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

УДК 623.462.24

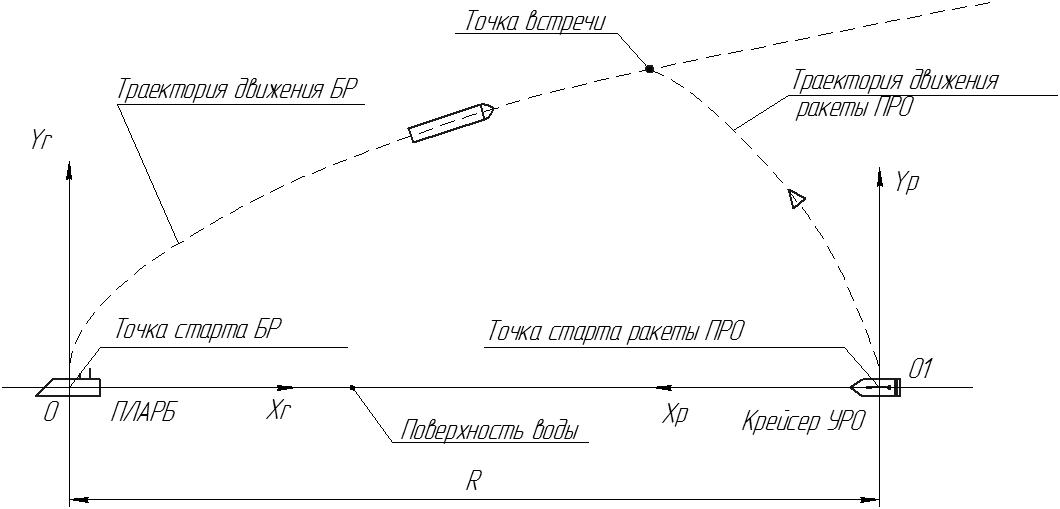
Настоящая работа рассматривает решение задачи оценки возможности встречи противоракеты (ПР) корабельного базирования с баллистической ракетой подводных лодок (БРПЛ) на активном участке траектории её полёта*.* Решение задачи проводилось применительно к известным данным о параметрах траекторий БРПЛ *JL-2* 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 достижимости 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 достижимости БРПЛ *JL-2* противоракетой *Standard 3 – 1B* при стрельбе на максимальную дальность встречи ракет.

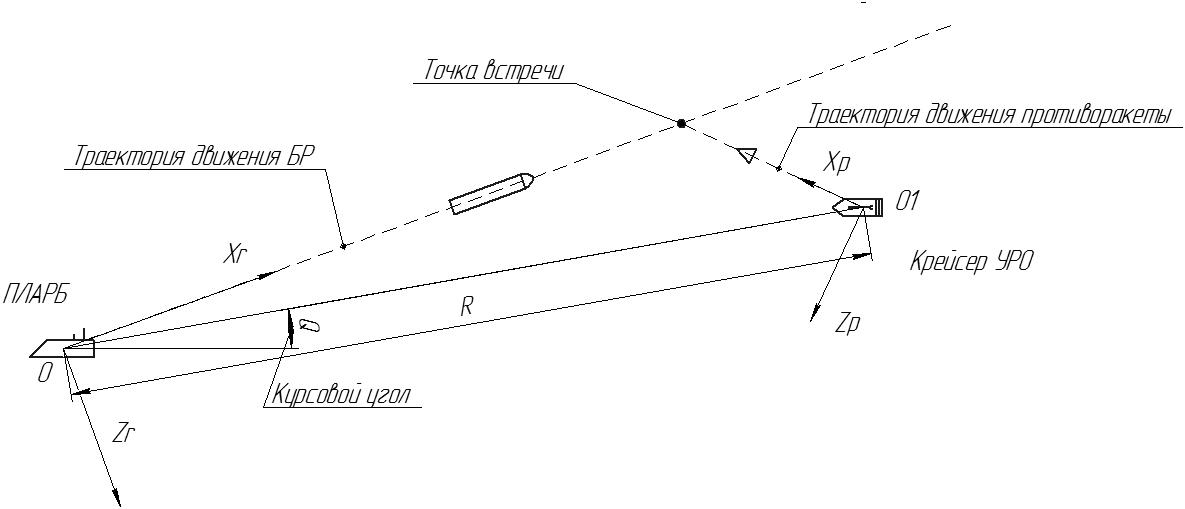
**Ключевые слова:** ПРО США, противоракета, баллистическая ракета, временной баланс, зона достижимости, крейсер УРО, ПЛАРБ, морской эшелон.

