

УДК 629.735.33

DOI: <http://doi.org/10.20535/0203-3771372019186934>А. С. Носик¹, бакалавр, І. С. Кривохатько², старший викладач, к.т.н.**ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЩИТКА КРЮГЕРА НА ПІДЙМАЛЬНУ СИЛУ КРИЛА ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА****En**

The front wing mechanization is used in lots of passenger aircrafts. Since it plays an important role during take-offs and landings, aerodynamics has the task of optimizing it.

In this paper is examined one of the variants of mechanization of the leading edge of the wing, the Kruger's flap. The Kruger's flap geometric parameters were defined and then changed. They include: the size of the gap between the profile and the flap, the flap adjustment angle and location angle.

Investigation of the geometric parameters of the Kruger's flap and their effect on the lifting force of the wing allow us to obtain the optimal geometry of the flap, which will create the largest lifting force among all the variants.

The purpose of this master's thesis is to study the influence of the geometric parameters of the Kruger's flap on the lifting force of the wing of the aircraft, namely:

- Influence of the adjustment angle of the Kruger's flap on the lifting force and the resistance force of the aircraft;
- Influence of the gap between the Kruger's flap and the airplane's profile on the lifting force and the resistance force of the aircraft;
- Influence of the Kruger's flap placement on the lifting force and resistance force of the aircraft.

The object of the study is the process of airflow over the Kruger's flap.

The subjects of the study are the aerodynamic characteristics of the aircraft with the Kruger's flap.

The scientific novelty of the results is obtained due to the studies that have not yet been conducted, that allow us to make recommendations for improvement of the aerodynamic characteristics of the aircraft, and save money for aerodynamic performance researches.

Ru

В данной работе рассматривается один из вариантов механизации передней кромки крыла - щиток Крюгера. Было определено параметры геометрии щитка Крюгера которые мы будем менять. К ним относятся: толщина щели между профилем и щитком, угол установки и расположения.

Исследование геометрических параметров щитка Крюгера и их влияние на подъемную силу крыла позволяют нам получить оптимальную геометрию щитка которая будет создавать наибольшую среди других вариантов подъемную силу.

Научная новизна полученных результатов связана с исследованием, которые еще не проводились, которые позволяют предоставлять рекомендации для улучшения аэродинамических характеристик летательного аппарата, и

¹ КПИ ім. Ігоря Сікорського

² КПИ ім. Ігоря Сікорського

економить время и деньги для проведения исследования аэродинамических характеристик.

Вступ

Щиток Крюгера – це тип механізації передньої крайки крила, що розгортається із нижньої сторони крила навколо передньої крайки. Також відомий як «закрилок переднього ребра» або «носовий закрилок» [1] щиток Крюгера зазвичай вирізаний із геометрії крейсерської конфігурації крила без впливу на поверхню крила поблизу і над переднім ребром. Тому на відміну від звичайного передкрилка, щиток Крюгера знаходиться у нижній стороні крила і тому не вводить розриви на поверхні, які спричиняють ранній ламінарно-турбулентний перехід на верхній поверхні. Щиток може захистити передню кромку крила під час зльоту та приземлення проти комах і сміття що, під час крейсерського польоту може також спричинити ранній перехід до турбулентного обтікання. Хоча щиток Крюгера менш ефективний у збільшенні підйімальної сили, ніж передкрилок, його обирають, коли пріоритетне зменшення опору під час польоту на ешелоні або встановлюють у кореневих перерізах, де потрібний менший критичний кут атаки, ніж на консолях. Після 70-х рр. основна увага провідних виробників літаючих апаратів була прикута до передкрилків, які значно виграли за рахунок збільшення використання обчислювальних інструментів у їхній конструкції та оптимізації. Щитки Крюгера із іншого боку залишилися практично неоптимізованими.

Декілька помітних доповідей із аеродинамічного проектування та аналізу щитків Крюгера були опубліковані починаючи за пізніх 70-х і до сьогодні. Відповідно до знань авторів, лише три із цих публікацій демонструють систематичні зусилля у напрямку їх розробки. Шумові характеристики щитків Крюгера розглядаються лише у недавніх публікаціях [2].

