

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

О. Ю. Пащук, О. Ю. Бетіна

**ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА
СТАТИСТИЧНИМ МЕТОДОМ**

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2021

УДК 629.7.014-519.01(075.8)
П22

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. В. Ю. Колосков,
канд. техн. наук, доц. О. Б. Маций

Пащук, О. Ю.

П22 Проектування безпілотного літального апарата статистичним методом [Текст] : навч. посіб. / О. Ю. Пащук, О. Ю. Бетіна. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 24 с.

ISBN 978-966-662-840-7

Розглянуто статистичний метод, який полягає в певному науковому підході, основаному на обробленні минулого досвіду та встановленні емпіричних закономірностей, що відображають об'єктивні основи проектування безпілотного літального апарата.

Для студентів вищих навчальних закладів, що вивчають курс «Загальна будова ракетно-космічної техніки».

Іл. 6. Табл. 8. Бібліогр.: 6 назв

УДК 629.7.014-519.01(075.8)

© Пащук О. Ю., Бетіна О. Ю., 2021

© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2021

ISBN 978-966-662-840-7

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗБІР ТА ОБРОБЛЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ БПЛА.....	5
1.1 Основні характеристики БПЛА.....	5
1.2 Розрахунок геометричних характеристик БПЛА.....	5
1.3 Складання таблиці статистичних даних опрацьованих БПЛА.....	7
1.4 Апроксимація статистичних даних.....	8
2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТОВАНОГО БПЛА.....	9
3 ВИЗНАЧЕННЯ МАС ОКРЕМИХ ЧАСТИН БПЛА.....	10
4 РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСУЧИХ ПОВЕРХОНЬ БПЛА.....	12
4.1 Розрахунок площі та геометричних характеристик крила.....	12
4.2 Розрахунок площі та геометричних характеристик горизонтального оперення.....	13
4.3 Розрахунок площі та геометричних характеристик елеронів.....	14
4.4 Розрахунок площі та геометричних характеристик руля висоти.....	14
4.5 Розрахунок площі та геометричних характеристик руля напрямку.....	15
5 РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМІВ ВАНТАЖІВ БПЛА.....	15
6 РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАНТАЖІВ ТА АГРЕГАТІВ БПЛА.....	16
6.1 Розрахунок геометричних характеристик основних вантажів БПЛА.....	16
6.2 Розрахунок діаметра гвинта.....	17
7 ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРА МАС БПЛА.....	17
8 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАПАСУ ПОЗДОВЖНЬОЇ СТАТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ БПЛА.....	21
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	22
Додаток А ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ ПРОЕКТУ.....	23

ВСТУП

Метою курсового проекту є попереднє проектування безпілотного літального апарата (БПЛА) на основі статистичного методу. Попередньо виконують збір та оброблення статистичних даних про літальні апарати заданого призначення. До складу статистичних даних входять відомості про основні льотно-технічні характеристики БПЛА, а також геометричні та масові характеристики.

Обробивши зібрані відомості, матимемо діапазон реальних значень безрозмірних геометричних характеристик БПЛА, стартової маси та інших параметрів. Побудувавши їх розподіл залежно від дальності, швидкості та висоти польоту, можна на основі екстраполяції в першому наближенні призначити кілька параметрів нового варіанта БПЛА, який повинен відповідати новому технічному завданню на проектування опорного варіанта БПЛА. Цей знову спроектований на базі статистичного методу проектування опорний варіант БПЛА можна використовувати для подальшого ітераційного процесу проектування БПЛА даного призначення, заданої дальності і швидкості польоту.

Статистичний метод полягає в певному науковому підході, основаному на обробленні минулого досвіду та встановленні емпіричних закономірностей, що відображають об'єктивні основи проектування БПЛА. Метод базується на припущенні про безперервні, плавні зміни у часі параметрів і характеристик БПЛА певного типу.

Недолік методу – не дозволяє враховувати все різноманіття зв'язків між параметрами і характеристиками. При проектуванні нового БПЛА можливості цього методу обмежені, але навіть для таких абсолютно нових проектів значну кількість технічних рішень приймають на основі минулого досвіду. Тому цей метод у цілому або в окремих його частинах використовують проектувальники БПЛА навіть при сучасному аналітичному методі проектування із застосуванням ЕОМ і методів оптимального проектування.

1 ЗБІР ТА ОБРОБЛЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ БПЛА

1.1 Основні характеристики БПЛА

Основні статистичні характеристики БПЛА:

- 1) назва;
- 2) аеродинамічна схема;
- 3) максимальна швидкість V_{max} , км/год;
- 4) крейсерська швидкість $V_{крейс}$, км/год;
- 5) крейсерська висота $H_{крейс}$, м;
- 6) максимальна висота H_{max} , м;
- 7) максимальна дальність польоту L_{max} , км;
- 8) час польоту t , год;
- 9) маса апаратури $m_{ап}$, кг;
- 10) маса пального $m_{п}$, кг;
- 11) злітна маса m_0 , кг.

1.2 Розрахунок геометричних характеристик БПЛА

Подовження корпусу БПЛА

$$\lambda_{\phi} = \frac{l_{\phi}}{d_M}, \quad (1.1)$$

де l_{ϕ} – довжина фюзеляжу; d_M – діаметр міделя.