**Физическая модель**

На рис. 1 изображено схематичное построение физической картины встречи БР *JL-2* противоракетой *Standard 3 – 1B*. Под носителем БР *JL-2* принимаем китайскую атомную подводную лодку с баллистическими ракетами (ПЛАРБ) проекта 094 «*Jin*», под носителем противоракет *Standard 3 – 1B* принимаем ракетный крейсер управляемого ракетного оружия (УРО) типа «*Ticonderoga*».



a)



б)

Рис. 1. Схема встречи БР *JL-2* противоракетой *Standard 3 – 1B*,   
а) вид в плоскости OXrYr; б) вид в плоскости OXrZr

Система координат OXrYrZr привязана к точке старта БР. Ось Xr откладывается в плоскости стрельбы, ось Yr и Zr перпендикулярны Xr рис. 1(а,б). Система координат O1XpYpZp связана с точкой старта противоракеты. Ось Xp откладывается в плоскости стрельбы противоракеты, Yp и Zp составляют также правую систему координат.

На рис. 2 представлена схема формирования слепой зоны РЛС с учётом прямолинейного распространения радиоизлучения сантиметрового диапазона, используемого в РЛС *AN/SPY-1* и допущении о сферичности поверхности Земли. Слепая зоны РЛС учитывается только при использовании корабельной системы обнаружения в качестве основного средства целеуказания.

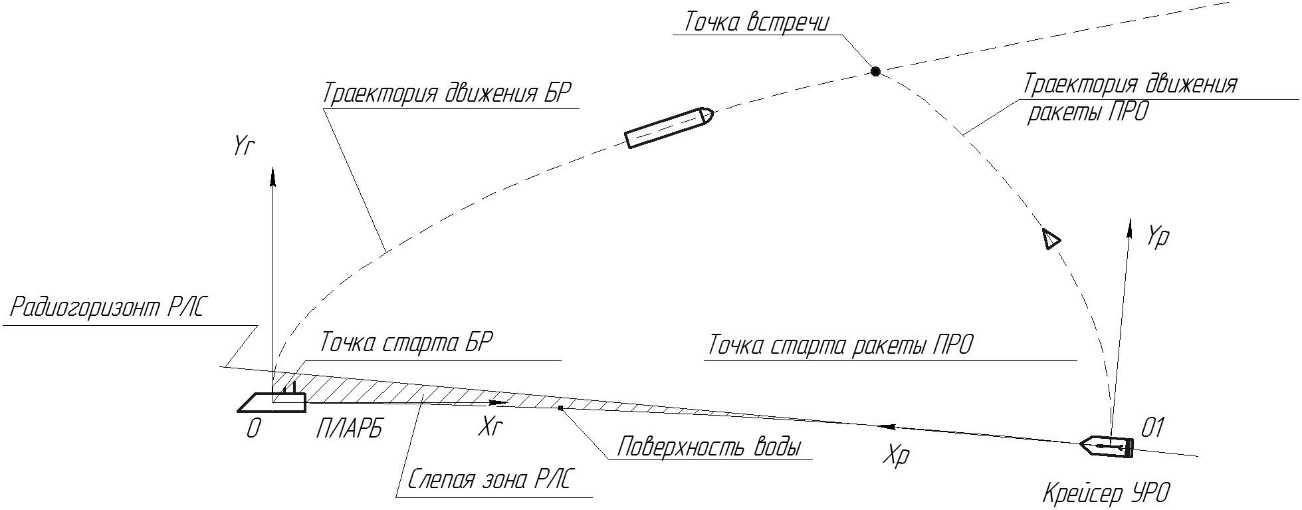


Рис. 2. Схема формирования слепой зоны РЛС

Начало процесса моделирования – выход БР из-под воды после старта из шахты ПЛАРБ. Полёт ракеты *JL-2* происходит в плоскости стрельбы задаваемой через азимут *AZSTART*. Траектория полёта БР на активном участке задаётся табличными параметрами. Вскоре после выхода БР из-под воды происходит её обнаружение средствами противоракетной обороны (ПРО) на дальности *R* и курсовом угле *Q* на место старта БР. Система *«Aegis»* идентифицирует цель, рассчитывает траекторию цели и формирует полетное задание для противоракет, суммарная длительность данных процессов задаётся параметром *TIDEN*.