Щиток Крюгера може мати різну геометрію та розташовуватися у різних місцях відносно носка основного профілю крила. У даній роботі буде визначено оптимальні параметри щитка та його розміщення, за допомогою яких крило літака буде створювати найбільшу підйімальну силу. До таких параметрів входять: величина щілини між профілем крила та щитком Крюгера, кут його встановлення. Ці параметри потрібно досліджувати не тільки окремо, а також їх комбінації для того, щоб отримати єдину геометрію.

Вже досліджено, що оптимальні параметри передкрилку (у даному випадку щитка Крюгера), визначені у разі одного відхилення закрилку, залишаються оптимальними у межах точності розрахунків і за інших кутах [3]. Це дозволяє проводити дослідження аеродинамічних характеристик щитка Крюгера як механізації передньої крайки, не пов'язуючи його із положенням механізації задньої крайки крила.

У даному дослідженні деякі геометричні параметри щитка Крюгера ми не змінюємо та беремо із аналога, встановленого на *Boeing 747*, адже кореневий аеродинамічний профіль ВАС 463 саме цього літака ми використовуємо у дослідженні.

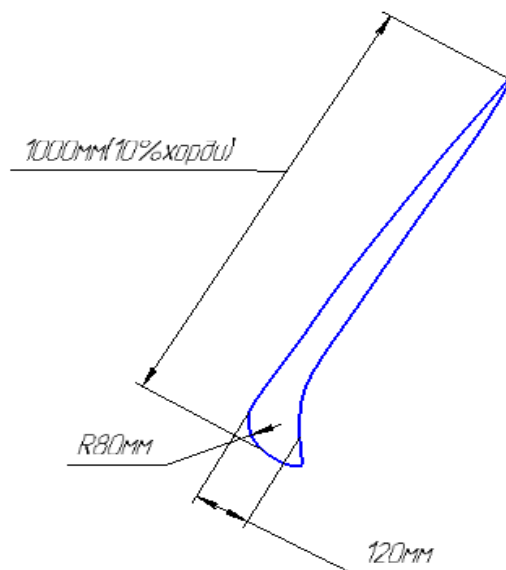


Рис. 1. Незмінні геометричні параметри щитка Крюгера

Постановка задачі

У даній роботі методами обчислювальної аеродинаміки досліджено вплив геометричних параметрів щитка Крюгера на його аеродинамічні характеристики.

