

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

РАДІОЛОКАЦІЙНІ ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ



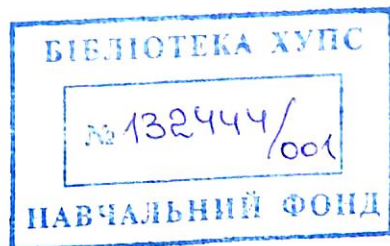
ХАРКІВ
2021

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

РАДІОЛОКАЦІЙНІ ЗАСОБИ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

Підручник

За загальною редакцією
доц., старшого наукового співробітника,
канд. техн. наук І. І. Сачука



Харків
2021

УДК 681.5.623.762+621.396.963.8:623.762 (075.8)

P15

*Затверджено до видання як підручник
вченою радою Харківського національного
університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба
(протокол № 19 від 28.12.2018)*

Автори: І. І. Сачук, В. Ш. Хісматулін, А. С. Чопенко, С. В. Бондаренко,
О. В. Калита, П. С. Куш, А. О. Ковальчук, О. О. Сосунов

Рецензенти: О. В. Барабаш, доктор технічних наук, професор,
В. М. Биков, доктор технічних наук, професор,
В. І. Мірненко, доктор технічних наук, професор

Радіолокаційні засоби та системи керування зенітного ракетного озброєння : підручник / [І. І. Сачук, В. Ш. Хісматулін, А. С. Чопенко та ін.]; за заг. ред. І. І. Сачука. – Х. : ХНУПС, 2021. – 224 с.

Викладені принципи побудови систем автоматичного керування, методи математичного опису неперервних дійнь і неперервних систем автоматичного керування. Також розглянуті методи аналізу стійкості та якості функціонування систем автоматичного керування в перехідному та ustalеному режимах і принципи дії типових радіолокаційних засобів зенітного ракетного озброєння.

Підручник призначений для забезпечення навчальних дисциплін "Радіолокаційні засоби та системи керування зенітного ракетного озброєння", "Теорія систем автоматичного керування зенітного ракетного озброєння", "Теорія автоматичного управління" і ряду інших навчальних дисциплін, які вивчаються курсантами та студентами Харківського національного університету Повітряних сил імені Івана Кожедуба і студентами радіотехнічних та електромеханічних спеціальностей політехнічних і аерокосмічних університетів.

УДК 681.5:623.762+621.396.963.8:623.762 (075.8)

© Сачук І. І., Хісматулін В. Ш., Чопенко А. С.,
Бондаренко С. В., Калита О. В., Куш П. С.,
Ковальчук А. О., Сосунов О. О., 2021
© Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2021

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ПЕРЕДМОВА.....	8
ВСТУП.....	9
1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУ- ВАННЯ.....	11
1.1. Основні поняття теорії автоматичного керування.....	11
1.2. Види алгоритмів функціонування систем автоматичного керу- вання.....	13
1.3. Функціональні блоки та функціональна структура САК. Прин- ципи автоматичного керування.....	14
1.4. Види діянь у САК. Класифікація САК за видами діянь.....	19
Контрольні питання.....	22
2. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС НЕПЕРЕРВНИХ ДІЯНЬ.....	24
2.1. Математичний опис неперервних діянь у часовій області.....	24
2.2. Математичний опис неперервних діянь в області зображень.....	26
Контрольні питання.....	28
3. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС НЕПЕРЕРВНИХ СИСТЕМ АВТОМА- ТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	29
3.1. Поняття математичної моделі САК і форми її подання.....	29
3.2. Інерційні та безінерційні САК. Поняття стану системи.....	30
3.3. Стаціонарні та нестаціонарні САК.....	32
3.4. Лінійні та нелінійні САК. Властивості лінійних систем. Лінеа- ризація слабконелінійних систем.....	32
3.5. Рівняння “вхід-вихід” лінійних стаціонарних неперервних САК. Поняття диференціального оператора передачі.....	36
3.6. Часові характеристики.....	38
3.6.1. Імпульсна характеристика та її використання для скла- дання оператора “вхід-вихід”.....	38
3.6.2. Перехідна характеристика та її зв’язок з імпульсною характеристикою.....	40
3.7. Передаточна функція.....	41
3.8. Частотні характеристики.....	45
3.8.1. Комплексна частотна характеристика та її використання для складання оператора “вхід-вихід”.....	45
3.8.2. Зв’язок між частотними характеристиками.....	47
Контрольні задачі та питання.....	51