Площа крила

$$S = \frac{1}{2}(b_0 + b_K)l, \quad (1.2)$$

де b_0 – коренева хорда крила; b_K – кінцева хорда крила; l – розмах крила.

Подовження крила

$$\lambda = \frac{l^2}{S}. \quad (1.3)$$

Звуження крила

$$\eta = \frac{b_0}{b_K}. \quad (1.4)$$

Площа горизонтального оперення

$$S_{20} = \frac{1}{2} (b_{020} + b_{к20}) l_{20}, \quad (1.5)$$

де b_{020} – коренева хорда горизонтального оперення; $b_{к20}$ – кінцева хорда горизонтального оперення; l_{20} – розмах горизонтального оперення.

Подовження горизонтального оперення

$$\lambda_{20} = \frac{l_{20}^2}{S_{20}}. \quad (1.6)$$

Звуження горизонтального оперення

$$\eta_{20} = \frac{b_{020}}{b_{к20}}. \quad (1.7)$$

Відносна площа горизонтального оперення

$$\bar{S}_{20} = \frac{S_{20}}{S}. \quad (1.8)$$

Площа вертикального оперення

$$S_{\text{во}} = \frac{1}{2} (b_{0\text{во}} + b_{к\text{во}}) l_{\text{во}}, \quad (1.9)$$

де $b_{0\text{во}}$ – коренева хорда вертикального оперення; $b_{к\text{во}}$ – кінцева хорда вертикального оперення; $l_{\text{во}}$ – розмах вертикального оперення (для схеми з двома кілями взяти розмах двох кілів).

Подовження вертикального оперення

$$\lambda_{\text{во}} = \frac{l_{\text{во}}^2}{S_{\text{во}}}. \quad (1.10)$$

Звуження вертикального оперення

$$\eta_{\text{во}} = \frac{b_{0\text{во}}}{b_{к\text{во}}}. \quad (1.11)$$

Відносна площа вертикального оперення

$$\bar{S}_{\text{во}} = \frac{S_{\text{во}}}{S}. \quad (1.12)$$

Відносна площа руля висоти

$$\bar{S}_{\text{рв}} = \frac{S_{\text{кв}}}{S}, \quad (1.13)$$

де $S_{\text{рв}}$ – площа руля висоти.

Відносна площа руля напрямку

$$\bar{S}_{\text{рн}} = \frac{S_{\text{кн}}}{S}, \quad (1.14)$$

де S_{pH} – площа руля напрямку (для схеми з двома кілями взяти площу двох рульових поверхонь напрямку).

Відносна площа двох елеронів

$$\bar{S}_{ел} = \frac{S_{ел}}{S}, \quad (1.15)$$

де $S_{ел}$ – площа двох елеронів.

Питоме навантаження на крило

$$P = \frac{m_0}{S}, \quad (1.16)$$

де m_0 – злітна маса.

1.3 Складання таблиці статистичних даних опрацьованих БПЛА

Основні характеристики БПЛА (див. розділ 1.1), а також результати розрахунків (див. розділ 1.2) наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Статистичні дані БПЛА

Параметр	Значення параметра			
Назва БПЛА				
Максимальна швидкість V_{max} , км/год				
Крейсерська швидкість $V_{крейс}$, км/год				
Крейсерська висота $H_{крейс}$, м				
Максимальна висота H_{max} , м				
Максимальна дальність польоту L_{max} , км				
Час польоту t , год				
Маса апаратури $m_{ап}$, кг				
Маса пального $m_{п}$, кг				
Злітна маса m_0 , кг				
Подовження корпусу $\lambda_{ф}$				
Площа крила S , м ²				
Подовження крила $\lambda_{кр}$				
Звуження крила $\eta_{кр}$				

Продовження таблиці 1.1

Параметр	Значення параметра			
Кут стрілоподібності передньої кромки крила $\chi_{пккр}$				
Кут стрілоподібності задньої кромки крила $\chi_{зккр}$				
Площа горизонтального оперення $S_{гo}$, м ²				
Подовження горизонтального оперення $\lambda_{гo}$				
Звуження горизонтального оперення $\eta_{гo}$				
Кут стрілоподібності передньої кромки горизонтального оперення $\chi_{пкго}$				
Кут стрілоподібності задньої кромки горизонтального оперення $\chi_{зкго}$				
Відносна площа горизонтального оперення $\bar{S}_{гo}$				
Площа вертикального оперення $S_{во}$, м ²				
Подовження вертикального оперення $\lambda_{во}$				
Звуження вертикального оперення $\eta_{во}$				
Кут стрілоподібності передньої кромки вертикального оперення $\chi_{пкво}$				
Кут стрілоподібності задньої кромки вертикального оперення $\chi_{зкво}$				
Відносна площа вертикального оперення $\bar{S}_{во}$				
Відносна площа руля висоти $\bar{S}_{рв}$				
Відносна площа руля напрямку $\bar{S}_{рн}$				
Відносна площа елеронів $\bar{S}_{ел}$				
Питоме навантаження на крило P , кг/ м ²				

1.4 Апроксимація статистичних даних

На основі отриманих даних будують графіки статистичних залежностей:

- питомого навантаження на крило від дальності польоту $P(L_{max})$;

- питомого навантаження на крило від максимальної висоти польоту $P(H_{max})$;
- питомого навантаження на крило від крейсерської швидкості польоту $P(V_{крейс})$;
- подовження крила від максимальної дальності польоту $\lambda_{кр}(L_{max})$;
- подовження крила від максимальної висоти польоту $\lambda_{кр}(H_{max})$;
- подовження крила від крейсерської швидкості польоту $\lambda_{кр}(V_{крейс})$;
- звуження крила від максимальної дальності польоту $\eta_{кр}(L_{max})$;
- звуження крила від максимальної висоти польоту $\eta_{кр}(H_{max})$;
- звуження крила від крейсерської швидкості польоту $\eta_{кр}(V_{крейс})$.