Об'єкт дослідження

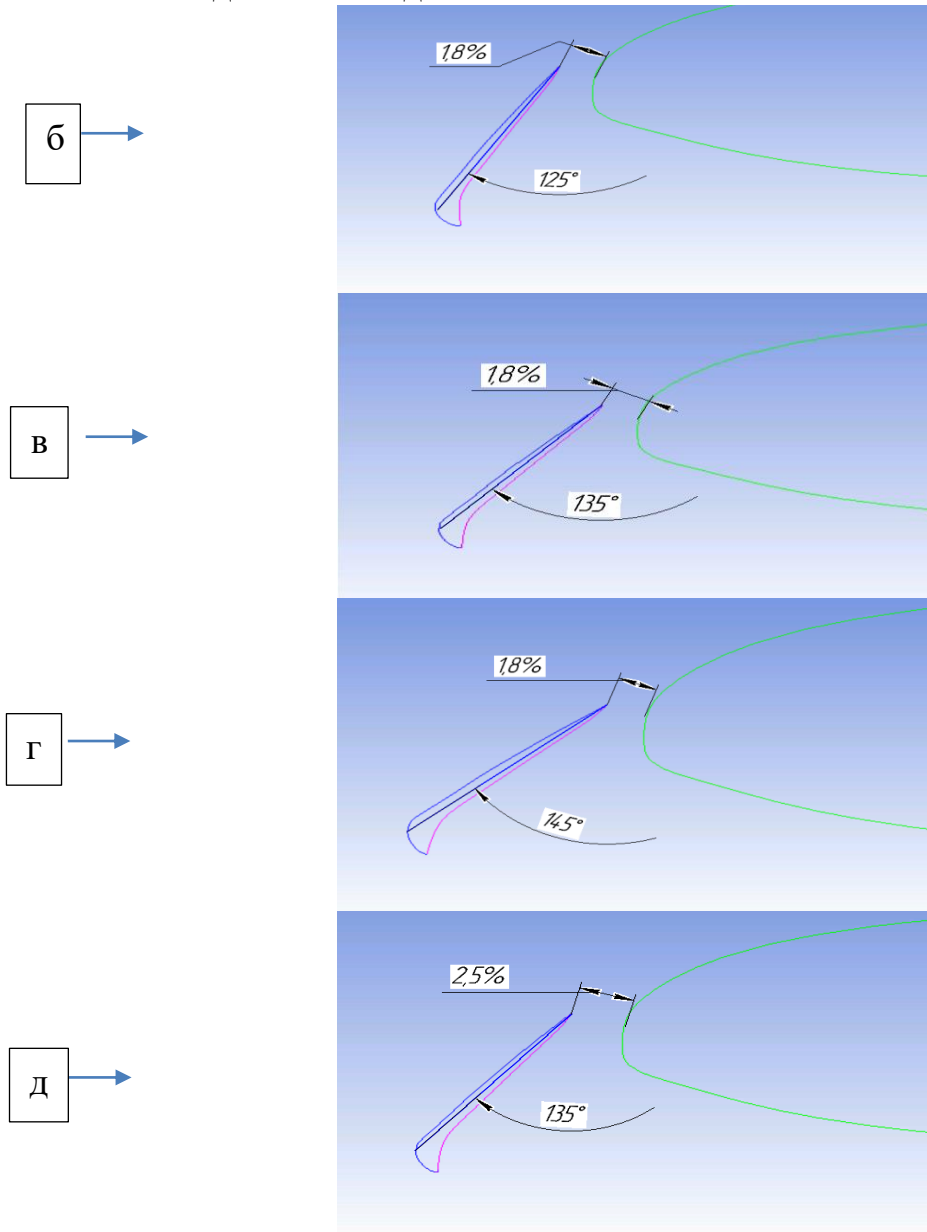
Обрано профіль літака *Boeing 747* в одному із центропланних перерізів. Для розрахунків аеродинамічних характеристик профілю було побудовано двовимірну модель у програмі КОМПАС-3D v 16. Аеродинамічні характеристики розраховані за допомогою пакету програм ANSYS 18.1

Вхідні параметри: аеродинамічний профіль ВАС 463; довжина хорди крила 10 м; довжина хорди щитка Крюгера 1 м; швидкість потоку 68 м/с (число Маха 0,2).

Спочатку був проведений розрахунок самого профілю без механізації передньої кромки (розрахунок "а"). Далі ми розраховували профіль зі щитком Крюгера у верхньому положенні (рис. 6.) зі щілиною між профілем та щитком у 1,8 % (від хорди профілю) та різними кутами встановлення $\theta = 125^\circ, 135^\circ, 145^\circ$ (рис. 2. б, рис. 2. в, рис. 2. г). Для варіанту, який отримав найкращі аеродинамічні характеристики, ми залишили кут встановлення та провели дослідження для щілин розміром у 2,5 % та 3 % (рис. 2. д, рис. 2. е). Найкращий із цих результатів (комбінація кута вста-

новлення та щілини між щитком і профілем) ми розмістили у нижньому положенні (рис. 7.).

Побудована структурована розрахункова сітка із моделюванням примежового шару. Безпосередній розрахунок було виконано із типом розв'язувача *pressure-based*, моделями турбулентності Ментера та Спаларта-Алмараса із параметрами, встановленими за замовчуванням, та у стандартних атмосферних умовах ($H = 0$ м). Такий розрахунок не дозволяє визначити абсолютні величини опору, але дозволяє проводити їх порівняння для кількох подібних випадків.



