



УДК 621.396.96

В. Я. Мизрохи

## Влияние подстилающей морской поверхности на угловые измерения радиолокационной головки самонаведения

Впервые по результатам пусков зенитных ракет по низколетящим над морской поверхностью противокорабельным ракетам была предпринята попытка построить модель влияния подстилающей морской поверхности на угловые измерения активной радиолокационной головки самонаведения. Выявлен фактор, характеризующий это влияние, и показано, что он является определяющим точность самонаведения («определяющий фактор»).

*Ключевые слова:* зенитный ракетный комплекс, зенитная управляемая ракета, противокорабельная ракета, радиолокационная головка, диграмма направленности, активная головка самонаведения.

Защита кораблей Военно-морского флота (ВМФ) от противокорабельных ракет (ПКР) является важнейшей задачей зенитных ракетных комплексов. Такие ракеты представляют наибольшую угрозу для кораблей ВМФ.

Зенитные ракетные комплексы, использующие теленаводящиеся зенитные управляемые ракеты (ЗУР), не способны обеспечить поражение низколетящих ПКР с требуемой вероятностью. Только при использовании радиолокационного самонаведения на конечном участке полета появляется возможность решить задачу поражения низколетящих над морем ПКР с требуемой вероятностью.

При использовании радиолокационного самонаведения для перехвата низколетящих целей важно определить влияние подстилающей морской поверхности на угловые измерения активной радиолокационной головки самонаведения (АРГС).

Проблема влияния подстилающей морской поверхности на угловые измерения радиолокационной головки при самонаведении на низколетящие над морем цели рассмотрена во многих публикациях, в том числе в статьях автора: «Определение дальности углового разрешения радиолокационной головкой самонаведения низколетящих над морем целей» (Радиотехника, 2001, № 12); «Построение алгоритмов управления зенитной ракетой с активной радиолокационной головкой самонаведения при наведении на низколетящие цели на фоне подстилающей морской поверхности» (Полет, 2015, № 10).

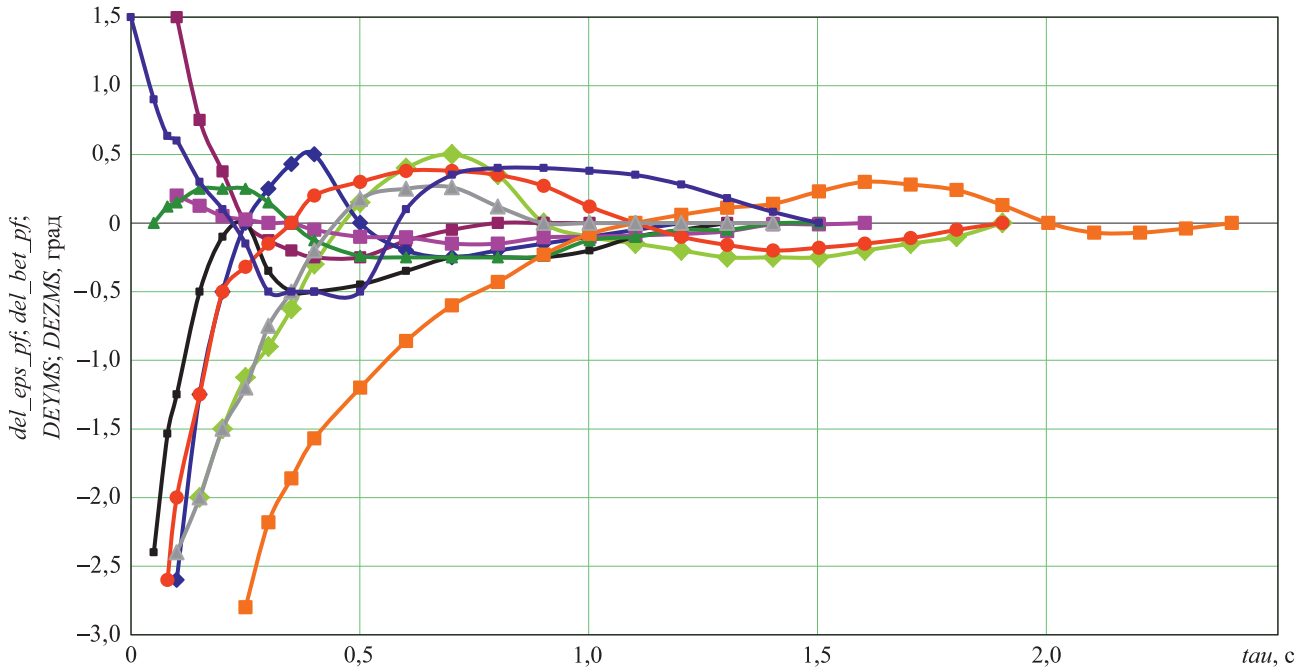
В «Справочнике по радиолокации» М. Скольника [1] в разд. 8.7 «Теория отражения радиолокационных сигналов от морской поверхности» отмечено, что создать достаточно реалистическую модель моря оказалось очень трудно.

