


ОСНОВИ ТЕОРІЇ ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ

до параметрів стійкості
руху керованих ракет
класу «поверхня – повітря»
на гіперзвукових швидкостях

О. В. Боровик
В. В. Зубарєв
О. П. Ковтуненко
О. П. Коростельов



623.4
0-75
Друзі і колеги, дякую
за найкращі побажання
успехів в науці
авторів 

О. В. Боровик, В. В. Зубарєв,
О. П. Ковтуненко, О. П. Коростельов

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ

до параметрів стійкості
руху керованих ракет
класу "поверхня – повітря"
на гіперзвукових швидкостях



Монографія

БІБЛІОТЕКА ХУПС

№130216

НАВЧАЛЬНИЙ ФОНД

Київ
Книжкове видавництво
Національного авіаційного університету
2007

УДК 519.24.681.51
ББК Ц50
Б 54

*Розповсюджувати та тиражувати
без офіційного дозволу НАУ забороняється*

Рецензенти:

С.В. Лапицький, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил України)

І.Б. Чепков, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил України)

*Видання друкується за рішенням
вченої ради Національного авіаційного університету
Протокол № 2 від 21.03.2007*

Б 54 **Боровик О.В., Зубарев В.В., Ковтуненко О.П., Коростельов О.П.**
Основи теорії обґрунтування вимог до параметрів стійкості руху
керованих ракет класу “поверхня — повітря” на гіперзвукових швид-
костях: Навч. посібник. — К.: Книжкове вид-во НАУ, 2007. — 320 с.
ISBN 966-598-374-1

У монографії викладено методичний апарат загального аналізу динаміки механічних систем змінної маси, а також його розвиток для визначення силових та моментних характеристик динаміки керованих ракет при польоті з гіперзвуковою швидкістю.

Наведено результати розвитку досліджень за питаннями оцінки механічних коливальних систем змінної маси за наявності сил в'язкого, сухого тертя та реактивних сил. Запропоновано теоретичні основи комплексного обґрунтування вимог до параметрів стійкості руху керованих ракет класу “поверхня — повітря” з гіперзвуковою швидкістю. Монографія може бути корисною для студентів і аспірантів вищих технічних навчальних закладів, а також для фахівців відповідних науково-дослідних та науково-виробничих організацій.

Автори вдячні члену-кореспонденту Національної академії наук України Бабаку Віталію Павловичу ректору Національного авіаційного університету за надану допомогу в її підготовці.

УДК 519.24.681.51
ББК Ц50

ISBN 966-598-374-1

© О.В. Боровик, В.В. Зубарев,
О.П. Ковтуненко, О.П. Коростельов 2007
© НАУ, 2007

ВСТУП

Ракети класу “поверхня — повітря” широко застосовуються в різних галузях, насамперед для вирішення завдань метеорологічної розвідки, зондування повітряного простору і ліквідування повітряних об’єктів природного або штучного походження у разі виникнення відповідних загроз та інших завдань.

Відомо [115; 117], що основними показниками будь-якої технічної системи для вирішення вищезазначених завдань є точність та швидкодія. Близько п’ятдесяти відсотків забезпечення вимог до точності та швидкодії таких систем залежать від показників їх ракетних компонентів, передусім від швидкості руху ракет [117; 125].

Результати чисельних досліджень, у тому числі [3; 12; 28], свідчать про те, що серед низки технічних рішень, спрямованих на удосконалення ракетних систем, найефективнішим є перехід до використання ракет з гіперзвуковою швидкістю руху.

Найважче завдання на цьому шляху — це обґрунтування вимог до параметрів стійкості руху таких ракет, тому що відомі методи досліджень стійкості руху ракет класу поверхня-повітря для ракет із гіперзвуковою швидкістю прийнятні лише частково [28; 32; 67; 68; 81].