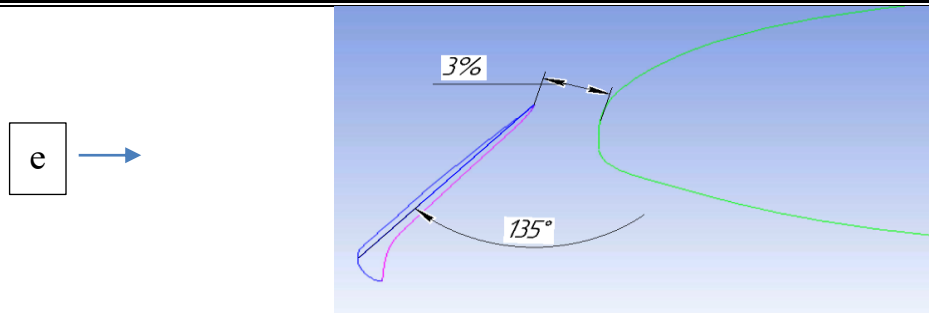


Рис. 2. б – модель профілю із щілиною 1,8% та $\theta = 125^\circ$; в – модель профілю із щілиною 1,8% та $\theta = 135^\circ$; г – модель профілю із щілиною 1,8% та $\theta = 145^\circ$; д – модель профілю із щілиною 2,5% та $\theta = 135^\circ$; е – модель профілю із щілиною 3% та $\theta = 135^\circ$

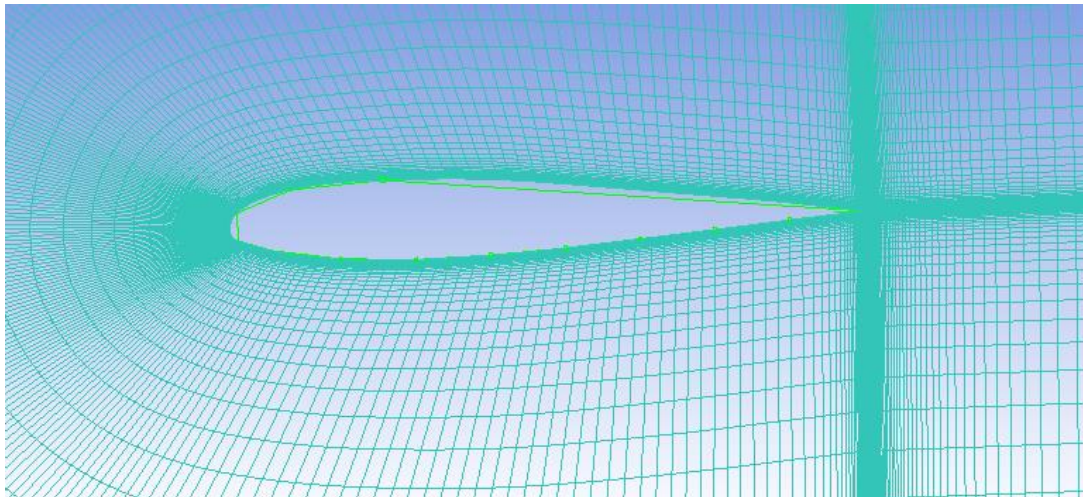


Рис. 3.1. Розрахункова сітка для моделі варіант «а»

