

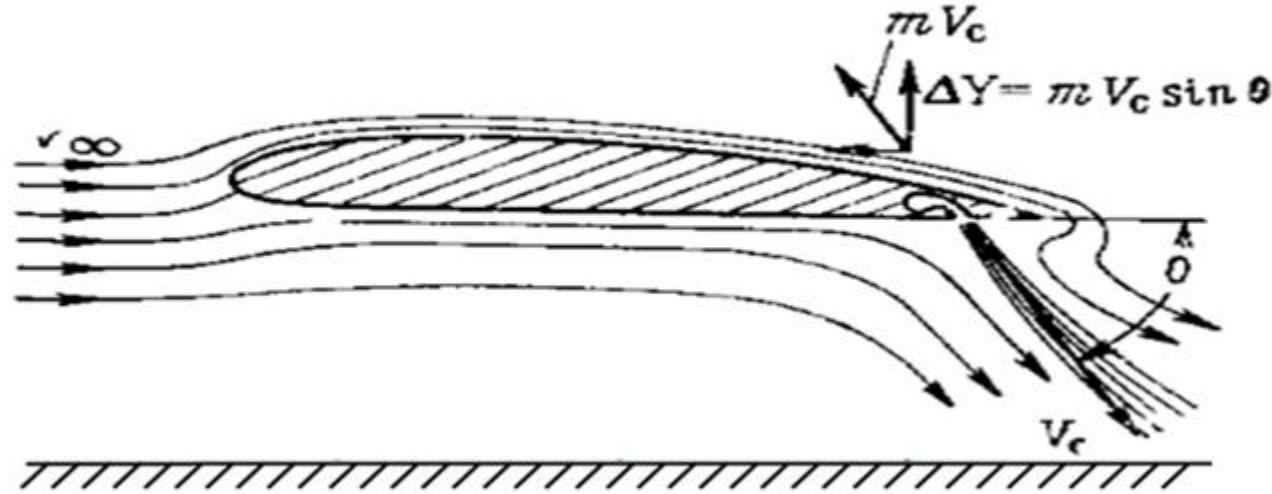
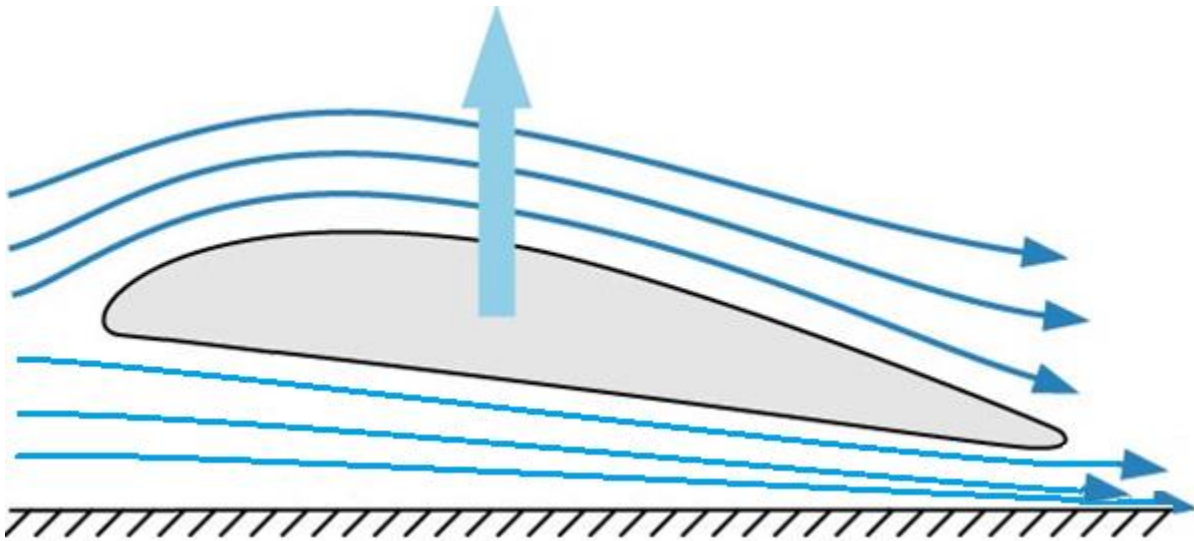
**V МІЖНАРОДНА НАУЧНА ОНЛАЙН-КОНФЕРЕНЦІЯ «ТАРАПОВСЬКІ ЧИТАННЯ»
ХАРЬКІВ, 1-15 березня 2016 р.
«СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ПРИРОДНИЧИХ НАУК»**