Для горизонтального і вертикального оперення будують графіки залежностей подовження та звуження від максимальної дальності, максимальної висоти польоту та крейсерської швидкості.

Після побудови графіків студент отримує завдання, в якому вказано такі дані:

- максимальна дальність польоту;
- максимальна висота польоту;
- крейсерська швидкість;
- маса спеціальної апаратури.

2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТОВАНОГО БПЛА

Таблиця 2.1 – Характеристики проектного БПЛА

Параметр	Значення параметра
Крейсерська швидкість $V_{крейс}$, км/год	
Максимальна висота H_{max} , м	
Максимальна дальність польоту L_{max} , км	
Час польоту t , год	
Маса апаратури $m_{ап}$, кг	
Площа крила S , м ²	
Подовження крила $\lambda_{кр}$	
Звуження крила $\eta_{кр}$	
Кут стрілоподібності передньої кромки крила $\chi_{пккр}$	

Продовження таблиці 2.1

Параметр	Значення параметра
Подовження горизонтального оперення λ_{zo}	
Звуження горизонтального оперення η_{zo}	
Кут стрілоподібності передньої кромки горизонтального оперення $\chi_{пкго}$	
Відносна площа горизонтального оперення \bar{S}_{zo}	
Подовження вертикального оперення λ_{vo}	
Звуження вертикального оперення η_{vo}	
Кут стрілоподібності передньої кромки вертикального оперення $\chi_{пкво}$	
Відносна площа вертикального оперення \bar{S}_{vo}	
Відносна площа руля висоти \bar{S}_{pv}	
Відносна площа руля напрямку \bar{S}_{kn}	
Відносна площа елеронів \bar{S}_{el}	
Питоме навантаження на крило P , кг/ м ²	

3 ВИЗНАЧЕННЯ МАС ОКРЕМИХ ЧАСТИН БПЛА

Злітну масу БПЛА розраховують за формулою

$$m_0 = \frac{m_{ап}}{1 - (\bar{m}_п + \bar{m}_{констр} + \bar{m}_{су} + \bar{m}_{дв})}, \quad (3.1)$$

де $m_{ап}$ – маса апаратури; $\bar{m}_п$ – відносна маса пального; $\bar{m}_{констр}$ – відносна маса конструкції; $\bar{m}_{су}$ – відносна маса блока системи управління; $\bar{m}_{дв}$ – відносна маса двигуна.

Відносна маса пального

$$\bar{m}_п = a + b \frac{L_{max}}{V_{крейс}}, \quad (3.2)$$

де a та b – коефіцієнти, які беруть з діапазонів:

$$a = 0,04 \dots 0,05;$$

$$b = 0,05 \dots 0,06.$$

Відносну масу конструкції вибирають з діапазону

$$\bar{m}_{\text{констр}} = 0,2...0,3 .$$

Відносні маси елементів конструкції за наявності шасі такі:

- відносна маса крила $\bar{m}_{\text{кр}} = 0,39$;
- відносна маса фюзеляжу $\bar{m}_{\text{ф}} = 0,35$;
- відносна маса шасі $\bar{m}_{\text{шас}} = 0,18$;
- відносна маса оперення $\bar{m}_{\text{оп}} = 0,08$.

Відносні маси елементів конструкції за відсутності шасі:

- відносна маса крила $\bar{m}_{\text{кр}} = 0,47$;
- відносна маса фюзеляжу $\bar{m}_{\text{ф}} = 0,43$;
- відносна маса оперення $\bar{m}_{\text{оп}} = 0,1$.

Відносну масу блока системи управління вибирають з діапазону

$$\bar{m}_{\text{су}} = 0,1...0,15 .$$

Відносну масу двигуна вибирають з діапазону

$$\bar{m}_{\text{дв}} = 0,08...0,15 .$$

Відносну масу пального можна розрахувати за формулою

$$\bar{m}_{\text{п}} = 1,36 \frac{\bar{m}_{\text{дв}}}{m_{\text{пит}}} C_{\text{пит}} \frac{L_{\text{max}}}{V_{\text{крейс}}}, \quad (3.3)$$

де $m_{\text{пит}} = 0,7...1$ кг/кВт – питома маса;

$C_{\text{пит}} = 0,18...0,25$ кг/(к. с. год) – питома витрата пального.

