

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ЩОДО МІЦНОСТІ НАДЛЕГКОГО ЛІТАКА**

### **Вступ**

Для розрахунку зовнішніх навантажень на крило надлегкого одномісного літака важливо вибрати і розглянути відповідні для даного класу літальних апаратів норми льотної придатності, за допомогою яких можна визначити допустимі максимальні перевантаження на різних режимах польоту, а також максимальні експлуатаційні швидкості. Важливим завданням також є відповідність до норм льотної придатності багатьох провідних країн світу, оскільки це дає можливість збуту та експлуатації майбутнього літального апарату не тільки в Україні, але й в інших країнах.

На сьогоднішній день не існує єдиних норм льотної придатності для певного класу літаків, які були б дійсними одночасно в усіх країнах, де широко розвинена авіація. Існуючі норми в деякій мірі повторюють вимоги щодо діапазону перевантажень та швидкостей, але ці вимоги не є ідентичними. Тому літаки, що проектувались у відповідності з конкретними нормами льотної придатності, що діють в тій чи іншій країні, не можуть бути сертифіковані в тих країнах, де діють інші норми.

Було розглянуто норми льотної придатності, що використовуються в переважній більшості країн, де широко розповсюджена надлегка авіація, а саме: європейські Certification Specifications for Very Light Airplanes (CS-VLA) [1], британські British Civil Airworthiness Requirements Small Light Airplanes (BCAR-S) [2].

### **Постановка задачі**

Метою даної статті є визначення загальних норм щодо міцності надлегкого літака стосовно діапазону швидкостей та перевантажень, які висуваються різними нормами льотної придатності.

### **Порівняння розглянутих норм льотної придатності**

Проаналізувавши норми льотної придатності CS-VLA та BCAR-S, було складено таблицю порівнянь основних характеристик надлегких одномісних літаків, вимоги до яких представлені в розглянутих нормах.

Таблиця 1.

## Порівняння вимог норм льотної придатності

Норми льотної придатності	BCAR-S	CS-VLA
Максимальна злітна маса, кг	300	750
Максимальна швидкість звалювання, км/год	65	83
Максимально допустима швидкість, км/год	259	-
Максимально допустиме перевантаження	4	3.8
Мінімальне допустиме перевантаження	-2	-1.5
Швидкопідйомність, м/с	1.27	2
Максимальна довжина розбігу, км	-	0.5
Маса пілота, кг	55-86	55-86
Мінімальна маса палива, кг	10	5

Для забезпечення наочності результатів досліджень подальший аналіз проведено на прикладі розрахунку діапазону швидкостей та перевантажень деякого надлегкого літака.

### Розрахунок та побудова огинаючих діаграм швидкостей та перевантажень за результатами аналізу норм льотної придатності CS-VLA та BCAR-S

#### Вихідні данні до розрахунку:

- Максимальна злітна маса літального апарату  $m_0 = 160$ кг;
- Максимальна злітна вага літального апарату  $G = 160 \cdot 9.8 = 1568 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$ ;
- Площа крила  $S_{кр} = 5.48 \text{м}^2$ ;
- Середня аеродинамічна хорда крила  $b_{сах} = 0.783 \text{м}$ ;
- Максимальне значення коефіцієнта підйомної сили  $C_y^{\max} = 1.4$ ;
- Мінімальне значення коефіцієнта підйомної сили  $C_y^{\min} = -0.5$ ;
- Максимальне значення коефіцієнта підйомної сили з відхиленою механізацією  $C_{умех}^{\max} = 1.75$ ;
- Нахил кривої коефіцієнту нормальної складової підйомної сили крила в функції кута атаки  $a = \frac{dC_y}{d\alpha} = 4.6 (1/\text{рад})$ ;
- Густина повітря на рівні моря  $\rho = 1.225 \text{кг/м}^3$ ;
- Прискорення вільного падіння  $g = 9.81 \text{м/с}^2$ ;
- Максимальна швидкість горизонтального польоту  $V_H = 160 \text{км/год}$ .

**Розрахунок та побудова огинаючої швидкостей та перевантажень за нормами льотної придатності CS-VLA з урахуванням поривів вітру**

Згідно вимог, представлених у нормах льотної придатності CS-VLA [1], було проведено розрахунки для побудови огинаючої, результати яких приведені в табл. 2 і табл. 3.

