



УДК 623.55.023
ГРНТИ 47.49.29

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

*А.А. ИСПУЛОВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
С.Л. ИВАНОВ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
А.Ю. ТРУЩИНСКИЙ, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
А.Н. ДЕМИН, кандидат технических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

В статье рассмотрены три модели относительного движения воздушной цели. На основе данных полунатурного моделирования воздушного боя определена эффективная ширина спектра случайных процессов угловой скорости, углового ускорения и рывка при выполнении воздушной цели типовых маневров. Анализ результатов моделирования позволяет утверждать о влиянии не только выбранной модели относительного движения воздушной цели на значение коэффициента маневренности, но и типа выполняемого маневра воздушной цели.

Ключевые слова: воздушная цель; типовые маневры; угловое ускорение; рывок; спектральная плотность.

AIR TARGETS MOVEMENT MODELS PARAMETERS DETERMINATION BASED ON SPECTRAL ANALYSIS

*A.A. ISPULOV, Candidate of Technacal Sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
S.L. IVANOV, Candidate of Technacal Sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
A.YU. TRUSHHINSKIJ, Candidate of Technacal Sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)
A.N. DEMIN, Candidate of Technacal Sciences
MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)*

The article describes three models of the air target relative movement. Angular velocity, angular acceleration and jerk random processes spectrum effective width is determined based on the semi-natural modeling of air combat when performing air target typical maneuvers. Analysis of the simulation results allows us to assert the influence not only of the air target selected relative movement model on the value of the maneuverability coefficient, but also the air target maneuver type.

Keywords: air target; typical maneuvers; angular acceleration; snatch; spectral density.

В условиях ведения воздушного боя (ВБ) одним из направлений повышения эффективности истребителей является увеличение количества одновременно поражаемых воздушных целей (ВЦ) [1]. Удовлетворение этого требования возможно за счет получения достаточно полной информации о параметрах движения ВЦ при работе авиационных прицельных систем (АПРС) истребителей в режиме обзора пространства.



В настоящее время алгоритмы оценки координат и параметров движения ВЦ на истребителях реализованы на основе α, β -фильтрации как при высоком темпе обновления информации о цели, так и при низком (более 0,5 с). Однако низкий темп обновления информации о цели является недостаточно эффективным и не обеспечивает прицельную стрельбу по ВЦ [2]. Одним из возможных путей преодоления указанного недостатка является повышение точности экстраполяции координат и параметров движения ВЦ за счет использования моделей пространственного перемещения целей с уточненными параметрами, что является оправданным по мере увеличения производительности бортовых вычислителей. В работе [3] было проведено исследование по определению коэффициента маневренности для модели четвертого порядка (модель Сонга) только по каналу дальности. Однако оценка угловых координат играет не маловажное значение при стрельбе (пуске) средств поражения.

Цель работы – определение параметров моделей движения ВЦ по угловым координатам в условиях ВБ при низком темпе обновления информации о цели.

Решение задачи определения параметров моделей будем осуществлять при следующих допущениях. Примем, что основными пространственными маневрами ВЦ в ВБ являются маневры типа «Боевой разворот» и «Косая петля», основными маневрами в вертикальной плоскости – маневры типа «Переворот» и «Петля Нестерова», а типовым маневром в горизонтальной плоскости является «Виразж».

Рассмотрим радиолокационный канал сопровождения ВЦ по угловым координатам, как один из основных источников информации, используемой в алгоритмах стрельбы (пуска) средств поражения. При этом, правило формирования экстраполированной оценки угловой координаты до ВЦ будем использовать для модели второго порядка [2], модели Зингера [4], модели Сонга [3]. Для каждой модели коэффициент маневренности ВЦ соответствует ширине спектральной плотности случайных процессов угловой скорости $\omega(t)$, углового ускорения $j(t)$ и рывка $q(t)$.

В интересах определения параметров моделей движения ВЦ требуется определить значения коэффициента маневренности при совершении ВЦ установленных эволюций в пространстве, как одного из наиболее значимых.

Для получения данных о перемещении ВЦ проведено полунатурное моделирование типовых маневров на пилотажном стенде [3]. На основе данных моделирования определялось угловое положение ВЦ с применением известных тригонометрических соотношений:

$$\phi_2^s = a \cos \left(\frac{X^s}{\sqrt{(X^s)^2 + (Z^s)^2}} \right); \quad \phi_6^s = a \cos \left(\frac{X^s}{\sqrt{(X^s)^2 + (Y^s)^2}} \right), \quad (1)$$

где $s = \overline{1,5}$ - номер типа маневра ВЦ, причем $s = 1$ соответствует маневру «Виразж», $s = 2$ - маневру «Переворот», $s = 3$ - маневру «Петля Нестерова», $s = 4$ - маневру «Боевой разворот», $s = 5$ - маневру «Косая петля»; X, Y, Z - пространственные координаты ВЦ в земной системе координат.

