

УДК 629.7.016.2

О. Л. Лемко, С. Б. Андрієнко

**ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИСОТИ ПОЛЬОТУ НАД ПІДСТИЛАЮЧОЮ
ПОВЕРХНЕЮ НА АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЕКРАНОПЛАНУ**

Вступ

При аеродинамічному проектуванні екранопланів одним з основних завдань є визначення його аеродинамічних характеристик поблизу «екрану». Як правило, це завдання вирішується спільно теоретичними і експериментальними методами [1, 2, 3]. В останні роки теоретичні методи визначення аеродинамічних характеристик літальних апаратів (ЛА) відіграють все більш значну роль. Особливо ефективно їх застосування тоді, коли з декількох альтернативних варіантів треба вибрати один для більш дета-

льного опрацювання, що проводиться, у тому числі й експериментальними методами.

Постановка задачі

Стартові та технічні пристрої, що забезпечують вихід на близьекранний політ, різноманітні за своїми параметрами та властивостями. Вибір того чи іншого засобу ЛА визначається його аеродинамічною компоновкою та умовами польоту поблизу «екрану». Саме від відстані між ЛА та підстиляючою поверхнею в значній мірі залежать аеродинамічні показники екраноплана.

Метою даної роботи є оцінка впливу зміни відносної відстані до «екрану» на аеродинамічні характеристики транспортного екраноплану.

Оцінка впливу зміни висоти польоту над «екраном» на аеродинамічні характеристики екраноплану

Розглянемо аеродинамічну схему екраноплану «класичної» аеродинамічної схеми (рис. 1) [4].

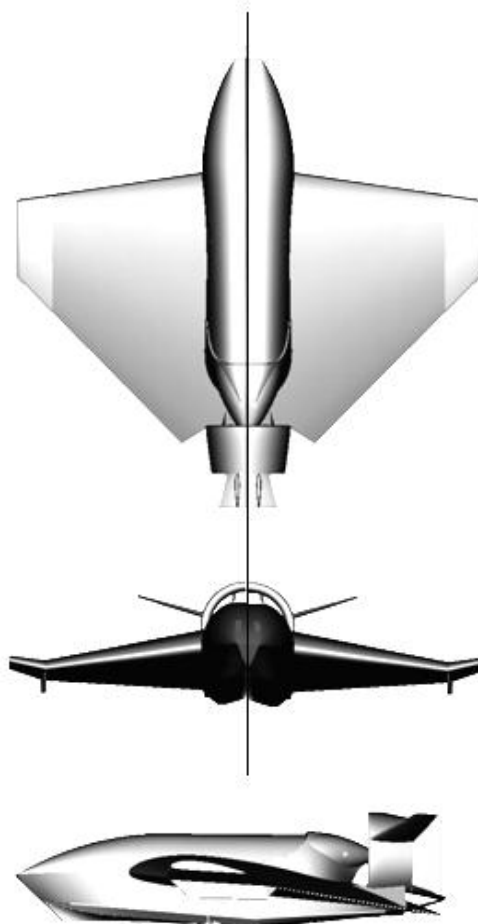


Рис. 1. Компоновальна схема екраноплану

При польоті ЛА на етапі зльоту та посадки проявляється так званий ефект «екрану», якій створюється шляхом нагнітання повітря потоком, що набігає. Тобто крило таких апаратів створює підйомну силу не тільки за рахунок розрідженого тиску над верхньою аеродинамічною поверхнею, а додатково за рахунок підвищеного тиску під нижньою поверхнею, що утворюється в процесі «проштовхування» повітря між підстилаючою поверхнею та крилом, внаслідок чого потік гальмує і додатково підвищує тиск, створити який можливо тільки на дуже невеликих висотах [5]. Ця висота визначається як

$$\bar{h} = \frac{h}{b} \geq 0.2, \quad (1)$$

де h - висота польоту (відстань від задньої кромки крила до екрануючої поверхні), b - довжина середньої аеродинамічної хорди крила.