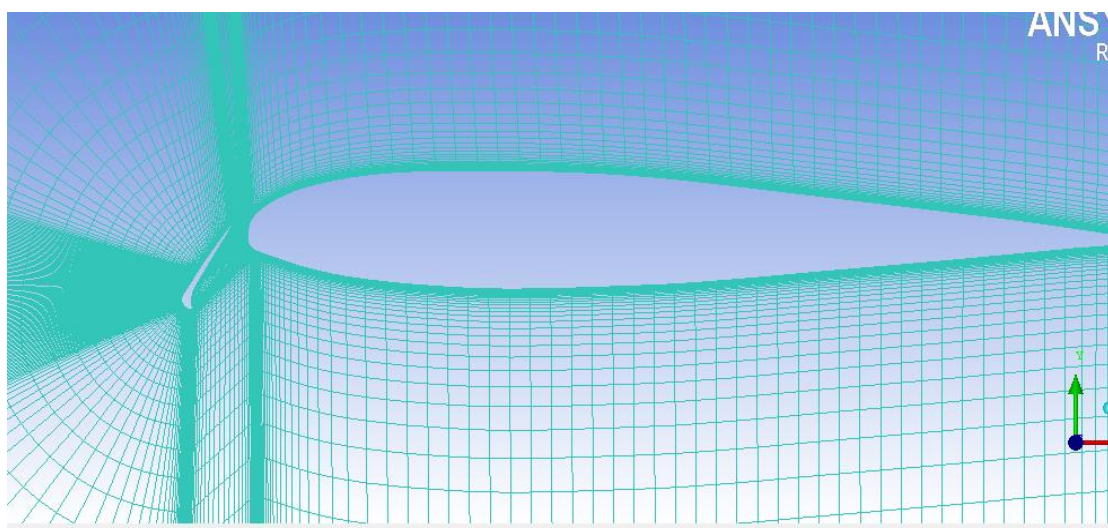


Рис. 3.2. Розрахункова сітка для моделі варіант «б»

Результати розрахунків аеродинамічних характеристик моделі для нижнього положення щитка.

Обчислено аеродинамічні характеристики для кожного варіанту окремо та порівняно їх результати (рис. 4 – рис. 5).

Під час порівняння аеродинамічних характеристик варіантів «б», «в», та «г», які мали однакову товщину щілини (1,8%), із графіку $C_y(\alpha)$ бачимо, що найкращі результати ми отримали за $\theta = 135^\circ$ (вар. «в»). Якщо порівнювати ці результати із профілем без щитка (вар «а»), то кожен із них має вищі показники $C_{y_{\max}}$ (вар. «г» покращив на 8 %, вар. «б» на 25 %, вар. «в» на 30%).

Далі ми порівняли результати при куті встановлення $\theta = 135^\circ$ та щілинах 1,8, 2,5 і 3,0 % (вар. «в», «д», «е»). Після розрахунку ми отримали, що $C_{y_{\max}}$ для кожного із варіантів відрізняється менш ніж на 1%, тобто практично однаковий за майже однакових C_x . Тому варіант «е» має більші величини підйімальної сили на закритичних кутах атаки, що відіграє важливу роль для безпеки польоту, але із точки зору конструктивних міркувань, виготовлення механізму висування такого щитка буде складнішим ніж для варіанту «д» та «в».