Маса пального

$$m_{\text{п}} = m_0 \bar{m}_{\text{п}}. \quad (3.4)$$

Маса конструкції

$$m_{\text{констр}} = m_0 \bar{m}_{\text{констр}}. \quad (3.5)$$

Маса блока системи управління

$$m_{\text{су}} = m_0 \bar{m}_{\text{су}}. \quad (3.6)$$

Маса двигуна

$$m_{\text{дв}} = m_0 \bar{m}_{\text{дв}}. \quad (3.7)$$

Маса крила

$$m_{\text{кр}} = m_{\text{констр}} \bar{m}_{\text{кр}}. \quad (3.8)$$

Маса фюзеляжу

$$m_{\text{ф}} = m_{\text{констр}} \bar{m}_{\text{ф}}. \quad (3.9)$$

Маса шасі

$$m_{\text{шас}} = m_{\text{констр}} \bar{m}_{\text{шас}}. \quad (3.10)$$

Маса оперення

$$m_{оп} = m_{констр} \bar{m}_{оп}. \quad (3.11)$$

Для фюзеляжів з хвостовими балками потрібно масу фюзеляжу розділити на масу балок та гондоли. Ці маси можна приблизно визначити за формулами

$$m_{бал} = 0,2m_{ф}; \quad (3.12)$$

$$m_{гон} = 0,8m_{ф}. \quad (3.13)$$

4 РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСУЧИХ ПОВЕРХОНЬ БПЛА

4.1 Розрахунок площі та геометричних характеристик крила

Розрахунок площі крила

$$S = \frac{m_0}{P}, \quad (4.1)$$

де P – питоме навантаження на крило.

Розрахунок розмаху крила

$$l = \sqrt{\lambda S}, \quad (4.2)$$

де λ – подовження крила.

Розрахунок кореневої хорди крила

$$b_0 = \frac{2\eta S}{l(\eta + 1)}, \quad (4.3)$$

де η – звуження крила.

Розрахунок середньої аеродинамічної хорди крила

$$b_a = \frac{2b_0}{3} \frac{\eta^2 + \eta + 1}{\eta(\eta + 1)}. \quad (4.4)$$

Розрахунок кінцевої хорди крила

$$b_k = \frac{b_0}{\eta}. \quad (4.5)$$

Для крила можна взяти профіль, показаний на рисунку 4.1. Дані для побудови цього профіля наведено в таблиці 4.1.



Рисунок 4.1 – Профіль крила

Таблиця 4.1 – Профіль крила

X	0	2,5	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
УВ	4,3	8,3	9,9	12	13,4	14,2	14,7	14,9	14,3	13,9	12,5	10,8	8,6	6,2	3,5
УН	4,3	3,1	3,3	3,7	4,2	4,6	4,9	5,2	5,4	5,3	5,2	4,9	4,3	3,8	3,2

4.2 Розрахунок площі та геометричних характеристик горизонтального оперення

Площа горизонтального оперення

$$S_{20} = \bar{S}_{20} S. \quad (4.6)$$

Розмах горизонтального оперення

$$l_{20} = \sqrt{\lambda_{20} S_{20}}. \quad (4.7)$$

Коренева хорда горизонтального оперення

$$b_{020} = \frac{2\eta_{20} S_{20}}{l_{20}(\eta_{20} + 1)}. \quad (4.8)$$

Середня аеродинамічна хорда горизонтального оперення

$$b_{a20} = \frac{2b_{020} \eta_{20}^2 + \eta_{20} + 1}{3 \eta_{20}(\eta_{20} + 1)}. \quad (4.9)$$

Кінцева хорда горизонтального оперення

$$b_{к20} = \frac{b_{020}}{\eta_{20}}. \quad (4.10)$$

Геометричні характеристики вертикального оперення розраховують так, як і для горизонтального оперення.

Для горизонтального і вертикального оперення можна взяти профіль, показаний на рисунку 4.2. Дані для побудови цього профіля наведено в таблиці 4.2.



Рисунок 4.2 – Профіль оперення

Таблиця 4.2 – Профіль оперення

X	0	1,25	2,5	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ув	0	1,42	1,96	2,67	3,51	4,3	4,5	4,35	3,97	3,42	2,75	1,97	1,09	0,1
Ун	0	-1,42	-1,96	-2,67	-3,51	-4,3	-4,5	-4,35	-3,97	-3,42	-2,75	-1,97	-1,09	-0,1

4.3 Розрахунок площі та геометричних характеристик елеронів

Площа двох елеронів

$$S_{ел} = \bar{S}_{ел} S. \quad (4.11)$$

Розмах двох елеронів

$$l_{ел} = \sqrt{\lambda_{ел} S_{ел}}, \quad (4.12)$$

де $\lambda_{ел}$ – подовження двох елеронів.

Хорда елеронів прямокутної форми в плані

$$b_{ел} = \frac{l_{ел}}{\lambda_{ел}}. \quad (4.13)$$

4.4 Розрахунок площі та геометричних характеристик руля висоти

Площа руля висоти

$$S_{рв} = \bar{S}_{рв} S. \quad (4.14)$$

Розмах руля висоти можна взяти таким самим, як і розмах горизонтального оперення:

$$l_{рв} = l_{го}. \quad (4.15)$$

Хорда руля висоти прямокутної форми в плані

$$b_{рв} = \frac{S_{рв}}{l_{рв}}. \quad (4.16)$$

4.5 Розрахунок площі та геометричних характеристик руля напрямку

Площа руля напрямку

$$S_{рн} = \bar{S}_{рн} S. \quad (4.17)$$

Розмах руля напрямку можна взяти таким самим, як розмах вертикального оперення (для схеми з двома кілями взяти розмах двох кілів):

$$l_{рн} = l_{eo}. \quad (4.18)$$

Хорда руля напрямку прямокутної форми в плані

$$b_{рн} = \frac{S_{рн}}{l_{рн}}. \quad (4.19)$$

5 РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМІВ ВАНТАЖІВ БПЛА

Об'єм апаратури

$$W_{ап} = \frac{m_{ап}}{\rho_{ап}}, \quad (5.1)$$

де $\rho_{ап} = 1000$ кг/м³ – густина блока апаратури.