При відносних відстанях від екрану $\bar{h} = 0.2 \dots 0.3$ коефіцієнт підйомної сили крила може досягати 40% ... 50% від її значення в необмеженому потоці. Подальше збільшення \bar{h} призводить до зменшення підйомної сили крила та падінню аеродинамічної якості. Наближення до екрану не тільки збільшує значення коефіцієнта підйомної сили \tilde{n}_δ , а й змінює його залежність від кута атаки α . Однак цей ефект істотний при невеликих значеннях коефіцієнта \tilde{n}_δ , котрі не перевищують $\tilde{n}_\delta = 1 \dots 1.5$. Змінюються також і моментні характеристики внаслідок зміщення центра тиску на крилі назад, що суттєво впливає на продольне балансування ЛА. В зв'язку з цим при аеродинамічному проектуванні екраноплану однією з основних задач є визначення його аеродинамічних характеристик поблизу «екрану».

Оскільки на висотах $\bar{h} \leq 0.2$ для запобігання негативного впливу екрануючої поверхні (морські хвилі, снігові хмари і т.п.) недоцільно застосовувати екранопланний ефект, тому розрахунок залежностей $\bar{h} > 0.3$ будемо проводити кроком через $\Delta\bar{h} = 0.1$ до $\bar{h} = 0.4$, бо при більших значеннях довжина середньої аеродинамічної хорди (САХ) буде порівняльною з висотою польоту, а, як відомо [6], при цьому ефект екрану буде малим і не буде особливо впливати на аеродинамічні характеристики.

Для проведення розрахунків на основі масштабно-компонувальної схеми (рис. 1) створена розрахункова модель екраноплану для визначення його аеродинамічних характеристик в середовищі «*PANAIR*» (рис. 2).

Досліджувана програма була розроблена в ЦАГІ. В програмі використано окремий випадок методу гідродинамічних особливостей – панельно-вихровий метод (метод збуреного потенціалу) [7]. На формулах 1, 2 наведена математична модель аеродинамічних характеристик екраноплану оснований на цьому методіві.