**ВЛАСТИВОСТІ ЕКРАНОПЛАНА
ЗІ СТРУМЕНЕВИМ ЗАКРИЛКОМ**

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

Автори: студ. ФАКС НТУУ «КПІ» Чмих В.О., проф. Шквар Є.О.

Ідея, покладена в основу дослідження. Пропонується оздобити крило екраноплана струменевим закрилком як засобом, який покращує аеродинамічні характеристики та збільшує визначальний для екраноплана вплив екрана землі.



Практична значущість досліджуваної проблеми та постановка задач досліджень. Застосування струменевого (реактивного) закрилка на екраноплані – один з перспективних шляхів покращення його аеродинамічних та вагових характеристик, а також експлуатаційних та економічних показників, що безпосередньо покращує конкурентоспроможність даного літального апарату. Оскільки для руху екраноплана є визначальним саме **ефект екрана землі**, дослідження спрямовані саме на покращення його дії. Тому особливо важливим для даної проблематики є напрямок досліджень, пов'язаний з модифікацією конструкції крила екраноплана.

Традиційні для літаків методи управління, що реалізуються шляхом застосування механізації крила у вигляді щитків чи висувних закрилків, є **малоефективні** та навіть **небезпечні** поблизу екрануючої поверхні під крилом, оскільки така механізація може сприяти запиранню потоку та збільшувати ризик небезпеки торкання задньою кромкою висунутого закрилка поверхні землі при маневруванні або через нерівність останньої. Струменевий закрилок дозволяє виключити ці негативні чинники.

Наукова актуальність досліджуваної проблеми. Ефективна оптимізація геометричних та режимних параметрів роботи струменевого закрилка та дослідження впливу такого проектного рішення на динаміку руху, стійкість і керованість екраноплана передбачають побудову, адаптацію і подальше використання методів як математичного моделювання його обтікання, так і розв'язання спряженої задачі аеродинаміки та динаміки польоту, що обумовлює **наукову актуальність** даної проблеми.

Об'єктом дослідження є процес обтікання крила екраноплана, оздобленого струменевим закрилком.

Метою даного дослідження є:

1. Визначення та аналіз сукупності чинників, що обумовлюють ефективність пропозиції застосування струменевого закрилка на крилі екраноплану з урахуванням фактору надмалих висот польоту та, як наслідок, впливу ефекту екрана землі;
2. Побудова на цій основі відповідної математичної моделі та її реалізація у вигляді відповідного алгоритмічного та програмного забезпечення;
3. Визначення геометричних та режимних параметрів роботи струменевого закрилка на крилі екраноплана, які забезпечують найбільшу ефективність з точки зору покращення несучих властивостей даного типу літального апарата.

Задачами дослідження є:

1. Аналіз визначальних фізичних особливостей процесу обтікання крила з видовженням $\lambda = 2-5$ поблизу екрану землі за наявності струменевого закрилка;
2. Побудова математичної моделі врахування ефекту екрана землі для екранопланів типових компоновань та розмірів;
3. Модифікація цієї математичної моделі на випадок наявності струменевого закрилка;
4. Розрахункове визначення аеродинамічних характеристик екранопланів типових компоновань та розмірів з урахуванням наявності струменевого закрилка;
5. Оцінка та аналіз позитивних та негативних ефектів впливу струменевого закрилка на аеродинамічні, динамічні, вагові, експлуатаційні, економічні характеристики екраноплана;
6. Проведення параметричних розрахунків з метою визначення оптимальних геометричних характеристик та режимів роботи струменевого закрилка для традиційних умов експлуатації екранопланів типових компоновань та розмірів, а також задля мінімізації можливих негативних факторів, обумовлених наявністю та функціонуванням струменевого закрилка;
7. Обґрунтування доцільності проектної пропозиції реалізації струменевого закрилка на крилі екраноплана;