4. ЕЛЕМЕНТАРНІ ЛАНКИ.....	55
4.1. Поняття елементарної ланки.....	55
4.2. Підсилювальна ланка.....	57
4.3. Інтегруюча ланка.....	60
4.4. Диференціююча ланка.....	62
4.5. Інерційна (аперіодична) ланка.....	66
4.6. Форсууюча ланка.....	71
4.7. Коливальна ланка.....	74
4.8. Форсууюча ланка другого порядку.....	83
4.9. Ланка запізнювання.....	86
Контрольні задачі та питання.....	87
5. СХЕМИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ І ОСНОВНІ РІВНЯННЯ НЕПЕРЕРВНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	90
5.1. Подання математичної моделі САК у вигляді з'єднання динамічних ланок. Види з'єднань динамічних ланок.....	90
5.2. Поняття стандартної одноконтурної схеми математичної моделі САК. Перетворення схеми математичної моделі САК довільної конфігурації до стандартного одноконтурного вигляду....	93
5.3. Основні рівняння лінійної стаціонарної САК.....	98
5.4. Логарифмічні частотні характеристики послідовного з'єднання елементарних ланок.....	107
Контрольні задачі та питання.....	114
6. АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	121
6.1. Загальна характеристика задачі аналізу САК.....	121
6.2. Поняття стійкості та умови стійкості САК.....	122
6.3. Алгебраїчний критерій Гурвіца.....	125
6.4. Логарифмічний частотний критерій стійкості.....	130
6.5. Визначення запасів стійкості САК.....	134
Контрольні задачі та питання.....	135
7. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ САК У ПЕРЕХІДНОМУ РЕЖИМІ.....	138
7.1. Основні властивості руху стійкої САК. Усталений і перехідний режими роботи САК.....	138
7.2. Показники якості функціонування САК у перехідному режимі..	140
7.3. Загальна характеристика методів аналізу якості функціонування САК у перехідному режимі.....	141
7.4. Прямі методи визначення показників якості функціонування САК у перехідному режимі.....	143
7.5. Частотний метод визначення показників якості функціонування САК у перехідному режимі.....	148
Контрольні задачі та питання.....	152

8. АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ САК В УСТАЛЕНОМУ РЕЖИМІ.....	155
8.1. Складові помилки САК.....	155
8.2. Розрахунок систематичної помилки САК.....	157
8.3. Режими роботи та складові помилки САК.....	165
8.4. Статичні та астатичні САК.....	166
8.5. Розрахунок дисперсії флуктуаційної помилки САК.....	170
8.6. Поняття ефективної смуги пропускання САК.....	179
8.7. Оптимізація параметрів САК при випадкових зовнішніх діяннях.....	182
Контрольні задачі та питання.....	183
9. ПРИНЦИПИ ДІЇ ТИПОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ.....	188
9.1. Загальна характеристика радіолокаційних засобів.....	188
9.2. Системи автоматичного слідкування за напрямком приходу радіохвиль.....	192
9.2.1. Призначення і загальна функціональна структура систем автоматичного слідкування за напрямком приходу радіохвиль.....	192
9.2.2. Основні типи пеленгаційних пристроїв.....	194
9.2.3. Основні типи виконавчих пристроїв.....	194
9.3. Системи автоматичної часової селекції сигналів.....	195
9.4. Системи автоматичного керування частотою і фазою електричних коливань.....	199
9.4.1. Супергетеродинний метод побудови радіоприймальних пристроїв.....	199
9.4.2. Функціональна схема та принцип дії системи автопідстройки частоти гетеродина.....	200
Контрольні питання.....	203
ДОДАТКИ.....	205
Додаток А. Основні властивості та теореми перетворення Лапласа.....	205
Додаток Б. Таблиця перетворень Лапласа.....	206
Додаток В. Коефіцієнти динамічної помилки.....	207
Додаток Г. Інтеграли J_n	208
Додаток Д. Деякі функції пакета Control System програмної оболонки MATLAB.....	209
Додаток Е. Радіолокаційні засоби зенітного ракетного озброєння.....	213
ЛІТЕРАТУРА.....	216
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	220

ПЕРЕДМОВА

Підручник призначений для забезпечення навчальних дисциплін "Радіолокаційні засоби та системи керування зенітного ракетного озброєння", "Теорія систем автоматичного керування зенітного ракетного озброєння", "Теорія автоматичного управління" і ряду інших навчальних дисциплін, що вивчаються при підготовці курсантів та студентів у галузі знань 17 "Електроніка та телекомунікації" за спеціальністю 172 "Телекомунікації та радіотехніка", у галузі знань 14 "Електрична інженерія" за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка", у галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування" за спеціальністю 141 "Метрологія та вимірювальна техніка військ (сил)", у галузі знань 12 "Інформаційні технології" за спеціальністю 123 "Комп'ютерна інженерія", а також студентів радіотехнічних та електромеханічних спеціальностей політехнічних і аерокосмічних університетів на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти.

У підручнику викладені принципи побудови систем автоматичного керування, методи математичного опису неперервних діянь і неперервних систем автоматичного керування в часовій і частотній областях, а також за допомогою перетворення Лапласа. Також наведені методи аналізу стійкості та якості функціонування систем автоматичного керування в перехідному та усталеному режимах і принципи дії типових радіолокаційних засобів зенітного ракетного озброєння.