В настоящей статье, соглашаясь с мнением М. Скольника, автор не пытается построить радиолокационную модель моря, а ставит своей задачей построение модели влияния подстилающей морской поверхности на угловые измерения радиолокационной головки самонаведения.

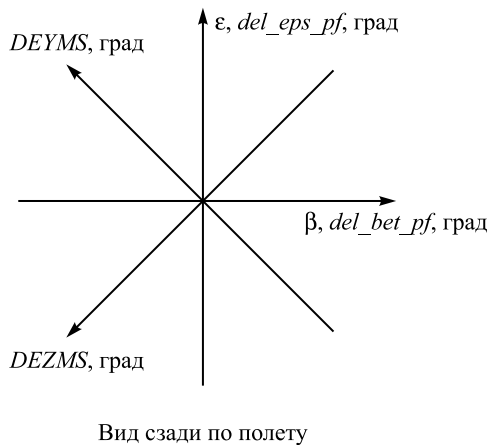
Эта задача решалась на основе анализа натуральных экспериментов одной из зенитных управляемых ракет с АРГС при самонаведении на низколетящие над морской поверхностью цели. Ниже приведены материалы натуральных экспериментов.

Для анализа были использованы телеметрические записи угловых отклонений линии визирования цели от оси диаграммы направленности антенны АРГС в той плоскости, где они оказались наибольшими:  $del\_eps\_pf$ ;  $del\_bet\_pf$  (в вертикальной и горизонтальной плоскостях) или  $DEYMS$ ,  $DEZMS$  (в наклонных плоскостях).

Угловые отклонения линии визирования цели от оси диаграммы направленности антенны АРГС в зависимости от времени, оставшегося до точки встречи  $\tau$ , представлены на рис. 1. Угловые отклонения линии визирования цели от оси диаграммы направленности антенны АРГС измерялись в двух системах координат (рис. 2). Обозначения на рис. 2 соответствуют обозначениям, приведенным на рис. 1.



**Рис. 1.** Угловые отклонения линии визирования цели от оси диаграммы направленности антенны АРГС:   
 —  $del\_eps\_pf\_1$ ; —  $del\_bet\_pf\_3$ ; —  $del\_eps\_pf\_4$ ; —  $del\_bet\_pf\_4$ ; —  $del\_eps\_pf\_5$ ;   
 —  $del\_eps\_pf\_6$ ; —  $del\_eps\_pf\_7$ ; —  $del\_eps\_pf\_8$ ; —  $del\_eps\_pf\_10$ ; —  $DEYMS\_2$



**Рис. 2.** Угловые отклонения линии визирования цели от оси и диаграммы направленности антенны АРГС

По результатам анализа натурных экспериментов с исследуемой ракетой построена «модель влияния подстилающей морской поверхности на угловые измерения активной радиолокационной головки самонаведения».

Угловые отклонения оси диаграммы направленности антенны АРГС от направления на цель пропорциональны реализовавшемуся промаху, что следует из известных геометрических соотношений.

Величина промаха составляет

$$h_\epsilon = \omega_\epsilon V \tau^2,$$

$$h_\beta = \omega_\beta V \tau^2,$$

где  $h_\epsilon$ ,  $h_\beta$  – промахи по осям  $\epsilon$  и  $\beta$  соответственно;

$\omega_\epsilon$ ,  $\omega_\beta$  – проекции угловой скорости линии визирования на оси ( $\epsilon$ ,  $\beta$ );

$V$  – модуль относительной скорости сближения;

$\tau$  – время полета до точки встречи.

Угловые скорости линии визирования связаны с угловыми отклонениями оси антенны АРГС от направления на цель  $DEPS$ ,  $DBET$  соотношениями

$$\omega_\epsilon = DEPS \cdot DG,$$

$$\omega_\beta = DBET \cdot DG,$$

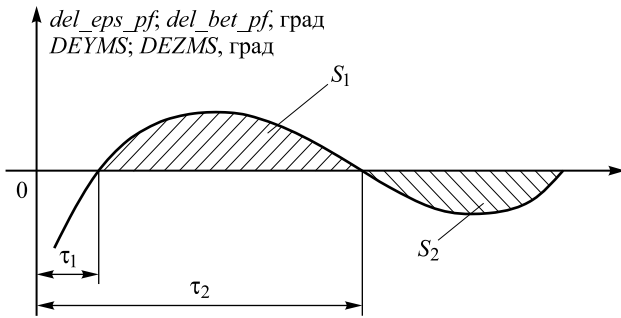
где  $DG$  – добротность АРГС.