ВИЗНАЧАЛЬНІ ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ, ЩО ОБУМОВЛЮЮТЬ ДОЦІЛЬНІСТЬ РЕАЛІЗАЦІЇ СТРУМЕНЕВОГО ЗАКРИЛКА НА КРИЛІ ЕКРАНОПЛАНА

Струменевий закрилок збільшує підйомну силу крила головним чином за рахунок ефекту суперциркуляції. Значення коефіцієнта підйомної сили на крилі із струменевим закрилком залежить від долі витрат потужності, що перерозподіляється на підтримку роботи струменевого закрилка, а при використанні практично всього наявного повітря, що проходить через двигун, може досягати 10-15, тобто бути збільшене в 2-3 рази.

1. При русі екраноплана над екранованою поверхнею наявність струменевого закрилка збільшуватиме позитивний вплив екрану землі. Отже виникає можливість збільшити коефіцієнт підйомної сили C_y і забезпечити рух екраноплана на малих висотах завдяки відсутності рухомих елементів механізації звичайного крила.
2. Витрати палива зменшаться за рахунок струминного закрилка, оскільки він буде забезпечувати більшу підйомну силу, що дозволяє зменшити площу S , як наслідок вагу конструкції крила.
3. На відносній висоті польоту екраноплана, меншій 0.01, де важливим питанням є забезпечення повздовжньої стійкості, даний закрилок протидіятиме виходу екраноплана на негативні значення кута тангажу;
4. Підвищена надійність та безпека полягає у відсутності рухомих елементів механізації (за виключенням конструкції зміни напрямку сопел), що також зменшить вагу;
5. Шкідливий ефект експлуатації транспортних засобів безпосередньо пов'язаний з вихлопними газами від силової установки (СУ). Запропонована модифікація дозволяє більш гнучко керувати потужністю СУ і тим самим підвищити екологічність за рахунок меншої кількості викидів вуглецевого газу.

Отже **перспективність** запропонованої модифікації екраноплана полягає в забезпеченні: економічності, екологічності, стійкості та керованості, маневреності, безпеки руху, поліпшенні льотно-технічних характеристик.

Математична модель обтікання в узагальненій формі вихідних диференціальних рівнянь аерогідродинаміки

$$\frac{\partial}{\partial \bar{x}} A_x \bar{\varphi} + \frac{\partial}{\partial \bar{y}} A_y \bar{\varphi} + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} A_z \bar{\varphi} - S_\varphi = \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left(F \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \bar{x}} \right) + \frac{\partial}{\partial \bar{y}} \left(F \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \bar{y}} \right) + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left(F \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial \bar{z}} \right)$$

Конвективні (інерційні) та джерельні члени

Дифузійні (гальмівні) члени

де $\varphi = \{u, v, w, p\}$ - узагальнена розрахункова змінна;

x, y, z – декартові координати;

A_x, A_y, A_z – коефіцієнти конвективного переносу;

F – коефіцієнт дифузійного переносу.

Граничні умови:

$u = v = w = p' = 0$ - на твердих поверхнях;

$u = u_H; v' = w' = 0$ - на вільних поверхнях.

У даному дослідженні реалізовано математичні моделі досліджуваної течії у вигляді: 1) комбінації тривимірної версії панельного метода дискретних вихорів та моделі примежового шару, що забезпечує оптимальне співвідношення порівняльної простоти з ефективністю та достатньою для інженерних застосувань точністю; 2) моделювання на рівні RANS рівнянь разом з SST моделлю турбулентності

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ЕКРАНОПЛАНІВ ТИПОВИХ КОМПОНУВАНЬ З НАЙМЕНШИМИ ТА НАЙБІЛЬШИМИ РОЗМІРАМИ