Параллельно моделируется работа комплекса *«Aegis»*:

* обнаружение БР радиолокационной станцией надводного корабля УРО;
* предстартовая подготовка, формирование и ввод полетных заданий в ПР;
* старт ПР;
* моделирование полёта ПР.

Количество ПР выделяемых на одну БР задаётся предварительно.

Старт противоракеты осуществляется после формирования и ввода полетного задания. Определяется точка возможного пересечения траекторий БР и ПР совместно с временем её достижения ПР. Встреча ракет считается состоявшейся при равенстве времен движения БР (*TBR*) и ПР (*TPRO*) в точку встречи с учетом суммы временных задержек системы *«Aegis».*

До тех пор, пока не стартовало выделенное число ПР на текущую цель, обслуживание следующей по счету БР не происходит.

Временной баланс рассчитывается по формуле (1).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (1) |

где *ΔTi* – временные задержки системы *«Aegis»* на формирование полетного задания.

Необходимо выполнение условия, приведенного в формуле (2).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | , | (2) |

где *TPRO\_MIN* – минимально необходимое время работы противоракеты; *TPRO\_MAX* – максимально возможное время работы противоракеты.

Время полёта противоракеты в точку встречи определяется при помощи предварительно рассчитанных изохрон движения. На рис. 3 представлен пример траекторий движения и изохрон. Траектории полёта построены на основе решения дифференциальных уравнений, описывающих движение противоракеты в пространстве. При помощи изохрон определяем время полёта ПР в точку встречи.

Для решения задачи определения зоны достижимости на активном участке движения баллистической ракеты *JL-2* противоракетой *Standard 3 – 1B* необходимо найти максимальное расстояние (*R*) на заданном курсовом угле (*Q*) между точкой местоположения ПЛАРБ и корабля УРО, на котором ПР возможна встреча с БР к заданному моменту времени её движения.

**Расчет настильной и навесной траектории ракеты *JL-2* на дальность 8000 км**

Исходные данные для расчета траекторий ракеты *JL-2*:

* *N* = 3 – число ступеней;
* *M0* = 42000 кг – стартовая масса ракеты;
* *L0* = 13 м – полная длина ракеты;
* *D* = 2 м – диаметр ступеней;
* *M*пн = 700 кг – масса полезной нагрузки;
* *L*полн = 8000 км.

По исходным данным спроектирована ракета в системе автоматизированного проектирования «БГТУ РБ». На рисунке приведены параметры движения рассчитанной БР для навесной и настильной траектории. Активный участок БР заканчивается на 160 секунде.

|  |  |
| --- | --- |
| F:\Мет4\Статья\Изохрона.jpg  Рис. 3. Пример траекторий движения и их изохрон | F:\Мет4\Статья\Траек.jpg  Рис 4. Траектории движения БР *JL-2* |

**Допущения модели и исходные данные**

Допущения модели определения зоны достижимости:

* поверхность Земли описывается сферой с радиусом 6371 километр;
* движение БРПЛ и крейсера УРО не учитывается;
* ПЛАРБ не подвергается воздействию средств со стороны сил противника.

Исходные данные для расчета:

* *AZSTART* = 90 град – азимут плоскости стрельбы БР;
* *AZKURS* = 90 град – истинный курс ПЛАРБ;
* *TSAFE* = 160 c – время конца активного участка;
* *TPRO*\_*MIN* = 50 c – минимально необходимое время работы противоракеты;
* *TPRO*\_*MAX* = 240 c – максимальное время работы противоракеты;
* *NBR* = 16 шт – число БР в залпе;
* *ΔTBR* = 10 с – темп стрельбы БР, с;
* *ΔTPRO* = 3 с – темп стрельбы ПР, с;
* *NRAS*\_*PRO* = 2 шт – количество ПР направляемых на одну БР;
* *TIDEN* = 5 с – время необходимое на формирования полетного задания для противоракеты.