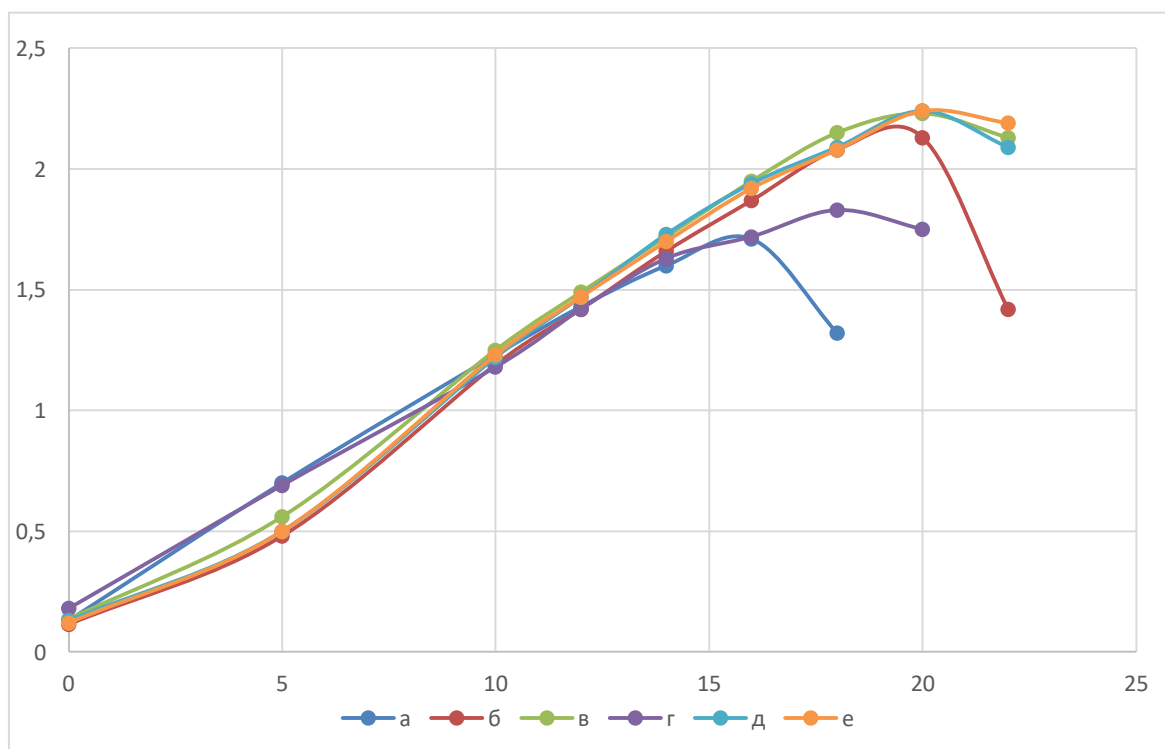


Рис. 4. Порівняння залежностей коефіцієнту підйімальної сили від кута атаки

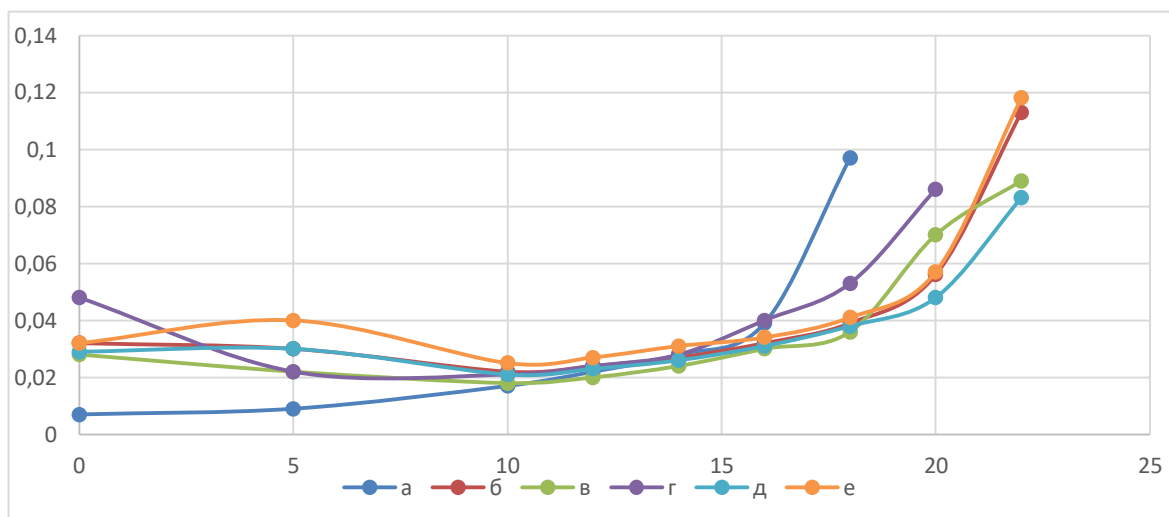


Рис. 5. Порівняння залежностей коефіцієнту сили опору від кута атаки

Результати аеродинамічних характеристик у залежності від положення щитка Крюгера.

Для різних положень щитка (рис. 6 – рис. 7) за однакових його параметрах (щілина 3%, $\theta = 135^\circ$) було досліджено аеродинамічні характеристики та порівняно із профілем без механізації. Із графіку $C_u(\alpha)$ (рис. 8.), ми бачимо, що найкращі показники ми отримали у разі верхнього положення щитка Крюгера, збільшивши коефіцієнт підйімальної сили у порівнянні із гладким профілем більш ніж на 30%. Щиток Крюгера у нижньому положенні, хоча і має максимальний коефіцієнт підйімальної сили більший, ніж у профілю без щитка, але покращує його лише на 4%.