Об'єм системи керування

$$W_{су} = \frac{m_{су}}{\rho_{су}}, \quad (5.2)$$

де $\rho_{ап} = 1000$ кг/м³ – густина блока системи керування.

Об'єм паливного бака

$$W_{п} = \frac{m_{п}}{\rho_{п}}, \quad (5.3)$$

де $\rho_{п} = 750$ кг/м³ – густина пального.

Об'єм двигуна

$$W_{дв} = \frac{m_{дв}}{\rho_{дв}}, \quad (5.4)$$

де $\rho_{дв} = 1500$ кг/м³ – густина двигуна.

6 РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАНТАЖІВ ТА АГРЕГАТІВ БПЛА

6.1 Розрахунок геометричних характеристик основних вантажів БПЛА

Знайти розмір $a_{дв}$ для одноциліндрового двигуна внутрішнього згорання (рисунок 6.1):

$$a_{дв} = 3 \sqrt{\frac{W_{дв}}{0,294}} \quad (6.1)$$

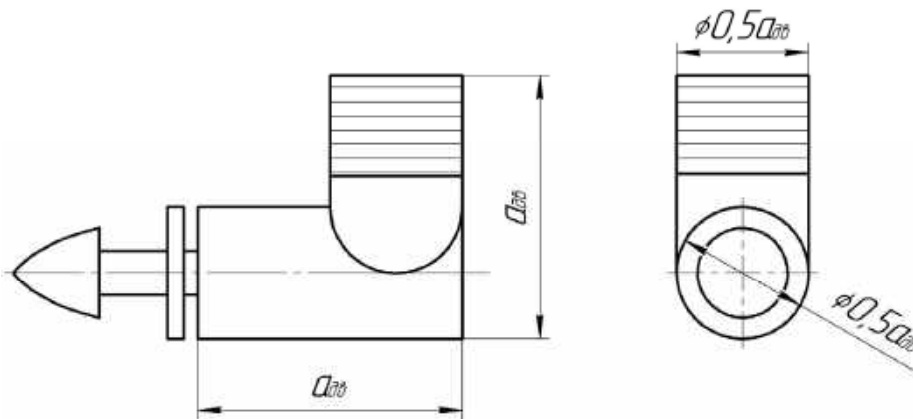


Рисунок 6.1 – Пропорції одноциліндрового двигуна внутрішнього згорання

Розмір $a_{ап}$ для блока апаратури (рисунок 6.2)

$$a_{ап} = 3 \sqrt{\frac{W_{ап}}{0,15}} \quad (6.2)$$

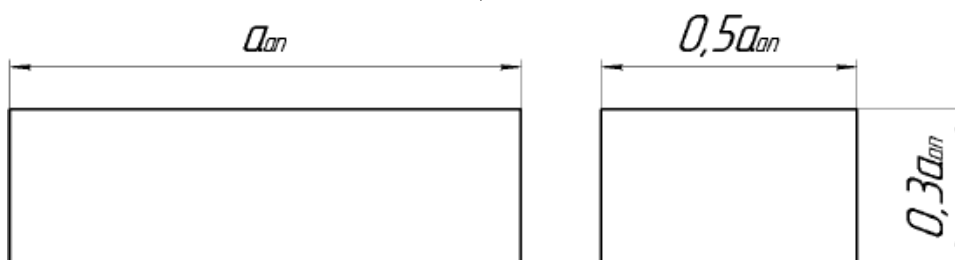


Рисунок 6.2 – Пропорції блока апаратури

Розмір $a_{су}$ для блока системи керування (рисунок 6.3)

$$a_{су} = 3 \sqrt{\frac{W_{су}}{0,15}} \quad (6.3)$$

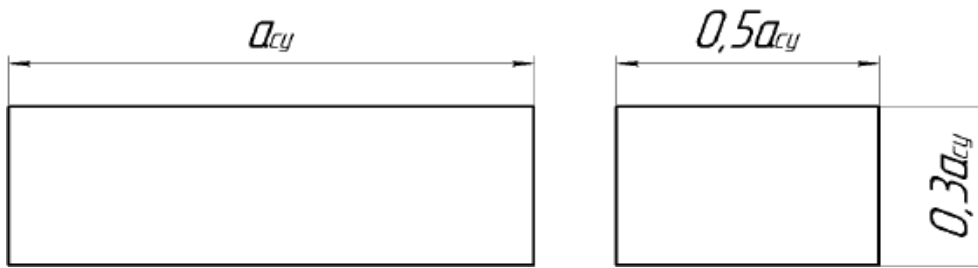


Рисунок 6.3 – Пропорції блока системи керування

Пропорції розглянутих вантажів та агрегатів можуть бути задані викладачем індивідуально кожному студенту.

6.2 Розрахунок діаметра гвинта

Діаметр гвинта розраховують за формулою

$$D = 100 \sqrt[4]{\frac{N_{дв}}{V_{крейс} n_{дв}^2}}, \quad (6.4)$$

де $n_{дв} = 4000 \dots 10000$ об/хв – частота обертів двигуна;

$N_{дв} = 1,36 \frac{m_{дв}}{m_{пит}}$ – потужність двигуна в кінських силах;

$m_{пит} = 0,7 \dots 1$ кг/кВт – питома маса.