**Таблиця 2.**

Результати розрахунків швидкостей, перевантажень та коефіцієнтів підйомної сили за нормами льотної придатності CS-VLA

<b>V, м/с</b>		<b>n</b>	<b>C<sub>y</sub></b>
V <sub>S</sub>	18.3	1	1.4
V <sub>A</sub>	35.7	3.8	1.4
V <sub>C</sub>	40	3.8	1.11
V <sub>D</sub>	56	3.8	0.57
V <sub>S(-)</sub>	30.6	-1	-0.5
V <sub>G</sub>	37.4	-1.5	-0.5
V <sub>C(-)</sub>	40	-1.5	-0.44
V <sub>E</sub>	56	0	0

Згідно норм CS-VLA максимальні допустимі перевантаження при поривах вітру визначаються за формулою:

$$n = 1 + \frac{0.5 \cdot K \cdot \rho \cdot U \cdot V \cdot (dC_y / d\alpha)}{G / S_{KP}},$$

де  $U$  – нормована швидкість вертикального пориву. Згідно з CS-VLA швидкість поривів вітру при розрахунковій крейсерській швидкості польоту у неспокійному повітрі  $U = 15,2 \text{ м/с}$ , а при розрахунковій максимальній швидкості польоту –  $U = 7,62 \text{ м/с}$ ;

$K$  – коефіцієнт послаблення пориву.

Коефіцієнт послаблення пориву визначається за формулою:

$$K = \frac{0.88 \cdot \mu}{5.3 + \mu},$$

де  $\mu$  – коефіцієнт мас літака.

Коефіцієнт мас літака визначається за формулою:

$$\mu = \frac{2 \cdot G}{S_{KP} \cdot \rho \cdot b_{CAK} \cdot (dC_y / d\alpha)}.$$

**Таблиця 3.**

Розрахунок швидкостей, перевантажень та коефіцієнтів підйомної сили за нормами льотної придатності CS-VLA з урахуванням поривів вітру

<b>V, м/с</b>		<b>n</b>	<b>C<sub>y</sub></b>
V <sub>S</sub>	18.3	1	1.4
V <sub>A</sub>	39.6	4.68	1.4
V <sub>C</sub>	40	4.8	1.37
V <sub>D</sub>	56	3.8	0.57
V <sub>S(-)</sub>	30.6	-1	-0.5
V <sub>G</sub>	46.3	-2.3	-0.5
V <sub>E</sub>	56	-1,4	-0.21

Вказані залежності швидкостей, перевантажень та коефіцієнтів підйомної сили функціонально представимо у вигляді:

$$n_1(V) = \begin{cases} 0.003 \cdot V^2, & V \in [V_S, V_A] \\ 0.095 \cdot V + 1, & V \in [V_A, V_C] \\ -0.063 \cdot V + 7.3, & V \in [V_C, 52] \\ 3.8, & V \in [52, V_D] \\ -0.003 \cdot V^2, & V \in [V_{S(-)}, V_G] \\ 0.093 \cdot V - 6.596, & V \in [V_G, V_E] \end{cases}$$

На проміжку від V<sub>S</sub> до V<sub>A</sub> та від V<sub>S(-)</sub> до V<sub>G</sub> функція змінюється за параболічним законом, в усіх інших випадках – прямолінійно.

Графік функції n<sub>1</sub>(V), що являє собою огинаючу швидкостей та перевантажень за нормами льотної придатності CS-VLA [1] з урахуванням поривів вітру представлено на рис. 1.

### **Розрахунок та побудова огинаючої швидкостей та перевантажень за нормами BCAR-S**

Проаналізувавши вимоги та інструкції, подані в нормах льотної придатності BCAR-S [2], було визначено значення максимально допустимих