У монографії запропоновано науково-методичний апарат аналізу динаміки механічних систем змінної маси з урахуванням впливу сил, що з системою аналогій «коливання вантажу змінної маси — коливання керованої ракети на траєкторії» визначають силові та моментні характеристики динаміки керованих ракет під час польоту із гіперзвуковою швидкістю. Апарат відрізняється від відомих тим, що диференціальні рівняння динаміки таких систем розв’язуються у квадратурах, що забезпечує значне підвищення вірогідності отримуваних оцінок.

Крім того, запропонований метод розв’язання рівнянь руху механічних систем змінної маси дає можливість враховувати особливості впливу наявних сил точно, а не приблизно, як це

здійснювалося на основі заміни еквівалентними системами з використанням енергетичних методів.

Наведені результати подальшого розвитку науково-методичного апарату енергетичної оцінки механічних коливальних систем змінної маси за наявності сил в'язкого і сухого тертя та реактивних сил, що дає змогу давати не лише енергетичну оцінку наявних у системі сил, а й зводити нелінійну задачу про коливання таких систем до лінійної інтерпретації.

Викладені теоретичні основи комплексного обґрунтування вимог до параметрів системи "тіло — середовище", що визначають стійкість руху керованих ракет із гіперзвуковою швидкістю.

З метою забезпечення понятійного сприймання матеріалів монографії її теоретичні положення розглянуті на прикладі зенітних керованих ракет (ЗКР).



ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень та позначень	3
Вступ	5
Розділ 1. Аналіз існуючого методичного апарату дослідження динаміки просторового руху керованих ракет і обґрунтування напрямів його розвитку для ракет із гіперзвуковою швидкістю	7
1.1. Аналіз існуючого методичного апарату дослідження динаміки просторового руху керованих ракет.....	7
1.2. Напрями розвитку науково-методичного апарату дослідження динаміки просторового руху керованих ракет із гіперзвуковою швидкістю.....	19
Розділ 2. Математична модель просторового руху керованих ракет із гіперзвуковою швидкістю польоту.....	21
2.1. Аналіз сил і моментів, що діють на керовану ракету при її польоті із гіперзвуковою швидкістю	22
2.1.1. Аеродинамічні сили та моменти	22
2.1.2. Зміна сили тяги та ваги на траєкторії.....	33
2.1.3. Керуючі сили та моменти.....	35
2.2. Математична модель просторового руху керованої ракети, виявлення параметрів, що визначають її динамічні властивості.....	36
2.3. Оцінка стійкості просторового руху керованої ракети з гіперзвуковою швидкістю при впливові збурень.....	46
Розділ 3. Методичний апарат дослідження параметричних коливань руху керованих ракет з гіперзвуковою швидкістю	53
3.1. Формалізація процесів коливань та зміни маси	54
3.2. Методика аналізу динаміки коливань об'єктів змінної маси.....	64
3.2.1. Аналіз поведінки системи спадної маси при урахуванні сил в'язкого тертя	64
3.2.2. Аналіз поведінки механічної системи спадної маси при дії на неї сили в'язкого тертя і реактивної сили.....	71
3.2.3. Вплив сухого тертя на систему спадної маси.....	81
3.2.4. Аналіз поведінки механічної системи спадної маси при дії на неї сили сухого тертя і реактивної сили.....	97