7 ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРА МАС БПЛА

Спочатку потрібно графічно визначити положення центрів мас окремих вантажів: двигуна, блока апаратури, системи управління та паливного бака. Положення центрів мас крила та оперення на цьому етапі можна взяти на половині довжини їх середніх аеродинамічних хорд, а центр мас фюзеляжу – на середині довжини фюзеляжу. Якщо у фюзеляжу можна виділити для вантажів гондолу та хвостову балку, то треба знаходити центри мас цих елементів окремо. Можна вважати, що центри мас гондоли та хвостової балки лежать на середині довжин цих елементів відповідно. Далі компонують вантажі та агрегати, визначають положення центра мас кожного агрегату відносно носика БПЛА та складають центрвальну відомість.

Послідовність знаходження положення центра мас БПЛА:

1. Визначають центр мас першої системи вантажів та агрегатів (таблиця 7.1):

$$X_{ц.м.1сист} = \frac{\sum m_i X_{ц.м.i}}{\sum m_i}. \quad (7.1)$$

Таблиця 7.1 – Центрувальна відомість першої системи вантажів та агрегатів

Агрегат, вантаж	m_i	$X_{ц.м.i}$	$m_i X_{ц.м.i}$
Фюзеляж або гондола			
Двигун			
Блок апаратури			
Блок системи керування			
Паливо			
Сума	Σm_i		$\Sigma m_i X_{ц.м.i}$

2. Знаходять положення оперення та добавляють оперення в систему. Оперення розташовують так, щоб відстань від центра мас першої системи вантажів та агрегатів до фокуса оперення була такою:

$$l_{оп} = (3...4,5) b_a. \quad (7.2)$$

Відстань від носика середньої аеродинамічної хорди горизонтального оперення до його фокуса взяти

$$l_{ц.м.оп} = 0,25 b_{аго}. \quad (7.3)$$

3. Визначають центр мас другої системи вантажів та агрегатів (таблиця 7.2):

$$X_{ц.м.2сист} = \frac{\Sigma m_i X_{ц.м.i}}{\Sigma m_i}. \quad (7.4)$$

Таблиця 7.2 – Центрувальна відомість другої системи вантажів та агрегатів

Агрегат, вантаж	m_i	$X_{ц.м.i}$	$m_i X_{ц.м.i}$
Фюзеляж або гондола			
Двигун			
Блок апаратури			
Блок системи керування			
Паливо			
Оперення			
Хвостова балка (якщо вона є)			
Сума	Σm_i		$\Sigma m_i X_{ц.м.i}$

4. Визначають положення шасі відносно $X_{ц.м.2сист}$ (для БПЛА без шасі пункти 4, 5 пропустити) (рисунок 7.1):

База шасі

$$b = (0,3...0,4) l_{ф}, \quad (7.5)$$

де l_{ϕ} – довжина фюзеляжу.

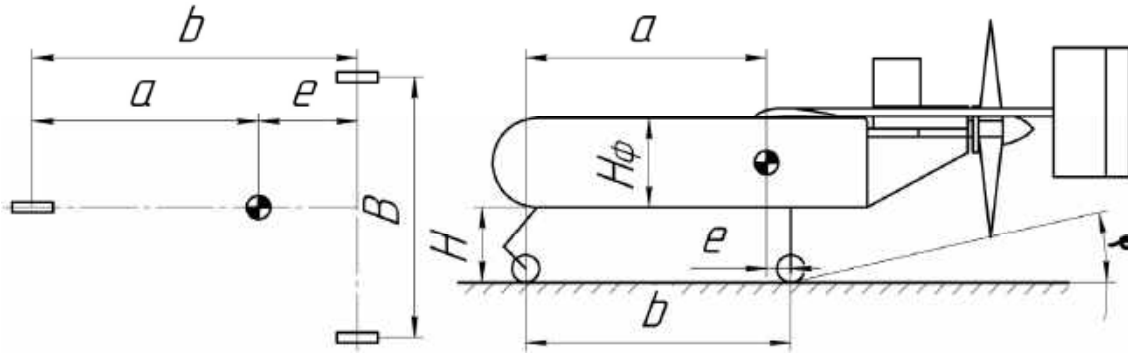


Рисунок 7.1 – Схема шасі з носовою опорою

Винесення передньої опори шасі вибирають так, щоб навантаження на передню опору при стоянці БПЛА на землі було в межах 6...12 % від маси БПЛА. Таким чином,

$$e = (0,06...0,12)b, \quad a = (0,94...0,88)b. \quad (7.6)$$

Висоту шасі H від нижньої частини фюзеляжу до злітно-посадкової смуги вибирають так, щоб кут $\phi = 10...18^\circ$.

Колія шасі

$$B \geq 2(H + 0,5H_{\phi}), \quad (7.7)$$

де H_{ϕ} – висота фюзеляжу.