Отсюда проекции промаха на соответствующие оси выражаются через соответствующие проекции угловых отклонений оси антенны АРГС соотношениями:

$$h_\epsilon = DEPS \cdot DG \cdot V \tau^2,$$

$$h_\beta = DBET \cdot DG \cdot V \tau^2.$$

На рис. 3 изображена типичная картина наведения ракеты на цель на конечном участке полета перед точкой встречи ( $\tau = 0$ ) в виде



**Рис. 3.** Кривая угловых отклонений линии визирования цели:

$S_1, S_2$  – площади под соответствующими участками кривой

кривой угловых отклонений линии визирования цели от оси диаграммы направленности антенны АРГС.

В качестве «определяющего фактора» принята разность

$$S_1\tau_1 - S_2\tau_2. \quad (1)$$

Смысл «определяющего фактора» заключается в следующем.

Команда управления, вызывающая ускорение ракеты  $W_{p\perp}$ , пропорциональна угловым отклонениям диаграммы направленности головки самонаведения от линии визирования цели, т. е.  $del\_eps\_pf, del\_bet\_pf$ :

$$W_{p\perp} \doteq del\_eps\_pf, del\_bet\_pf. \quad (2)$$

Произведение ускорения ракеты на интервал времени его действия пропорционально создаваемой составляющей скорости ракеты нормальной к линии визирования:

$$S_1, S_2 \doteq W_{p\perp}\tau = V_{p\perp}. \quad (3)$$

Произведение  $S_1\tau_1$ , где  $\tau_1$  – время, оставшееся до точки встречи (см. рис. 3), пропорционально произведению  $V_{p\perp}\tau_1$ :

$$S_1\tau_1 \doteq V_{\perp 1}\tau_1. \quad (4)$$

Здесь  $V_{\perp 1}\tau_1$  вызывает промах  $h_1$ . Аналогично  $V_{\perp 2}\tau_2$  вызывает промах  $h_2$ .

Эти соотношения поясняют смысл «определяющего фактора», который заключается в том, что он пропорционален результирующему промаху:

$$|S_1\tau_1 - S_2\tau_2| \doteq h_1 - h_2 = h. \quad (5)$$

Величины реализовавшихся в экспериментах промахов приведены в таблице в относительном виде  $\bar{h}$  (отнесены к величине максимального реализовавшегося промаха).

Результаты экспериментов по самонаведению на низколетящую цель и значение «определяющего фактора»

№ эксперимента	Высота полета цели, м	$ S_1\tau_1 - S_2\tau_2 $	$\bar{h}$
1	232	0,052800	1,000
2	50	0,011000	0,208
3	200	0,016200	0,396
4	83	0,022500	0,438
5	290	0,026500	0,497
6	250	0,024000	0,466
7	68	0,026000	0,498
8	50	0,041400	0,863
9	300	0,005760	0,122
10	200	0,042800	0,859
11	75	0,001837	0,030

Представим относительные величины промахов, реализовавшихся в экспериментах, в зависимости от «определяющего фактора», и аппроксимирующую их функцию.

Аппроксимирующая функция имеет вид

$$\bar{h} = 20|S_1\tau_1 - S_2\tau_2|. \quad (6)$$

Для оптимального алгоритма управления величина относительного промаха связана с «определяющим фактором» соотношением

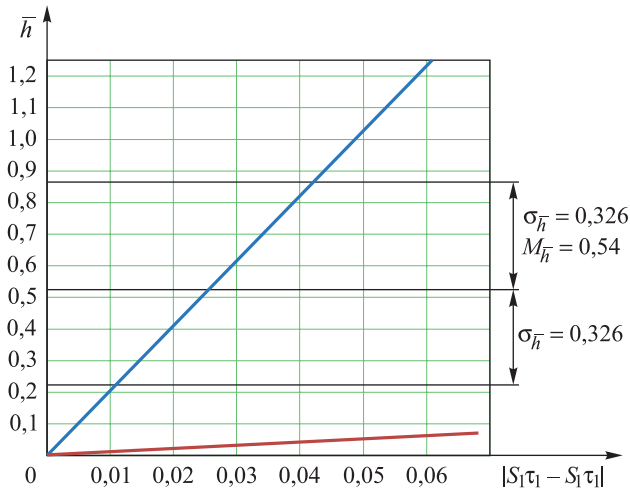
$$\bar{h} = 1,05|S_1\tau_1 - S_2\tau_2|. \quad (7)$$

Абсолютные величины реализовавшихся промахов зависят не только от «определяющего фактора», но и от быстродействия системы стабилизации и алгоритма управления.