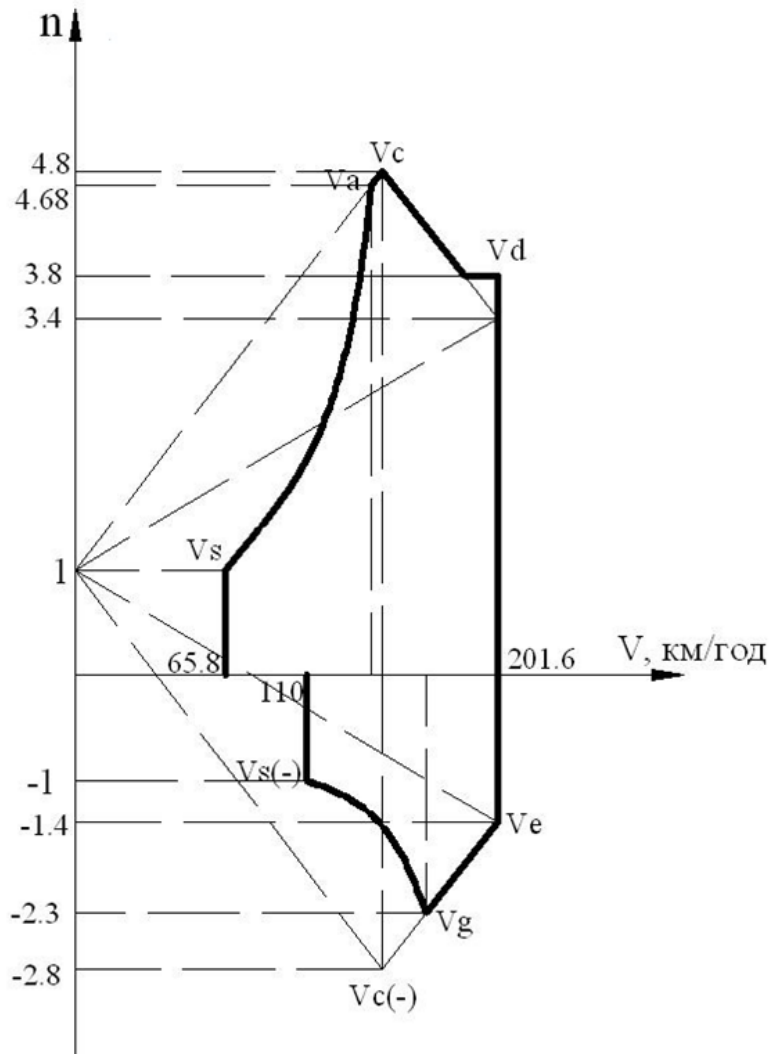


Рис. 1. Огибаюча швидкостей та перевантажень за нормами льотної придатності CS-VLA з урахуванням поривів вітру

перевантажень на швидкостях  $V_D$ ,  $V_A$ ,  $V_G$ ,  $V_E$ . Також було визначене значення коефіцієнту підйомної сили  $C_y$ . Дані, отримані в результаті розрахунку, представлені в табл. 4.

**Таблиця 4.**

Результати розрахунку швидкостей, перевантажень та коефіцієнтів підйомної сили за нормами льотної придатності ВСAR-S

$V, \text{ м/с}$		$n$	$C_y$
$V_S$	18.3	1	1.4
$V_A$	36.6	4	1.4
$V_D$	62,2	4	0.483
$V_S(-)$	30.6	-1	-0.5
$V_G$	43.2	-2	-0.5
$V_E$	62.2	-1.5	-0.18

Математично описати отримані дані можна наступною функцією:

$$n_2(V) = \begin{cases} 0.003 \cdot V^2, & V \in [V_S, V_A] \\ 4, & V \in [V_A, V_D] \\ -0.003 \cdot V^2, & V \in [V_{S(-)}, V_G] \\ 0.027 \cdot V - 3.137, & V \in [V_G, V_E] \end{cases}$$

На проміжку від  $V_S$  до  $V_A$  та від  $V_{S(-)}$  до  $V_G$  функція змінюється за параболічним законом, в усіх інших випадках – прямолінійно.

Графік функції  $n_2(V)$ , що являє собою огинаючу швидкостей та перевантажень за нормами льотної придатності BCAR-S [2] представлено на рис. 2.