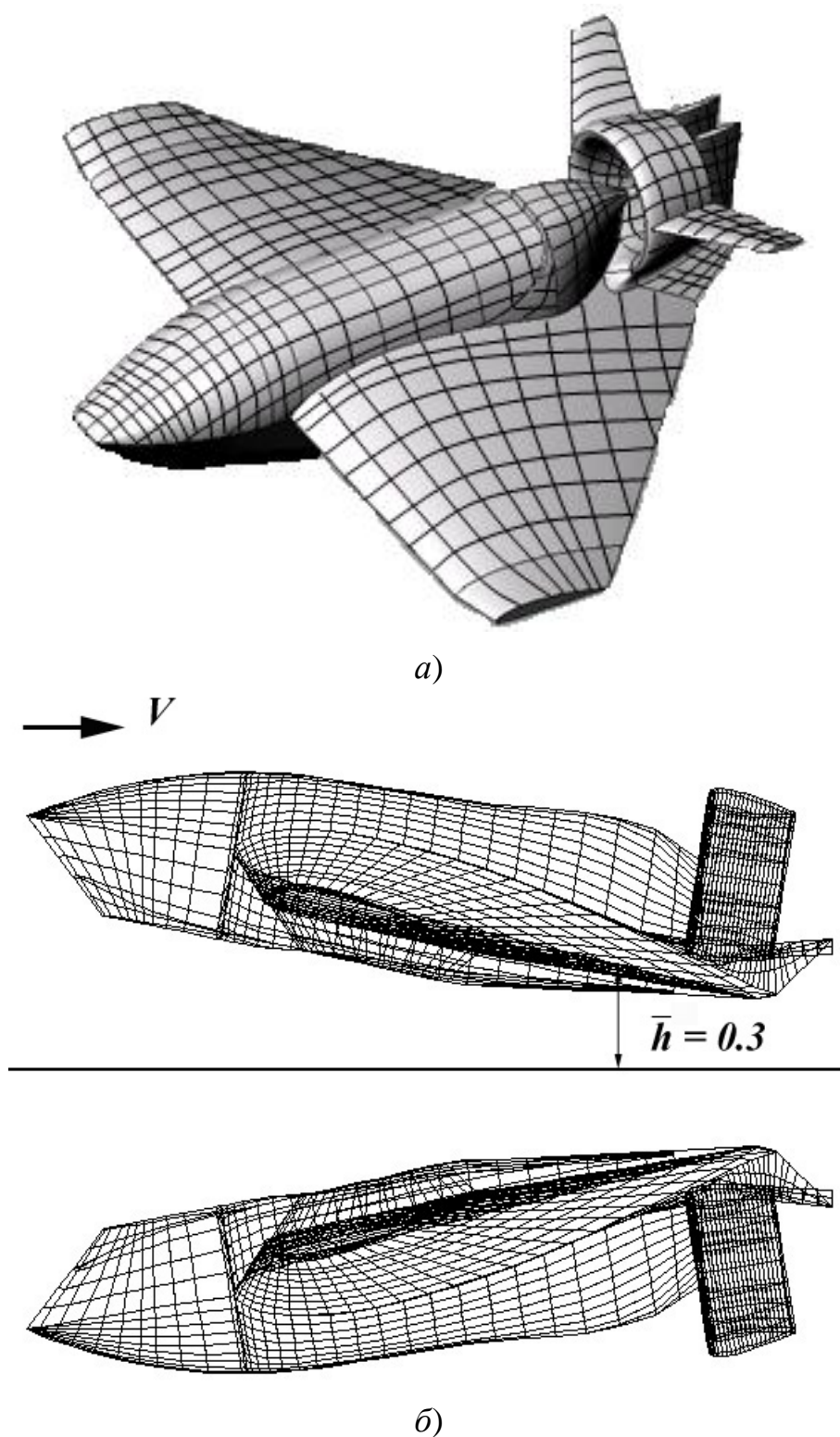


Рис. 2. Розрахункова модель екраноплану (*a* – загальний вигляд розрахункової моделі; *б* – моделювання «екрану»)

Нижче наведені результати числових досліджень аеродинамічних характеристик і «тонких» аеродинамічних ефектів, що виникають при об-

тіканні ЛА типу екраноплан, як в вільному польоті так і при русі поблизу «екрану».

$$\begin{cases} c_x = \sum_{i=1}^N \frac{(c_{p_i} \cdot n_{x_i} \cdot \Delta S_i)}{S} \\ c_y = \sum_{i=1}^N \frac{(c_{p_i} \cdot n_{y_i} \cdot \Delta S_i)}{S}, \\ c_z = \sum_{i=1}^N \frac{(c_{p_i} \cdot n_{z_i} \cdot \Delta S_i)}{S} \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} m_x = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\tilde{n}_{p_i} (n_{y_i} \cdot r_{z_i} - n_{z_i} \cdot r_{y_i}) \Delta S_i}{S \cdot l} \right\} \\ m_y = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\tilde{n}_{p_i} (n_{z_i} \cdot r_{x_i} - n_{x_i} \cdot r_{z_i}) \Delta S_i}{S \cdot l} \right\}, \\ m_z = \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\tilde{n}_{p_i} (n_{x_i} \cdot r_{y_i} - n_{y_i} \cdot r_{x_i}) \Delta S_i}{S \cdot b_A} \right\} \end{cases} \quad (3)$$

В роботі були проведені наступні дослідження:

1. Розрахунок і аналіз інтегральних характеристик екраноплану (коефіцієнтів підйомної сили, сили лобового опору та продольного моменту) при русі екраноплану в безмежній рідині та на відносній відстані від задньої точки САХ крила до екрану $\bar{h} = 0.2, 0.3, 0.4$.
2. Розрахунок і аналіз поляр екраноплану при русі його в безмежній рідині та на відносній відстані від задньої точки САХ крила до екрану $\bar{h} = 0.2, 0.3, 0.4$.
3. Визначення положення координат фокусу по кута атаки в безмежній рідині та на відносній відстані від задньої точки САХ крила до екрану $\bar{h} = 0.2, 0.3, 0.4$.

При проведенні числових дослідів були використані наступні дані:

- злітна маса $m_0 = 8000 \hat{e} \hat{a}$;
- площа крила $S = 138.8 \hat{i}^2$;
- $b_{CAH} = 8.967 \hat{i}$, $z_{CAH} = 3.462 \hat{i}$;
- швидкість польоту $200 \hat{i} / \hat{a} \hat{n}$;

Для визначення аеродинамічних характеристик ЛА в роботі використаний панельний метод збуреного потенціалу [7].

Відомо, що з набором висоти польоту над «екраном» зростає коефіцієнт підйомної сили \tilde{n}_δ , але для відносних висот польоту в границях від

$\bar{h} = 0.2 \dots 0.4$ спостерігається також зменшення коефіцієнта лобового опору \tilde{n}_x [6].