**Результаты расчета**

На рис. 5 представлены зависимости изменения расстояния *R* от времени движения БР на траектории для настильной (рис. 5.а) и навесной (рис. 5.б) траекторий при различных курсовых углах.

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

Рис. 5. Зависимость изменения дальности *R* от времени полёта БР на курсовых углах 0, 45, 90, 135 и 180 градусов для настильной (а) и навесной (б) траектории полёта

Предельное значение R выбирается исходя из того, как расположено значение абсциссы экстремума относительно времени *TSAFE*. Если оно левее *TSAFE*, то в качестве предельного значения R выбирается значение экстремума. Иначе предельное значение R соответствует дальности при времени *TSAFE*.

Восходящая часть зависимости *R* от *TBR* обусловлена тем, что увеличение *TBR*, по условию (1) ведет к увеличению *TPRO*, что позволяет увеличить *R*. Нисходящая часть зависимости возникает в связи с тем, что ПР не успевает долететь до точки встречи с БР, поэтому необходимо уменьшать *R*, чтобы выполнялось условие временного баланса (1).

На рис. 6 представлены зоны достижимости БР противоракетой, для настильной (рис. 6.а) и навесной (рис. 6.б) траектории движения БР. Заштрихованная область, ограниченная максимальной и минимальной зоной соответствует возможности встречи противоракеты с БР при ограничениях (2) и времени движения БР не более 160 секунд. В таблице 1 представлены результаты расчета зоны достижимости.

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

Рис. 6. Зона достижимости противоракетой на времени полета БР 160 секунд; а) настильная траектория БР, б) навесная траектория БР

Таблица 1. Результаты расчета зоны достижимости

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Курсовой угол, *Q*, град | R при настильной траектории, км | | | R при навесной траектории, км | | |
| Без радиогоризонта | С радиогоризонтом | Минимальная зона | Без радиогоризонта | С радиогоризонтом | Минимальная зона |
| 0 | 900.347 | 630.232 | 115.341 | 561.182 | 359.693 | 111.964 |
| 45 | 644.343 | 400.773 | 114.946 | 384.672 | 255.25 | 98.18 |
| 90 | 206.94 | 157.07 | 69.569 | 195.468 | 150.574 | 67.435 |
| 135 | 102.587 | 93.307 | 40.94 | 122.459 | 105.857 | 46.318 |
| 180 | 83.093 | 79.292 | 33.82 | 104.764 | 94.11 | 40.089 |
| 225 | 102.587 | 93.307 | 40.94 | 122.459 | 105.857 | 46.318 |
| 270 | 206.94 | 157.07 | 69.569 | 195.468 | 150.574 | 67.435 |
| 315 | 644.343 | 400.773 | 114.946 | 384.672 | 255.25 | 98.18 |
| 360 | 900.347 | 630.232 | 115.341 | 561.182 | 359.693 | 111.964 |

**Библиографический список**

1. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, переработанные и доп. М., «Машиностроение», 1973. – 616 с.;
2. А.Л. Исаков, Пакет прикладных программ САПР баллистических ракет и ракет-носителей космических летательных аппаратов: учебное пособие. Балт.гос.техн.ун-т. – СПБ, 2014. – 110 c.;
3. Ю. А. Комаровский. Использование различныхреференц-эллипсоидов в судовождении: учебное пособие. Второе издание, переработанное и дополненное. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2005. – 341 с.;
4. А. С. Климчик, Р. И. Гомолицкий, Ф. В. Фурман, К. И. Сёмкин, Разработка управляющих программ промышленных роботов: курс лекций. Минск 2008;
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/RIM-161_Standard_missile_3>;
6. <http://globalsecurity.org/wmd/world/china/type_94.htm>;
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Jin-class_submarine>;
8. <http://missilethreat.cisi.org/missile/jl-2>;
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/JL-2>.

**Сведения об авторах**

*Обидин Егор Владимирович*, магистрант группы И4М31;

БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 1-ая Красноармейская д. 1;

E-mail: egorobidin@inbox.ru.

*Одегов Илья Андреевич,* инженер 1 кат;

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,

196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44.

E-mail: I\_Odegov@ksrc.ru