3.2.5. Аналіз поведінки механічної системи спадної маси при сумісній дії сил в'язкого та сухого тертя і реактивних сил.....	106
3.3. Експериментальне підтвердження особливостей впливу сухого тертя на коливальний процес механічної системи з використанням аналогії «сила — напруга».....	113
3.3.1. Аналіз можливості застосування аналогії «сила—напруга» для механічних систем другого порядку з сухим тертям електричного контуру зі стабілітроном.....	114
3.3.2. Експериментальне підтвердження особливостей впливу сухого тертя на коливальний процес механічної системи.....	122
3.4. Енергетична оцінка динаміки коливань об'єктів змінної маси.....	127
3.4.1. Убування енергії при спадній масі.....	128
3.4.2. Випадок урахування в'язкого тертя.....	134
3.4.3. Вплив в'язкого тертя і реактивних сил на витрату енергії.....	145
3.4.4. Урахування сил сухого тертя.....	149
3.4.5. Урахування сумісної дії сухого тертя та реактивних сил.....	156
3.4.6. Енергетична оцінка дії в'язкого і сухого тертя та реактивних сил при коливанні тіл спадної маси.....	161
Розділ 4. Обґрунтування вимог до параметрів стійкості руху керованих ракет з гіперзвуковою швидкістю та потенційна оцінка ефективності їх реалізації.....	166
4.1. Обґрунтування вимог до параметрів системи «тіло – середовище», що визначають стійкість руху керованих ракет з гіперзвуковою швидкістю.....	166
4.2. Оцінка величини відхилення керованої ракети від кінематичної траєкторії.....	176
4.3. Оцінка рівня реалізації вимог до параметрів забезпечення стійкості руху керованих ракет з гіперзвуковою швидкістю.....	182
Глава 5. Оцінка впливу на характеристики керованих ракет використання газодинамічних способів їх управління.....	196
5.1. Вплив газодинамічного способу управління на збільшення зони поразки.....	196
5.1.1. Наближення ближньої границі зони поразки.....	196
5.1.2. Збільшення верхньої границі зони поразки.....	201

5.1.3. Збільшення дальності до дальньої границі зони поразки.....	202
5.2. Вплив газодинамічного способу управління ракетами на покращення їх точнісних характеристик.....	205
5.2.1. Зменшення похибок.....	205
5.2.2. Зменшення промаху.....	208
5.3. Вплив на точнісні характеристики ракет використання керуючих двигунів.....	210
5.4. Вплив змін характеристик ракет на узагальнений показник ефективності.....	215
Глава 6. Методичний апарат оцінки ефективності використання керованих ракет з гіперзвуковою швидкістю у складі ракетних комплексів та систем	218
6.1. Напівмарківська модель функціонування ракетного комплексу (системи).....	219
6.2. Марківська модель функціонування ракетного комплексу (системи).....	229
6.3. Імітаційна модель функціонування ракетного комплексу (системи).....	251
Додаток А	256
Додаток Б.....	259
Додаток В.....	270
Додаток Г	279
Додаток Д	282
Додаток Е.....	286
Додаток Ж.....	294
Додаток З.....	299
Додаток І.....	301
Додаток К.....	303
Список використаних джерел.....	310

Навчальне видання

БОРОВИК Олег Васильович
ЗУБАРЄВ Валерій Володимирович
КОВТУНЕНКО Олексій Петрович
КОРОСТЕЛЬОВ Олег Петрович

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ ОБҐРУНТУВАННЯ
ВИМОГ ДО ПАРАМЕТРІВ СТІЙКОСТІ
РУХУ КЕРОВАНИХ РАКЕТ КЛАСУ
“ПОВЕРХНЯ — ПОВІТРЯ”
НА ГІПЕРЗВУКОВИХ ШВИДКОСТЯХ**

Монографія

Коректор Л. Тютюник
Художник обкладинки Т. Зябліцева
Верстка Є. Нестеренко

Підп. до друку 06.07.06. Формат 60x84/16. Папір офсет. № 1.
Гарнітура Тип Таймс. Друк офсет. Ум. друк. арк. 18,6.
Обл.-вид. арк. 20,0. Наклад 500 прим. Зам. № 07-172.4

Книжкове видавництво Національного авіаційного університету
03058, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи (серія ДК, № 977 від 05.07.2002)
Гел. (044) 406-71-33. Тел./факс: (044) 406-78-33
E-mail: publish@nau.edu.ua

Друк СПД Богданов В. О.
03126, м. Київ, вул. М. Донця, буд. 12, кв. 27