На рис. 2 наведена розрахункова модель екраноплану при польоті на великій відстані від «екрану», також і при польоті над «екраном».

Результати розрахунку показано на рис. 3, рис. 4, а також в табл. 1.

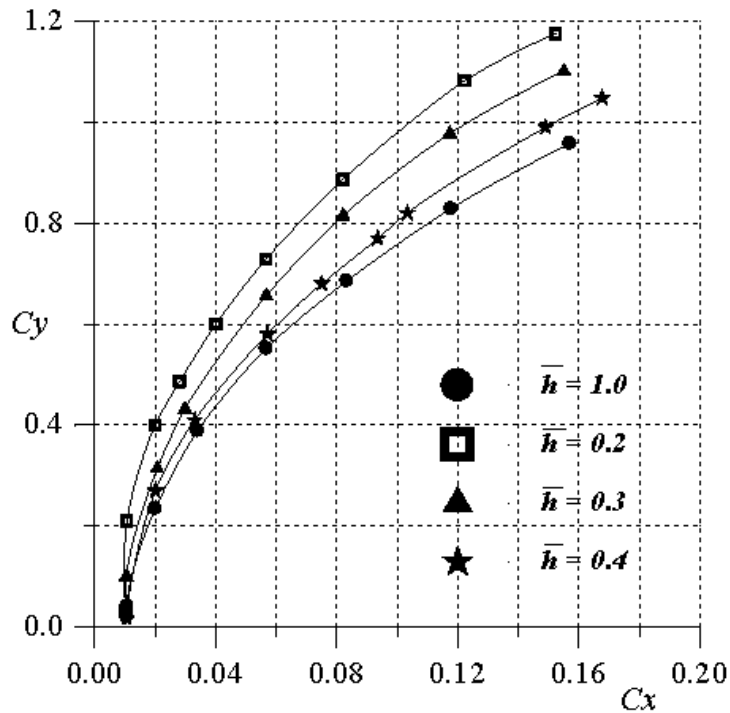


Рис. 3. Розрахункові залежності $\tilde{n}_o = f(\tilde{n}_o)$

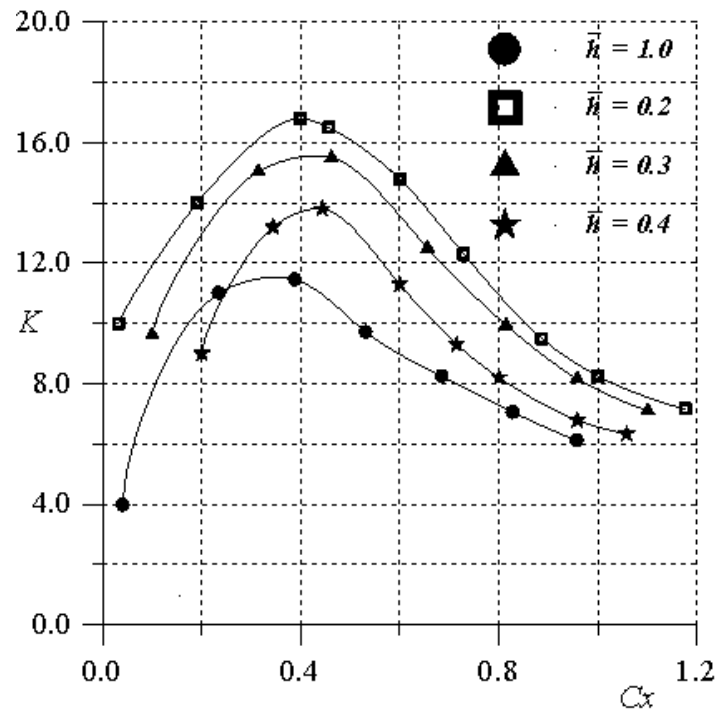


Рис. 4. Розрахункові залежності $\hat{E} = f(\tilde{n}_o)$

Аеродинамічні характеристики екраноплану

Тип дослідження	$c_y^\alpha, 1/^\circ$	$\alpha_0, ^\circ$	m_{z0}	\tilde{n}_{x0}	$\tilde{n}_{\acute{o} \acute{i} \acute{a}}$	\bar{x}_F	$K_{i \acute{a} \acute{o}}$
Розрахунок ($\bar{h} = \infty$)	0.048	- 7.00	-0.066	0.0106	0.320	0.238	11.0
Розрахунок ($\bar{h} = 0.3$)	0.048	- 8.00	-0.064	0.0104	0.380	0.251	15.5