5. Визначають центр мас третьої системи вантажів та агрегатів (таблиця 7.3). При цьому вважають, що маса передньої опори шасі становить 30 % від повної маси шасі:

$$X_{ц.м.3сист} = \frac{\sum m_i X_{ц.м.i}}{\sum m_i}. \quad (7.8)$$

Таблиця 7.3 – Центрувальна відомість третьої системи вантажів та агрегатів

Агрегат, вантаж	m_i	$X_{ц.м.i}$	$m_i X_{ц.м.i}$
Фюзеляж або гондола			
Двигун			
Блок апаратури			
Блок системи керування			
Паливо			
Оперення			
Хвостова балка (якщо вона є)			
Передня опора шасі			
Основна опора шасі			
Сума	$\sum m_i$		$\sum m_i X_{ц.м.i}$

6. Розміщують крило так, щоб центр мас третьої системи знаходився від носика аеродинамічної хорди крила за напрямком потоку на відстані

$$l_{ц.м.зсист} = (0,15...0,25) b_a. \quad (7.9)$$

7. Визначають центр мас БПЛА з паливом та без палива (таблиця 7.4).

Таблиця 7.4 – Центрувальна відомість БПЛА

Агрегат, вантаж	m_i	$X_{ц.м.i}$	$m_i X_{ц.м.i}$
Фюзеляж або гондола			
Двигун			
Блок апаратури			
Блок системи керування			
Паливо			
Оперення			
Хвостова балка (якщо вона є)			
Передня опора шасі (якщо вона є)			
Основна опора шасі (якщо вона є)			
Крило			
Сума	Σm_i		$\Sigma m_i X_{ц.м.i}$

Положення центра мас БПЛА відносно носика

$$X_{ц.м.БПЛА1} = \frac{\Sigma m_i X_{ц.м.i}}{\Sigma m_i}. \quad (7.10)$$

Положення центра мас БПЛА без палива

$$X_{ц.м.БПЛА2} = \frac{\Sigma m_i X_{ц.м.i} - m_p X_{ц.м.п}}{\Sigma m_i - m_p}. \quad (7.11)$$

Після знаходження положення центрів мас БПЛА потрібно перевірити виконання умови

$$\frac{X_{ц.м.БПЛА} - X_a}{b_a} = 0,15...0,25, \quad (7.12)$$

де X_a – відстань від носика БПЛА до носика b_a .

Також потрібно перевірити відсутність проблем зі стійкістю БПЛА при зльоті та посадці. Можливе перекидання БПЛА, якщо центр мас займає заднє положення відносно основної опори шасі.

Якщо зазначені умови не виконуються, треба перекомпонувати БПЛА.

8 ВИЗНАЧЕННЯ ЗАПАСУ ПОЗДОВЖНЬОЇ СТАТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ БПЛА

Похідні коефіцієнта піднімальної сили за кутом атаки для профілів (див. розділи 4.1 та 4.2) можна взяти такими:

- похідна коефіцієнта піднімальної сили за кутом атаки для крила

$$C_{y_{a_{кр}}}^{\alpha} = 0,06; \quad (8.1)$$

- похідна коефіцієнта піднімальної сили за кутом атаки для горизонтального оперення

$$C_{y_{a_{20}}}^{\alpha} = 0,08. \quad (8.2)$$

Фокус БПЛА нормальної схеми

$$X_f = \frac{C_{y_{a_{кр}}}^{\alpha} X_{f_{кр}} + K_2 K_c C_{y_{a_{20}}}^{\alpha} X_{f_{20}} \bar{S}_{20}}{C_{y_{a_{кр}}}^{\alpha} + K_2 K_c C_{y_{a_{20}}}^{\alpha} \bar{S}_{20}}, \quad (8.3)$$

де $X_{f_{кр}} = 0,25b_a + L_a$ – положення фокуса крила відносно носика БПЛА; $X_{f_{20}} = 0,25b_{a20} + L_{a20}$ – положення фокуса горизонтального оперення відносно носика БПЛА; $K_2 = 0,85 \dots 0,9$ – коефіцієнт гальмування потоку; $K_c = 0,85 \dots 0,9$ – коефіцієнт скосу потоку; L_a – відстань від носика БПЛА до носика середньої аеродинамічної хорди крила; L_{a20} – відстань від носика БПЛА до носика середньої аеродинамічної хорди горизонтального оперення.

Відносна координата фокуса БПЛА

$$\bar{X}_f = \frac{X_f}{b_a}. \quad (8.4)$$

Відносна координата центра мас БПЛА з паливом та без

$$\bar{X}_{ц.м.БПЛА1} = \frac{X_{ц.м.БПЛА1}}{b_a}; \quad \bar{X}_{ц.м.БПЛА2} = \frac{X_{ц.м.БПЛА2}}{b_a}. \quad (8.5)$$

Перевірка запасу поздовжньої статичної стійкості БПЛА з паливом та без палива

$$\bar{X}_f - \bar{X}_{ц.м.БПЛА1} \geq 0,15; \quad \bar{X}_f - \bar{X}_{ц.м.БПЛА2} \geq 0,15. \quad (8.6)$$

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- Егер, С. М. Основы авиационной техники / С. М. Егер, А. М. Матвеев, И. А. Шаталов. – М. : Машиностроение, 2003. – 720 с.
- Капковский, Я. Летающие крылья / Я. Капковский ; пер. с польск. Ю. П. Терехова. – М. : Досааф СССР, 1988. – 128 с.
- Кривцов, В. С. Основы аэрокосмической техники : учеб. для высш. учеб. заведений (направление "Авиация и космонавтика"). В 2 ч. Ч. 2 / В. С. Кривцов, Я. С. Карпов, М. Н. Федотов. – Харьков : ХАИ, 2003. – 901 с.
- Околота, Н. В. Проектирование беспилотного летательного аппарата статистическим методом : учеб. пособие по курс. проектированию / Н. В. Околота, А. Н. Колоскова. – Харьков : ХАИ, 2008. – 31 с.
- Проектирование самолетов / С. М. Егер, В. Ф. Мишин, Н. К. Лисейцев, А. А. Бадягин. – М. : Машиностроение, 1983. – 616 с.
- Торенбик, Э. Проектирование дозвуковых самолетов / Э. Торенбик ; пер. с англ. Е. П. Голубкова. – М. : Машиностроение, 1983. – 648 с.

