ресурс]. URL: <http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/sm3/sm3.shtml>. Дата обращения 10.10.2018
3. Толтегин О. А. Математические модели систем летательных аппаратов. СПб: БГТУ «Военмех», 2016. С. 37, 44 – 45, 103.

УДК 623.462.24

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ДОСТИЖИМОСТИ НА АКТИВНОМ УЧАСТКЕ ДВИЖЕНИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ РАКЕТЫ JL-2 ПРОТИВОРАКЕТОЙ STANDARD 3 – 1B

Е. В. Обидин¹, И. А. Одегов²

¹Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова
²ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Настоящая работа рассматривает решение задачи оценки возможности встречи противоракеты (ПР) корабельного базирования с баллистической ракетой подводных лодок (БРПЛ) на активном участке траектории ее полета. Решение задачи проводилось применительно к известным данным о параметрах траекторий БРПЛ JL-2 ВМС Китая и противоракеты (ПР) Standard 3 – 1B ВМС США.

Метод исследования – расчет точки встречи противоракеты и БР с учетом пространственно-временного баланса, определение расстояния досягаемости противоракетой БР на заданном угле курса между местоположениями крейсера управляемого ракетного оружия (УРО) и атомной подводной лодкой с баллистическими ракетами (ПЛАРБ). Результаты исследования оформляются в виде зоны досягаемости БРПЛ JL-2 противоракетой Standard 3 – 1B при стрельбе на максимальную дальность встречи ракет.