На основі наведених на рис. 3 та рис. 4 залежностей є можливість зробити попередні висновки щодо подальшого проведення розрахунків транспортних екранопланів при значеннях відносної висоти польоту в діапазоні від $\bar{h} = 0.2$ до $\bar{h} = 0.4$. Аналіз цих залежностей показав, що на відносній висоті $\bar{h} = 0.2$ спостерігається найбільший показник коефіцієнта аеродинамічної якості, що дає змогу зробити припущення, що на цій висоті транспортний екраноплан буде мати найбільший економічний ефект. Однак, як говорилось вище, на висотах $\bar{h} \leq 0.2$ для запобігання негативного впливу екрануючої поверхні (морські хвилі, снігові хмари і т.п.), на цих висотах недоцільно застосовувати екранопланний ефект. Тому при подальших розрахунках вибираємо оптимальну відносну відстань до «екрану» $\bar{h} = 0.3$.

Висновки

На основі отриманих вище результатів можна зробити наступні висновки.

1. На основі панельного методу збуреного потенціалу з урахуванням стискання розроблена розрахункова модель для розрахунку аеродинамічних характеристик ЛА типу екраноплан, що дозволило провести дослідження, які складно реалізувати експериментально в аеродинамічних трубах і гідробасейнах.
2. Аеродинамічні характеристики зі збільшенням відносної висоти польоту транспортного екраноплану змінюються. З графіків видно, що подальший розрахунок та побудова аеродинамічного обрису екраноплану потрібно проводити при $\bar{h} = 0.3...0.35$, оскільки саме при цих величинах спостерігаються близькі до максимальних показники коефіцієнту аеродинамічної якості, а значить, що на цих висотах транспортний екраноплан буде здійснювати політ в розрахунковому режимові.

3. Отримано аеродинамічні характеристики екраноплану при русі в безмежній рідині і поблизу «екрану» на висоті, відповідній $\bar{h} = 0.3$ САХ. Виявлено, що при русі над «екраном» істотно збільшуються несучі властивості екраноплану з профілями ClarkY-11.7 і незначно збільшується лобовий опір. Екраноплан при русі поблизу «екрану» має похідну c_y^α більшу, порівняно з польотом в безмежній рідині на 10%. Деяке зменшення лобового опору при нульовій підйомній силі в сукупності зі зменшенням індуктивного опору і збільшенням несучих властивостей крила дозволяють отримати максимальну аеродинамічну якість $K_{i \dot{\alpha}} = 15.5$.

Список використаної літератури

1. Микеладзе В. Г. Авиация общего назначения. Руководство для конструкторов [текст] / Под редакцией В. Г. Микеладзе - М.: ЦАГИ, 1996. - 298 с.
2. Бюшгенс Г. С. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов [текст] / Под ред. Академика РАН Г. С. Бюшгенс - М.: Наука. Физмалит, 1998. – 816 с.
3. Лемко О.Л. Экспериментальное и численное исследование влияния «экрана» и геометрических параметров крыла на аэродинамические характеристики ЛА схемы «летающее крыло» // Аэрогидродинамика: проблемы и перспективы [текст] / О. Л. Лемко, И.Н. Куцан. -Харьков: ХАИ, 2004. -С. 58-63.
4. Development of the 8 ton class high-speed craft: The report on research work (progress report) [текст] / IGM – К.: 2006. 47 p.
5. Белавин Н.И., ЭКРАНОПЛАНЫ, второе, переработанное и дополненное издание[текст] / Н.И. Белавин, - Ленинград.: «Судостроение», 1997.– 227 с.
6. Архангельский В. Н. Расчетное исследование влияния параметров профиля на его аэродинамические характеристики вблизи экрана. / В. Н. Архангельский, С. И. Коновалов [текст] - М.: Труды ЦАГИ, вып. 2304, 1970. - С. 12-20.
7. Колобков А. Н. Панельные методы в дозвуковой аэродинамике летательных аппаратов. Учебное пособие [текст] / Колобков А. Н., Софрокин Ю. С., Софронов В. Д. - М.: Изд. МАИ, 1993. - 88 с.