

УДК 629.01, 629.7

**Семеха А. О., Мариношенко О. П., Колесніченко В. Б.**

## **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  $b_{сax} = 0.783 \text{ м}$ ;
- Максимальне значення коефіцієнта підйомної сили  $C_y^{\text{max}} = 1.4$ ;
- Мінімальне значення коефіцієнта підйомної сили  $C_y^{\text{min}} = -0.5$ ;

- 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:

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

**Таблиця 3.**

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

V, м/с		n	C <sub>y</sub>
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 ВСAR-S**

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

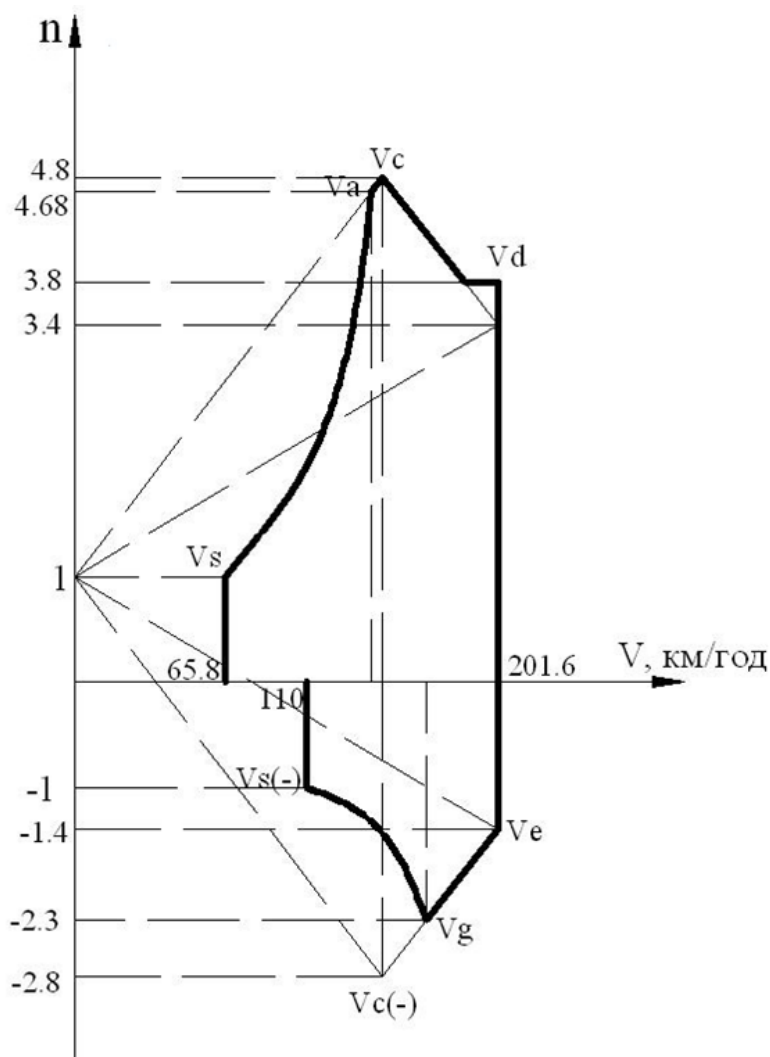


Рис. 1. Огибающая швидкостей та перевантажень за нормами льотної придатності CS-VLA з урахуванням поривів вітру

перевантажень на швидкостях  $V_D$ ,  $V_A$ ,  $V_G$ ,  $V_E$ . Також було визначено 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, 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 ВСАР-S [2] представлено на рис. 2.