Матеріал підручника викладений з урахуванням багаторічного досвіду викладання ряду навчальних дисциплін науково-педагогічними працівниками Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харківського військового університету та Військової інженерної радіотехнічної академії протиповітряної оборони імені Леоніда Говорова.

Підручник написаний за загальною редакцією кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника, доцента І. І. Сачука. Розділ 1 написаний кандидатом технічних наук, старшим науковим співробітником, доцентом І. І. Сачуком і кандидатом технічних наук, професором В. ІІІ. Хісматуліним. Розділи 2 – 5 написані С. В. Бондаренком, П. С. Кушом та кандидатом технічних наук, старшим науковим співробітником, доцентом І. І. Сачуком. Розділи 6 – 9 написані О. В. Калитою, кандидатом технічних наук, старшим науковим співробітником А. О. Ковальчуком, кандидатом технічних наук, старшим науковим співробітником, доцентом І. І. Сачуком, кандидатом технічних наук, старшим науковим співробітником, доцентом О. О. Сосуновим, кандидатом технічних наук, доцентом А. С. Чопенком і кандидатом технічних наук, професором В. ІІІ. Хісматуліним.

ВСТУП

Освітній процес – діяльність, що проводиться у вищому навчальному закладі через систему заходів, які спрямовані на передачу, засвоєння, примноження і використання знань, умінь та інших компетентностей у осіб, які навчаються, а також на формування гармонійно розвиненої особистості [1]. Здійснення освітнього процесу передбачає, що під час взаємодії між науково-педагогічними працівниками і тими, хто навчається (курсантами та студентами університету), останні набувають знань, умінь і навичок відповідно до змісту та результатів освітньої діяльності, визначених стандартом вищої освіти за певним рівнем вищої освіти в межах кожної спеціальності.

Предметом дослідження у підручнику є принципи побудови, математичний опис і аналіз систем автоматичного керування, які використовуються у всіх без винятку складних технічних об'єктах, зокрема в озброєнні та військовій техніці Повітряних Сил Збройних Сил України.

Зразки зенітного ракетного озброєння являють собою складні технічні системи, які містять у своєму складі не лише радіолокаційні станції, що здійснюють виявлення та супроводження повітряних цілей, а й зенітні керовані ракети та засоби, які здійснюють пуск і наведення зенітних керованих ракет на ціль. При цьому після захоплення цілі на супроводження більшість операцій виконується автоматично, без участі осіб бойових обслуг. Отже, зразки зенітного ракетного озброєння, по-перше, містять багато систем автоматичного керування різного призначення, складовими яких є велика кількість радіоелектронних та електромеханічних пристроїв різних принципів дії, і, по-друге, являють собою одну велику систему керування, що забезпечує поразення повітряних цілей.

Досвід збройних конфліктів кінця XX – початку XXI століть свідчить про те, що жоден із них не відбувся без початкової повітряної фази, у ході якої здійснювалося жорстке протиборство засобів повітряного нападу і засобів зенітного ракетного озброєння [2]. Причому кількість безпілотних літальних засобів, які застосовуються для завдання ударів, поступово збільшується. Більш того, відбувається трансформація мети їх застосування від звичайних розвідувальних дій до здійснення точкового ураження найважливіших об'єктів інфраструктури та угруповань військ.

Дослідження провідних військових фахівців свідчать, що протягом останніх десятиріч відбувся перехід від звичайних способів ведення збройної боротьби до гібридних війн, військова фаза яких становить близько 20 відсотків усіх способів боротьби [3]. Проте це не зменшує значення засобів зенітного ракетного озброєння в забезпеченні збереження еко-

номічного і військового потенціалу держави протягом військової фази гібридної війни і як засобу стримування початку цієї фази.

Досвід проведення антитерористичної операції та операції Об'єднаних сил свідчить про значний внесок засобів зенітного ракетного озброєння в забезпечення дій військ (сил) та збереження інфраструктури, оскільки вмiє застосування засобів зенітного ракетного озброєння забезпечило неможливість використання пілотованих засобів повітряного нападу та суттєво обмежило застосування безпілотних літальних апаратів [4–6].

Таким чином, знання принципів побудови та методів аналізу систем автоматичного керування як основних складових зенітного ракетного озброєння є запорукою правильного технічного обслуговування й ефективного застосування засобів зенітного ракетного озброєння, а отже, є основою ефективного виконання бойових завдань.

У підручнику викладені принципи побудови систем автоматичного керування, методи математичного опису неперервних діянь і неперервних систем автоматичного керування в часовій та частотній областях, а також за допомогою перетворення Лапласа. Також наведені методи аналізу стійкості та якості функціонування систем автоматичного керування у перехідному та усталеному режимах і принципи дії типових радіолокаційних засобів зенітного ракетного озброєння.