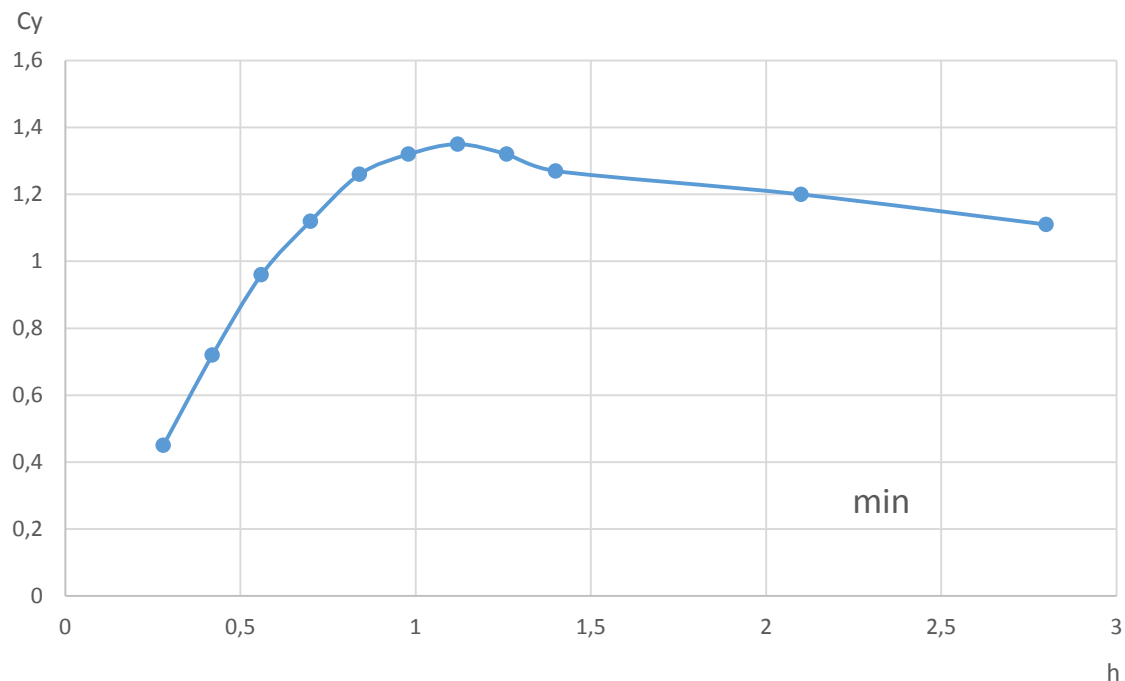


Рис. 1

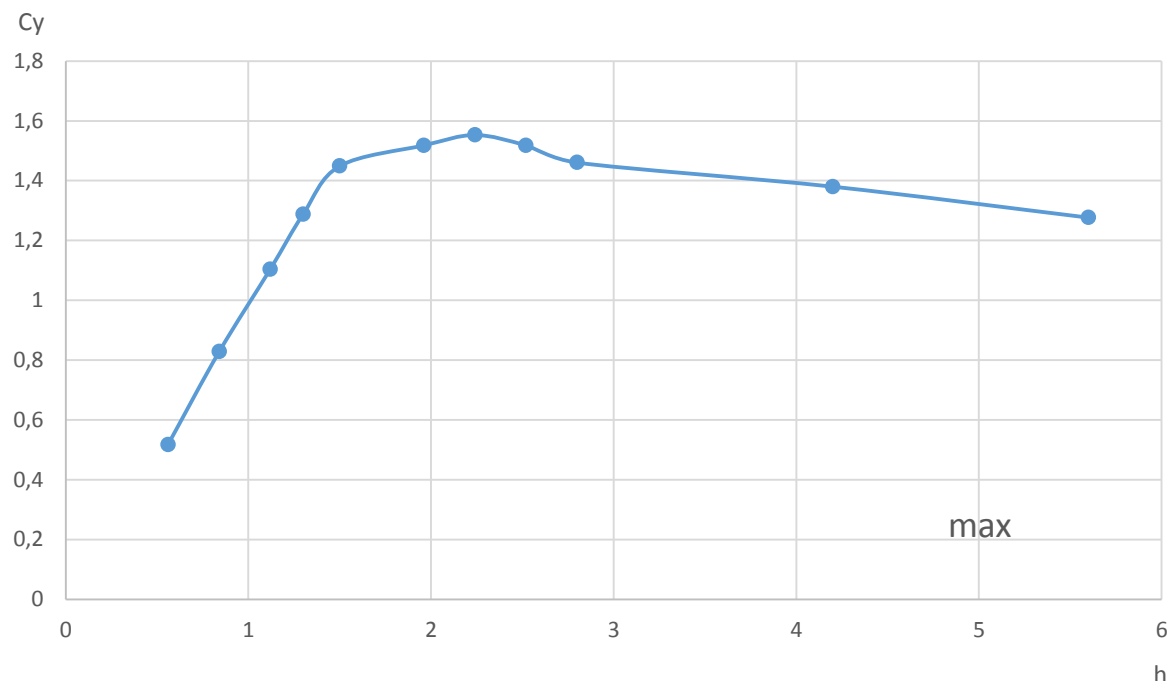


Рис. 2

Залежності коефіцієнта підйомної сили C_y при сталому куті атаки від значень відстаней між крилом та екраном h .

Відповідність розрахунків мінімальним та максимальним розмірам зазначена позначеннями min, max.

Тут і далі точками круглої форми нанесені результати з урахуванням впливу екрана, а точками квадратної форми відповідно за відсутності екрана.

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ЕКРАНОПЛАНІВ ТИПОВИХ КОМПОНУВАНЬ З НАЙМЕНШИМИ ТА НАЙБІЛЬШИМИ РОЗМІРАМИ (продовження)