Это позволило получить изменения углового положения ВЦ в горизонтальной ϕ_2^s и вертикальной плоскости ϕ_6^s для типовых маневров. Полученные реализации случайных процессов $\phi_2(t), \phi_6(t)$ достаточно длительные по времени, что позволяет принимать эти процессы эргодическими [5]. Количество отсчетов для типовых маневров, соответственно, составляет для: виража – $N=4783$; переворота – $N=1664$; петли Нестерова – $N=4295$; боевого разворота – $N=2879$; косой петли – $N=5788$, при этом обновление данных проводилось через каждую сотую секунды.



В дальнейшем для каждой реализации случайных процессов $\omega_{z,\theta}^s(t), j_{z,\theta}^s(t), q_{z,\theta}^s(t)$ рассчитывалась нормированная экспериментальная корреляционная функция по формуле:

$$r_{z,\theta}^s(\tau) = \frac{\int_0^T F_{z,\theta}^s(t) F_{z,\theta}^s(t-\tau) dt}{T \int_0^T [F_{z,\theta}^s(t)]^2 dt}, \quad (2)$$

где $F_{z,\theta}^s(t)$ – функция, представляющая один из случайных процессов $\omega_{z,\theta}^s(t), j_{z,\theta}^s(t), q_{z,\theta}^s(t)$; T – интервал наблюдения.

Экспериментальные корреляционные функции (2) случайных процессов угловой скорости, углового ускорения и рывка представлены в таблице 1. Красной линией обозначена нормированная корреляционная функция изменения угла в горизонтальной плоскости $r_z^s(\tau)$ и черной линией для изменения угла в вертикальной плоскости $r_\theta^s(\tau)$ соответственно для s -го типового маневра.

Анализ представленных результатов позволяет сделать вывод о наличии зависимости параметров экспериментальной корреляционной функции случайных процессов $\omega_{z,\theta}^s(t), j_{z,\theta}^s(t), q_{z,\theta}^s(t)$ от типа выполняемого маневра ВЦ. Это говорит о влиянии типового маневра ВЦ на значения параметров рассматриваемых моделей, что потребовало определения коэффициента маневренности.

Таблица 1 – Экспериментальные корреляционные функции

Выраж		
1	2	3
$\omega_{z,\theta}^s(t)$ 	$j_{z,\theta}^s(t)$ 	$q_{z,\theta}^s(t)$
Переворот		
$\omega_{z,\theta}^s(t)$ 	$j_{z,\theta}^s(t)$ 	$q_{z,\theta}^s(t)$



Продолжение таблицы 1

1	2	3
Петля Нестерова		
$\omega_{z,\theta}^s(t)$	$j_{z,\theta}^s(t)$	$q_{z,\theta}^s(t)$
Боевой разворот		
$\omega_{z,\theta}^s(t)$	$j_{z,\theta}^s(t)$	$q_{z,\theta}^s(t)$
Косая петля		
$\omega_{z,\theta}^s(t)$	$j_{z,\theta}^s(t)$	$q_{z,\theta}^s(t)$

Для этого, в результате прямого преобразования Фурье нормированных экспериментальных корреляционных функций $r_z^s(\tau)$ и $r_\theta^s(\tau)$ рассчитывались спектральные плотности случайных процессов, с использованием которых определялись значения коэффициента маневренности по формуле [3]:

$$kF_{z,\theta}^s = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} SF_{z,\theta}^s(f) df}{0,707}, \quad (3)$$

где $SF_{z,\theta}^s(f)$ – спектральная плотность случайных процессов $F_{z,\theta}^s(t)$.