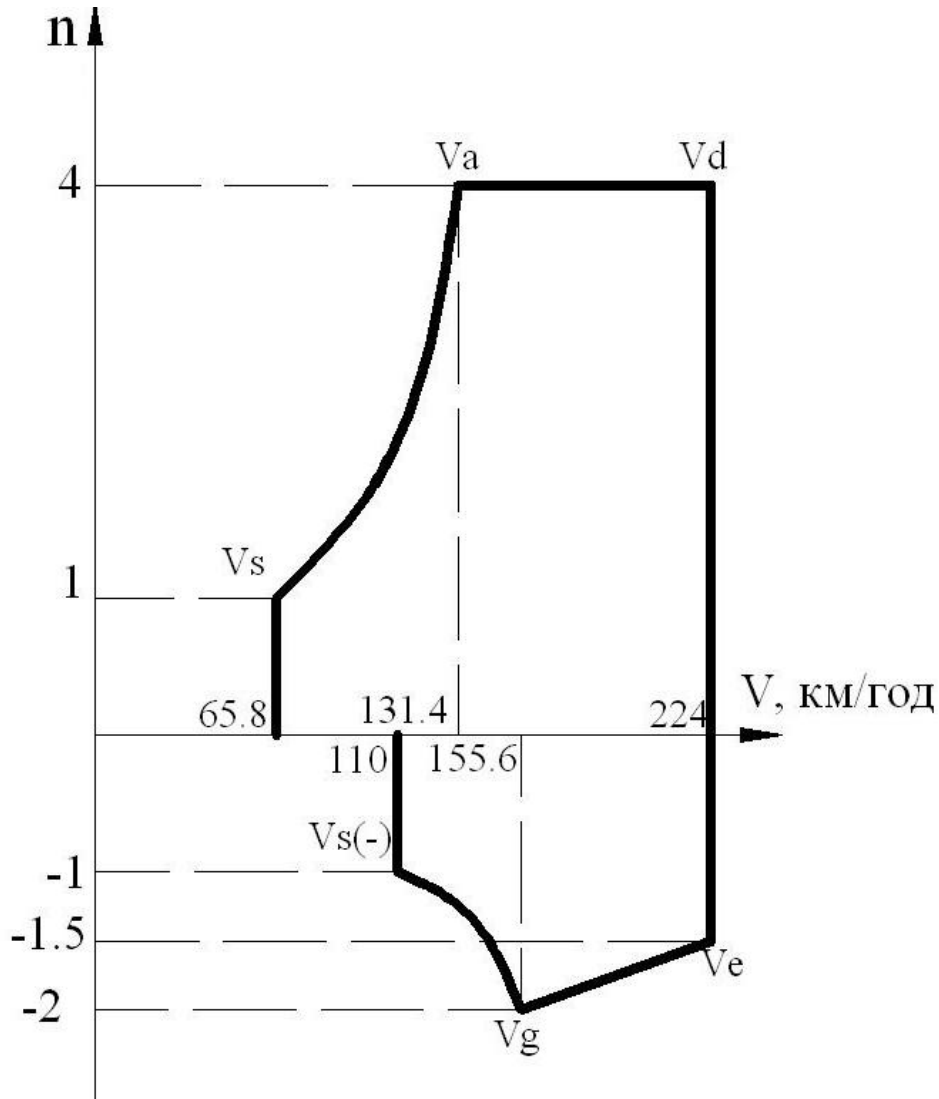


Рис. 2. Огинаюча швидкостей та перевантажень за нормами льотної

## придатності ВСАР-S

### Розрахунок та побудова сумарної огинаючої швидкостей та перевантажень за нормами льотної придатності ВСАР-S та CS-VLA

Поєднавши дві огинаючі, розраховані за нормами льотної придатності ВСАР-S та CS-VLA, можна отримати сумарну огинаючу, яка буде враховувати усі критичні випадки навантаження крила під дією зовнішніх силових факторів. Сумарна огинаюча швидкостей та перевантажень отримана шляхом графічного накладання всіх раніше отриманих огинаючих. Ординатами сумарної огинаючої вибрані найбільші серед ординат окремих огинаючих при однакових абсцисах.

Математично це можна описати функцією:

$$n_3 = \max[n_1(V); n_2(V)].$$

Графік функції  $n_3(V)$ , що являє собою сумарну огинаючу швидкостей та перевантажень представлено на рис. 3.

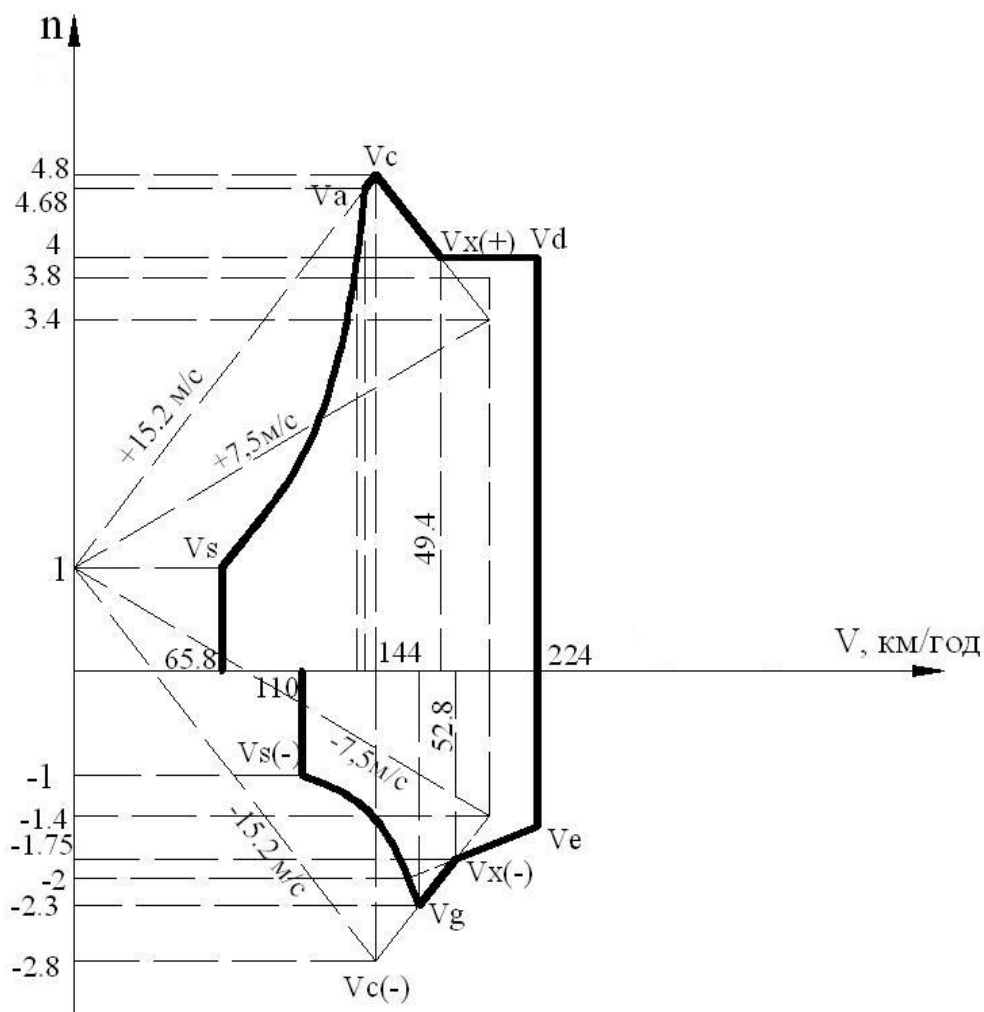


Рис. 3. Сумарна огинаюча швидкостей та перевантажень згідно норм льотної придатності BCAR-S та CS-VLA

### **Висновок**

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

- вибрано норми, яким задовольняє проектований 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 проектуванні 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.