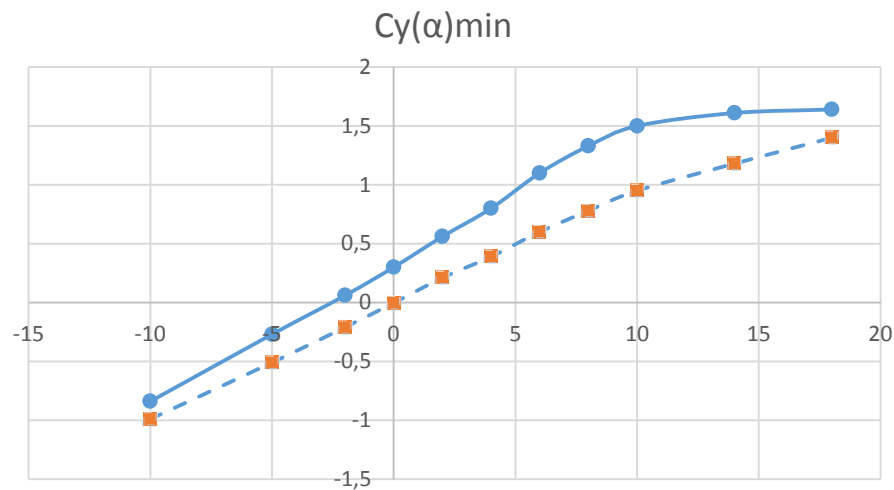


Рис. 3

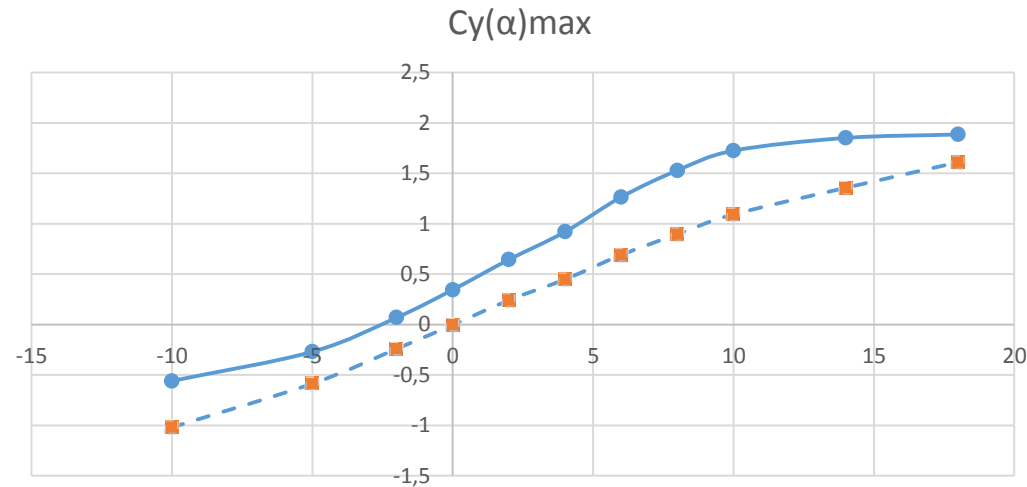


Рис. 4

Залежності $Cy(\alpha)$ для зазначеного вище діапазону геометричних параметрів екранопланів.

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ РОЗРАХУНКІВ ДЛЯ ЕКРАНОПЛАНІВ ТИПОВИХ КОМПОНУВАНЬ З НАЙМЕНШИМИ ТА НАЙБІЛЬШИМИ РОЗМІРАМИ (продовження)