Рассчитанные в соответствии с выражением (3) значения коэффициента маневренности приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные значения коэффициента маневренности

Модель движения воздушной цели	Плоскость наблюдения	Типовые маневры				
		Виращ	Переворот	Петля Нестерова	Боевой разворот	Косая петля
Модель второго порядка	Горизонтальная	0,13	0,087	0,198	0,086	0,238
	Вертикальная	0,096	0,161	0,106	0,135	0,09
Модель Зингера	Горизонтальная	1,291	0,245	0,478	0,26	1,392
	Вертикальная	0,097	1,197	0,119	0,152	0,443
Модель Сонга	Горизонтальная	1,369	0,454	0,539	0,828	1,449
	Вертикальная	0,235	0,621	0,12	0,637	0,208

Анализ представленных данных таблицы 2 подтверждает гипотезу о влиянии типа выполняемого маневра ВЦ на значение коэффициента маневренности. Это обусловлено различным значением коэффициента маневренности по следующим признакам: по плоскости наблюдения (горизонтальная и вертикальная) и по модели движения ВЦ для одного типового маневра. Однако есть и «идентичность» полученных данных, не превышающих значение $0,05 \text{ с}^{-1}$. В таблице 2 выделенными ячейками показана «идентичность» по плоскости наблюдения, а цветом – по моделям движения ВЦ при выполнении одного и того же маневра. По «идентичности» полученных значений коэффициента маневренности следует, что значения одинаковы только в двух случаях (для вираща и боевого разворота) по признаку плоскости наблюдения и в трех случаях (виращ, петля Нестерова и боевой разворот) по признаку модели движения ВЦ.

Таким образом, в работе, на основе спектральной обработки результатов полунатурного эксперимента определены значения параметров моделей, описывающих пространственное перемещение ВЦ в ВБ при выполнении типовых маневров. Анализ результатов позволяет утверждать, что тип выполняемого маневра ВЦ оказывает существенное влияние на значение коэффициента маневренности для модели второго порядка, модели Зингера и модели Сонга, ввиду их отличия. Применение данных моделей наряду с алгоритмами устранения априорной неопределенности относительно типа маневра ВЦ в АПрС истребителя обеспечит повышение эффективности применения средств поражения. Единственным вопросом остается уточнение влияния полученной «идентичности» значений коэффициента маневренности для некоторых маневров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канащенков, А.И. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения / А.И. Канащенков, В.И. Меркулов, О.Ф. Самарин. М.: ИПРЖР, 2002. 176 с.
2. Шатовкин, Р.Р. Моделирование функционирования систем управления вооружением истребителя в режиме радиолокационного молчания: монография / Р.Р. Шатовкин. Воронеж: Изд. ВАИУ, 2010. 328 с.
3. Испулов, А.А. Экстраполяция координат и параметров движения маневренной воздушной цели с использованием модели Сонга / А.А. Испулов, С.Л. Иванов, Н.П. Зledenный // Труды МАИ, Вып. № 85. 2016 (www.mai.ru/science/truy/ от 18.02.2018 г.).
4. Зингер, Р. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью / Р.Зингер // Зарубежная радиоэлектроника. 1971. №8. С. 40-57.
5. Тихонов, В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.



REFERENCES

1. Kanashhenkov, A.I. Oblik perspektivnykh bortovykh radiolokatsionnykh sistem. Vozmozhnosti i ogranicheniya / A.I. Kanashhenkov, V.I. Merkulov, O.F. Samarin. M.: IPRZHR, 2002. 176 p.
2. SHatovkin, R.R. Modelirovanie funktsionirovaniya sistem upravleniya vooruzheniem istrebitelya v rezhime radiolokatsionnogo molchaniya: monografiya / R.R. SHatovkin. Voronezh: Izd. VAIU, 2010. 328 p.
3. Ispulov, A.A. ENkstrapolyatsiya koordinat i parametrov dvizheniya manevrennoj voz-dushnoj tseli s ispol'zovaniem modeli Songa / A.A. Ispulov, S.L. Ivanov, N.P. Zledennyj // Trudy MAI, Vyp. № 85. 2016 (www.mai.ru /science/truy/ ot 18.02.2018 g.).
4. Zinger, R. Otsenka kharakteristik optimal'nogo fil'tra dlya slezheniya za pilotirue-moj tsel'yu / R.Zinger // Zarubezhnaya radioehlektronika. 1971. №8. P. 40-57.
5. Tikhonov, V.I. Statisticheskaya radiotekhnika / V.I. Tikhonov. M.: Radio i svyaz', 1982. 624 s.

© Испулов А.А., Иванов С.Л., Трущинский А.Ю., Демин А.Н., 2018

Испулов Аманбай Аватович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, ispulovy@yandex.ru

Иванов Станислав Леонидович, кандидат технических наук, преподаватель 101 кафедры авиационных радиоэлектронных комплексов, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Трущинский Алексей Юрьевич, кандидат технических наук, старший преподаватель 102 кафедры авиационных систем и комплексов радионавигации и радиосвязи, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Демин Андрей Николаевич, кандидат технических наук, заместитель начальника 81 кафедры эксплуатации комплексов авиационного вооружения (и прицельных систем), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.