Додаток А
ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ ПРОЕКТУ

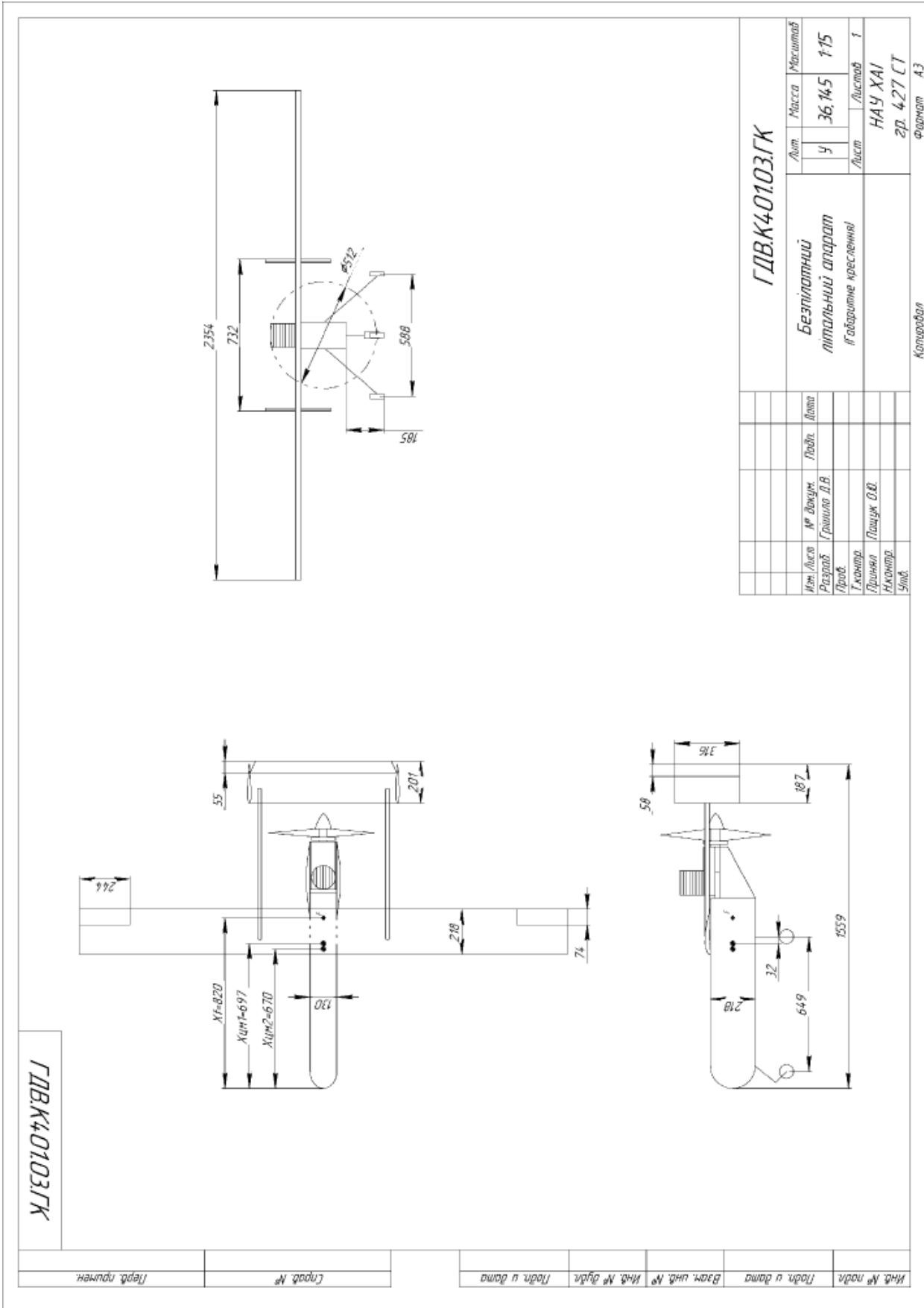


Рисунок А.1 – Габаритне креслення

Навчальне видання

**Пашук Олександр Юрійович
Бетіна Олена Юріївна**

**ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА
СТАТИСТИЧНИМ МЕТОДОМ**

Редактор В. І. Філатова

Зв. план, 2021

Підписано до друку 16.11.2021

Формат 60×84 1/16. Папір офс. Офс. друк

Ум. друк. арк. 1,3. Обл.-вид. арк.1,5. Наклад 50 пр.

Замовлення 272. Ціна вільна

Видавець і виготовлювач
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>
Видавничий центр «ХАІ»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від 30.03.2001