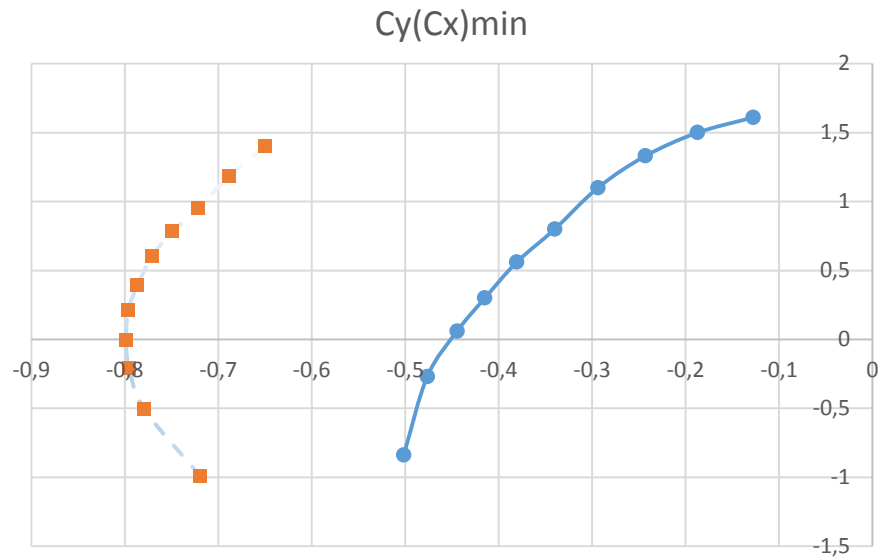


Рис. 5

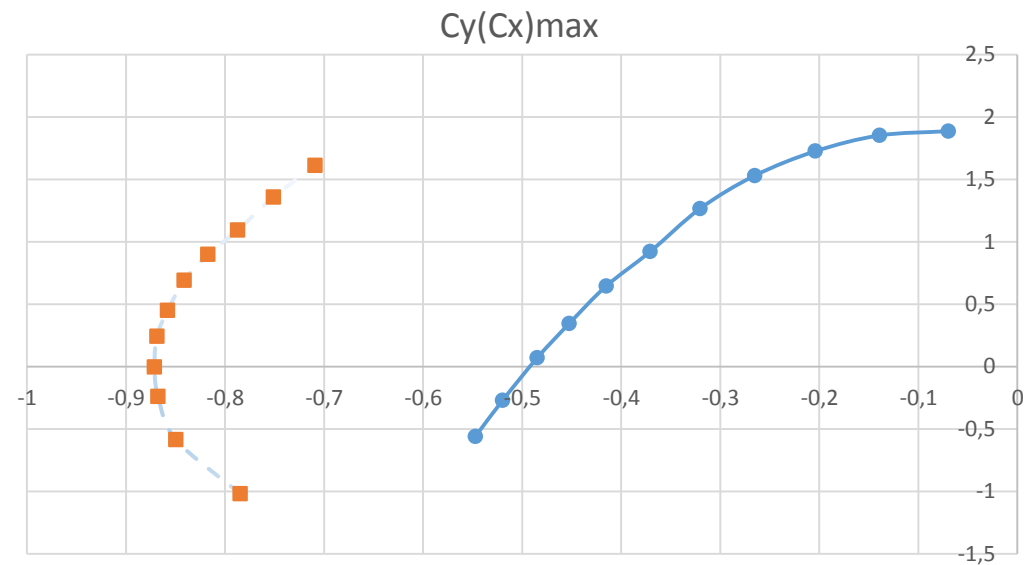


Рис. 6

Поляри $C_y(C_x)$ для зазначеного вище діапазону геометричних параметрів екранопланів.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМУВАННЯ ОБТІКАННЯ КРИЛА ЕКРАНОПЛАНА З РЕАКТИВНИМ ЗАКРИЛКОМ

