

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА



АЕРОДИНАМІКА ТА ДИНАМІКА
ПОЛЬОТУ ВЕРТОЛЬОТА

Частина 1

АЕРОДИНАМІКА ВЕРТОЛЬОТА

Харків
2017

533.6
А33

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

АЕРОДИНАМІКА ТА ДИНАМІКА ПОЛЬОТУ ВЕРТОЛЬОТА

Частина 1

АЕРОДИНАМІКА ВЕРТОЛЬОТА

Навчальний посібник

За загальною редакцією кандидата технічних наук,
доцента А. Г. Зінченка



Харків
2017



УДК 533.661(075.8)
ББК 22.253.3я7
А33

Рекомендовано до друку вченою радою
Харківського національного університету
Повітряних Сил (протокол № 10 від 23.06.2016)

Автори: А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала, С. А. Калкаманов,
І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко, Ю. І. Миргород

Рецензенти: А. В. Дубнюк, канд. техн. наук, доц.;
С. І. Смик, канд. техн. наук

Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота. Ч. 1. Аеродинаміка
А33 вертольота : навч. посіб. / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала
та ін. ; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х. : ХНУПС, 2017. – 308 с. : іл.

Навчальний посібник забезпечує вивчення дисципліни “Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота”, зокрема її частини, присвяченої загальній аеродинаміці та аеродинаміці вертольота і його частин.

Призначений для курсантів та слухачів Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, які навчаються за спеціалізацією “Льотна експлуатація та бойове застосування вертольотів”. Матеріал, наведений у посібнику, використовується також курсантами, які навчаються за спеціалізацією “Військові вертольоти, літаки та авіаційні двигуни” при вивченні дисципліни “Аеродинаміка літальних апаратів”.

Структура посібника відповідає навчальній програмі та послідовності викладання навчальної дисципліни в лекційному курсі. Посібник може використовуватися льотним та інженерно-технічним складом стройових частин Повітряних Сил і Арміїської Авіації Сухопутних військ Збройних Сил України.

УДК 533.661(075.8)
ББК 22.253.3я7

© Зінченко А. Г., Бурсала О. О., Бурсала О. Л.,
Калкаманов С. А., Ковтонюк І. Б., Сушко А. Л.,
Миргород Ю. І., 2017

© Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2017

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	3
ПЕРЕДМОВА.....	7
ВСТУП.....	9
1. ОСНОВНІ ЗАКОНИ АЕРОДИНАМІКИ	20
1.1. Основні параметри повітря.....	20
1.2. Рівняння Бернуллі	28
1.3. Рівняння нерозривності	32
1.4. Виникнення стрибків ущільнення.....	33
1.5. Розподіл тиску по поверхні тіл, які рухаються у повітрі.....	40
1.6. Межовий шар.....	47
Контрольні питання до розділу 1.....	53
Задачі до розділу 1	54
2. АЕРОДИНАМІЧНІ СИЛИ, МОМЕНТИ ТА ЇХ КОЕФІЦІЄНТИ	55
2.1. Взаємодія рухомих тіл з повітрям	55
2.2. Піднімальна сила	62
2.3. Опір та його складові	65
2.4. Поляра. Аеродинамічна якість	71
2.5. Момент тангажа, центр тиску, аеродинамічний фокус елемента лопаті	75
2.6. Вплив відносної товщини, кривизни, фокуса, радіуса затуплення носка, числа Рейнольдса на аеродинамічні характеристики профілю	82
2.7. Моделювання в аеродинаміці	89
Контрольні питання до розділу 2.....	95
Задачі до розділу 2	96
3. АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСУЧОГО ГВИНТА НА РЕЖИМАХ ОСЬОВОГО ОБТІКАННЯ.....	97
3.1. Геометричні та кінематичні параметри несучого гвинта	97
3.2. Взаємодія несучого гвинта з повітрям при осьовому обтіканні	109
3.3. Тяга і потужність несучого гвинта згідно з теорією ідеального гвинта при осьовому обтіканні	111
3.4. Теорія елемента лопаті. Трикутники швидкостей	114
3.5. Тяга несучого гвинта згідно з теорією елемента лопаті.....	118
3.6. Момент опору обертанню гвинта.....	120
3.7. Тяга реального гвинта.....	123

3.8. Необхідність об'єднаного керування кроком гвинта і потужністю силової установки.....	126
3.9. Коротка характеристика режимів висіння, вертикального підйому і зниження.....	128
Контрольні питання до розділу 3.....	132
Задачі до розділу 3.....	133
4. АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСУЧОГО ГВИНТА ВЕРТОЛЬОТА НА РЕЖИМАХ НАВКІСНОГО ОБТІКАННЯ	134
4.1. Особливості роботи несучого гвинта при навкісному обтіканні	135
4.2. Тяга вертолїтних гвинтів згідно з теорією ідеального гвинта при навкісному обтіканні	142
4.3. Теорія елемента лопаті при навкісному обтіканні гвинта з жорстким кріпленням лопатей	145
4.4. Недоліки несучого гвинта з жорстким кріпленням лопатей	153
4.5. Призначення горизонтального шарніра.....	154
4.6. Маховий рух лопатей	156
4.7. Компенсатор змаху	164
4.8. Необхідність застосування вертикального шарніра	167
4.9. Керування несучим гвинтом	171
Контрольні питання до розділу 4.....	175
Задачі до розділу 4.....	176
5. АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ВЕРТОЛЬОТА	177
5.1. Аеродинамічне компонування вертольота.....	177
5.2. Аеродинамічні характеристики рульового гвинта	185
5.3. Аеродинамічні характеристики фюзеляжу вертольота	194
5.4. Аеродинамічні характеристики крила вертольота	199
5.5. Аеродинамічні характеристики кіля вертольота	205
5.6. Аеродинамічне компонування навчального вертольота.....	207
Контрольні питання до розділу 5.....	208
Задача до розділу 5	209
6. АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТОЛЬОТА НА СТАЛИХ РЕЖИМАХ ПОЛЬОТУ	210
6.1. Сили та моменти, що діють на вертолїт на режимі висіння	210

6.2. Сили та моменти, що діють на вертоліт у поздовжньому русі	218
6.3. Сили та моменти, що діють на вертоліт у боковому русі	222
6.4. Бокові сили та моменти при відхиленні органів керування	225
6.5. Балансування вертольота Ми-2	226
6.6. Експлуатаційні фактори, що впливають на аеродинамічні характеристики вертольота	235
Контрольні питання до розділу 6.....	237
Задачі до розділу 6	238
7. АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТОЛЬОТА ПРИ НЕУСТАЛЕНОМУ РУСІ.....	239
7.1. Поняття про неусталений рух. Кінематичні параметри.....	239
7.2. Демпфірувальні властивості елементів конструювання вертольота.....	244
7.3. Демпфірувальні властивості несучого гвинта вертольота.....	250
7.4. Демпфірувальні властивості рульового гвинта вертольота.....	259
Контрольні питання до розділу 7.....	260
Задачі до розділу 7.....	261
8. ОСОБЛИВІ РЕЖИМИ РОБОТИ НЕСУЧОГО ГВИНТА	262
8.1. Зривні режими обтікання несучого гвинта	262
8.2. Особливості роботи несучого гвинта вертольота біля межевої поверхні	272
8.3. Вплив геометричних та кінематичних параметрів на ефект "повітряної подушки".....	281
8.4. Режим вихрового кільця.....	286
8.5. Самообертання несучого гвинта	289
Контрольні питання до розділу 8.....	296
Задачі до розділу 8.....	296
ПІСЛЯМОВА.....	297
ЛІТЕРАТУРА	302