ЗУР, использованные в экспериментах, обладают высоким быстродействием системы стабилизации, однако алгоритм управления ЗУР не является оптимальным.

Графическое изображение этих функций (6), (7) и величины относительных промахов, реализовавшиеся в пусках, представлены на рис. 4.

Телеметрические данные экспериментов позволили определить статистические характеристики промаха:



**Рис. 4.** Зависимости относительного промаха  $\bar{h}$  от «определяющего фактора»:

— для экспериментальной ракеты, согласно (6),  $\bar{h} = 20|S_1\tau_1 - S_2\tau_2|$ ; — для ракеты с «оптимальным» алгоритмом управления, согласно (7),  $\bar{h} = 1,052|S_1\tau_1 - S_2\tau_2|$

- математическое ожидание относительного промаха

$$M_{\bar{h}} = 0,54; \quad (8)$$

- среднеквадратическое значение относительного промаха

$$\sigma_{\bar{h}} = 0,326. \quad (9)$$

Это дало возможность, используя зависимость (6), перейти к статистическим характеристикам «определяющего фактора»:

$$\begin{cases} M|S_1\tau_1 - S_2\tau_2| = 0,0265; \\ \sigma|S_1\tau_1 - S_2\tau_2| = 0,015. \end{cases} \quad (10)$$

Выражение (10), по сути, представляет собою модель влияния подстилающей морской поверхности на точность самонаведения.

Для оптимального алгоритма управления зависимость относительного промаха от «определяющего фактора» выражается соотношением (7), а статистические оценки точности самонаведения составляют:

$$\begin{aligned} M_{\bar{h}} &= 0,05; \\ \sigma_{\bar{h}} &= 0,108. \end{aligned} \quad (11)$$

Зависимость относительного промаха от «определяющего фактора» (рис. 4) позволяет определить понятие «сильного» и «слабого» влияния подстилающей морской поверхности на угловые измерения АРГС и в результате на точность самонаведения на низколетящие цели.

Если принять в качестве критерия «сильного» влияния воды величину «определяющего фактора», вызывающего относительный промах  $\bar{h} \geq 0,2$ , то это будет означать, что «сильное» влияние воды проявляется при величине «определяющего фактора», превышающего значение 0,01, т. е. соответствующего

$$|S_1\tau_1 - S_2\tau_2| \geq M - \sigma. \quad (12)$$

Таким образом, приведенные в данной работе материалы анализа экспериментальных работ ЗУР с активной радиолокационной головкой при самонаведении на низколетящие над морской поверхностью цели дали возможность выявить фактор, определяющий влияние подстилающей морской поверхности на угловые измерения АРГС и в итоге на точность самонаведения – «определяющий фактор».

Это позволило построить статистическую модель влияния подстилающей морской поверхности на угловые измерения активной радиолокационной головки самонаведения и выработать рекомендации по построению алгоритма управления.

#### Список литературы

1. Справочник по радиолокации / под ред. М. Скольникова. М.: Советское радио, 1976.

**Поступила 21.10.19**

**Мизрохи Владимир Яковлевич** – доктор технических наук, профессор, советник генерального конструктора АО МКБ «Факел имени академика П. Д. Грушина», г. Химки, Московская обл.

Область научных интересов: управление зенитными ракетами, динамика полета зенитных управляемых ракет.



## **The effect of the underlying sea surface on the angular measurements of the radar homing head**

For the first time, based on the results of anti-aircraft missile launches against anti-ship missiles flying low over the sea surface, an attempt was made to build a model of the effect of the underlying sea surface on the angular measurements of an active radar homing head. The factor determining this effect is revealed, and it is shown that this factor determines the accuracy of homing, i.e. it is the determining factor.

*Keywords:* anti-aircraft missile system, anti-aircraft guided missile, anti-ship missile, radar head, radiation pattern, active homing head.

**Mizrokhi Vladimir Yakovlevich** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Advisor to the General Designer, Engineering Design Bureau “Fakel” named after Academician P. D. Grushin, Joint Stock Company, Khimki, Moscow Region.  
Science research interests: anti-aircraft missile control, flight dynamics of anti-aircraft guided missiles.