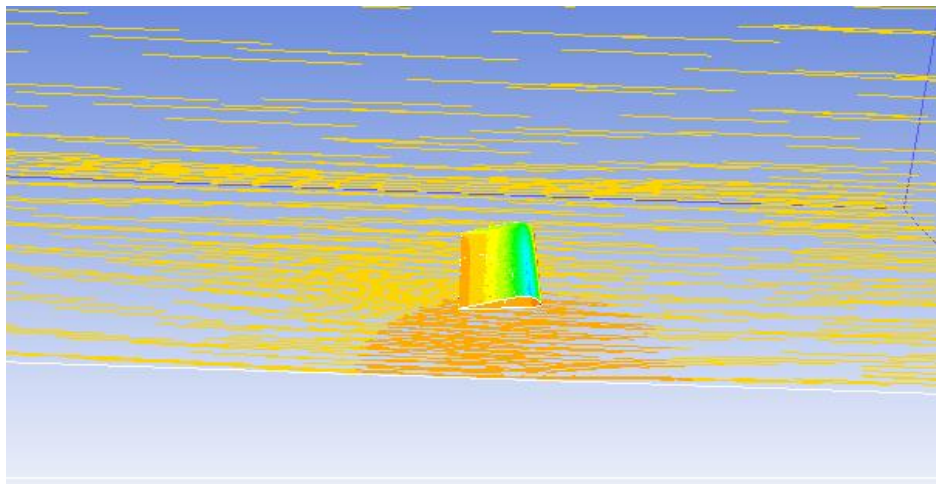


Рис. 7

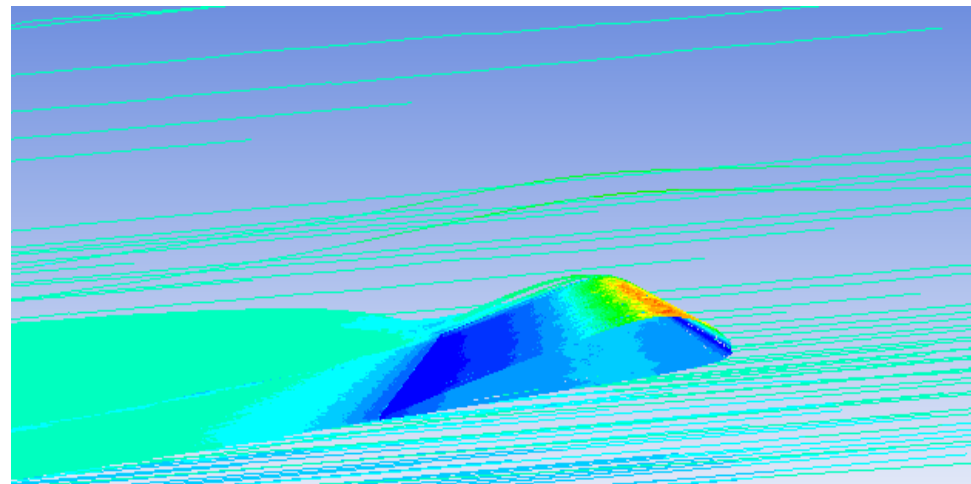


Рис. 8

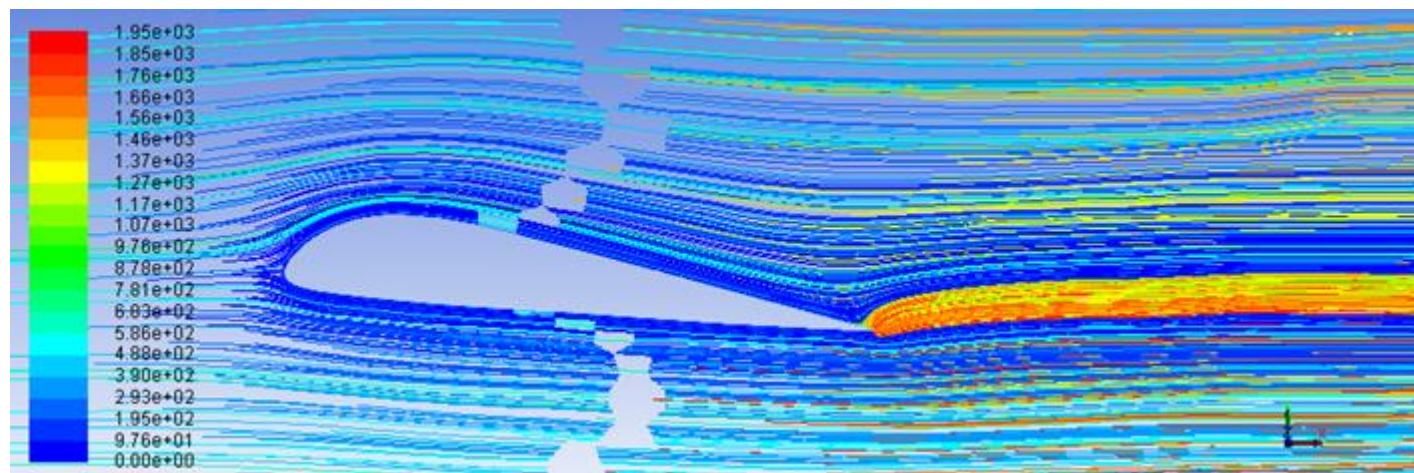


Рис. 9

ВИСНОВКИ

з отриманих розрахунковим шляхом залежностей:

1. Вплив екрана землі коректно відтворюється у рамках модифікованого панельного метода, реалізованого в програмному забезпеченні Pansum і полягає в збільшенні несучих властивостей та, зокрема, похідної C_y^α при одночасному зменшенні критичного кута атаки.
2. Моделювання формування обтікання на основі RANS рівнянь та SSN моделі турбулентності, виконане на основі модуля Fluent пакету Ansys, забезпечує більш інформативну картину обтікання, але є не менш ніж на 2 порядки більш витратним за процесорним часом та оперативною пам'яттю.
3. Отримані результати є позитивним підґрунтям для подальшої модифікації розробленої математичної моделі та наближеного методу, в рамках якого вона втілена, з метою відтворення очікуваного ефекту впливу реактивного закрилка на екраноплані при польоті над екрануючою поверхнею.

ВИСНОВКИ ТА НАПРЯМОК ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведений аналіз запропонованого проектного рішення застосування струменевого закрилка на екраноплані довів, що:

1. Дана проектна пропозиція є доцільною для подальшої розробки та втілення, оскільки за рахунок підсилення ефекту екрана землі (основного чинника, що обумовлює політ екраноплана над поверхнею землі), вона позитивно впливає на основні аеродинамічні характеристики даного типу ЛА, підвищує його маневреність, безпеку, екологічність та економічність.
2. Ця модифікація також зменшує вагу і підвищує надійність за рахунок відсутності рухомих важких елементів механізації. Також ефективність струменевого закрилка збільшується поблизу екрана, що є корисною властивістю саме для екраноплана.
3. У подальших дослідженнях планується дослідити описані вище ефекти на відповідній математичній моделі обтікання оздобленого струменевим закрилком екраноплана з метою визначення їх кількісних властивостей, а також оптимізувати на цій основі геометричні та режимні параметри як самого даного типу ЛА, так і функціонування системи забезпечення струменевого видуву струменя і, зокрема, визначити кути і швидкості (розходи) видування у залежності від маси, компонування та режиму руху екраноплана.