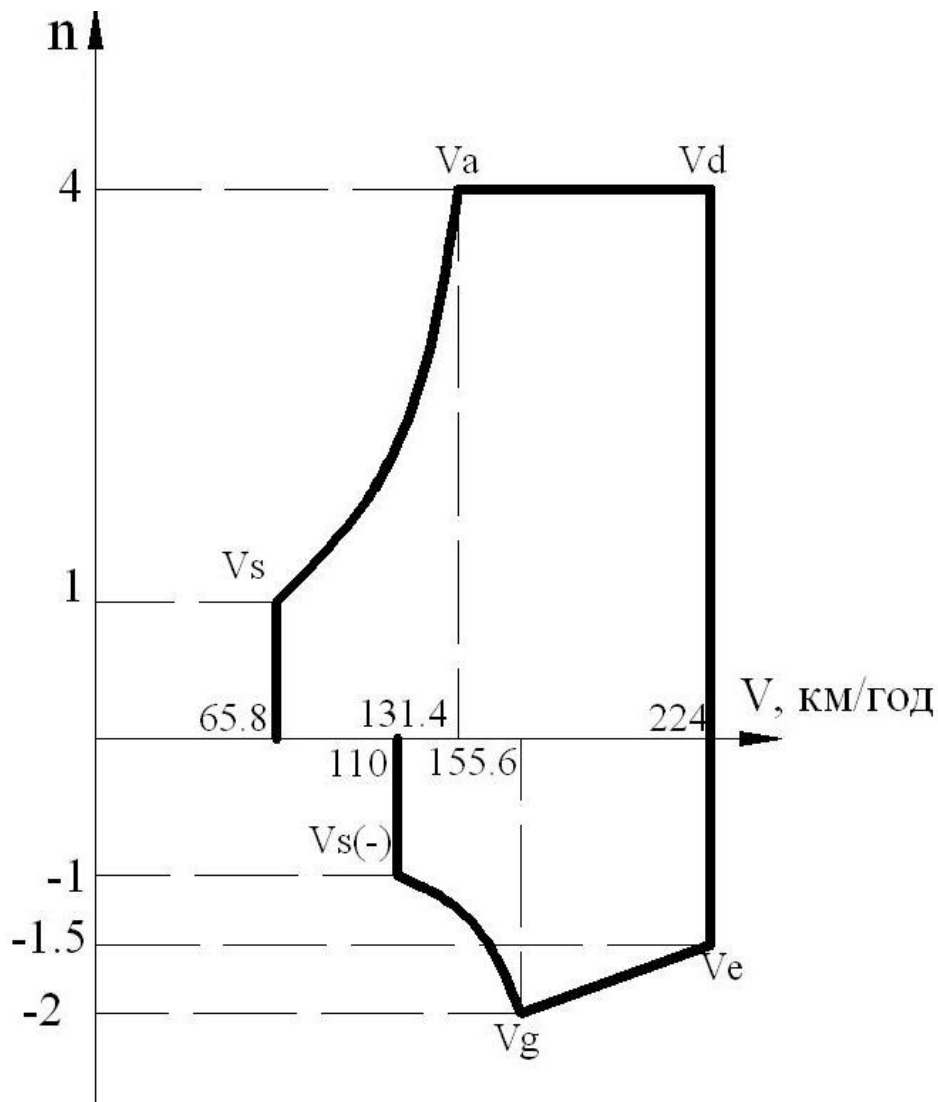


Рис. 2. Огинаюча швидкостей та перевантажень за нормами льотної придатності BCAR-S



## **Висновок**

Проаналізувавши різні норми льотної придатності для надлегких літаків, було отримано наступні результати:

- вибрано норми, яким задовольняє проєктований надлегкий літальний апарат та конкретизовані вимоги та обмеження щодо діапазону швидкостей та перевантажень, що йому висуваються;
- побудовано огинаючу швидкостей та перевантажень за кожними з цих норм та сумарну огинаючу, яка враховує одночасно всі критичні випадки декількох окремих огинаючих;
- визначено максимально допустимі перевантаження з урахуванням поривів вітру, які задовольняють одночасно всім розглянутим нормам льотної придатності;
- визначено діапазон швидкостей надлегкого літального апарату, який задовольняє одночасно всім розглянутим нормам льотної придатності.

Отримані результати можуть слугувати основою розрахунку на міцність крила при проєктуванні надлегкого літака.

## **Список використаної літератури**

1. European Aviation Safety Agency, Certification Specifications for Very Light Airplanes, 2009.
2. Civil Aviation Authority, British Civil Airworthiness Requirements, Section S – Small Light Airplanes, 2008.