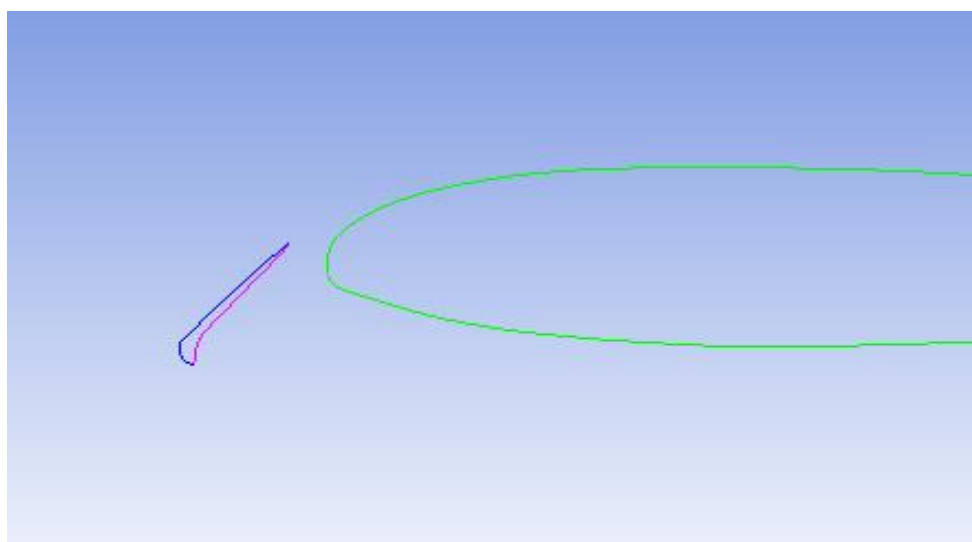


Рис. 6. Верхнє положення щитка Крюгера

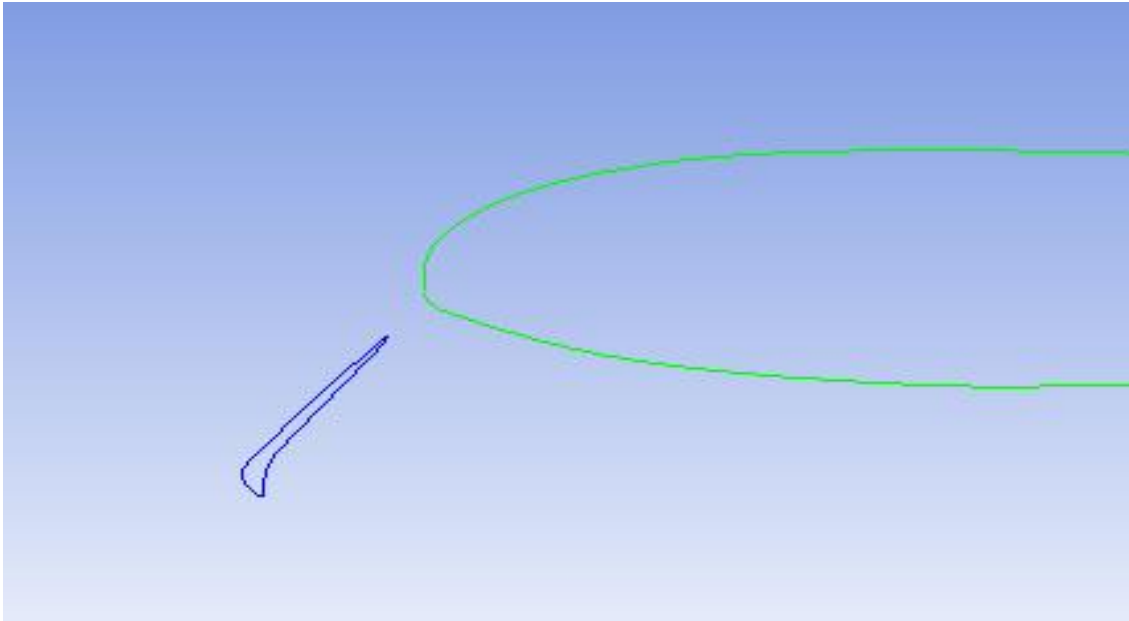


Рис. 7. Нижнє положення щитка Крюгера

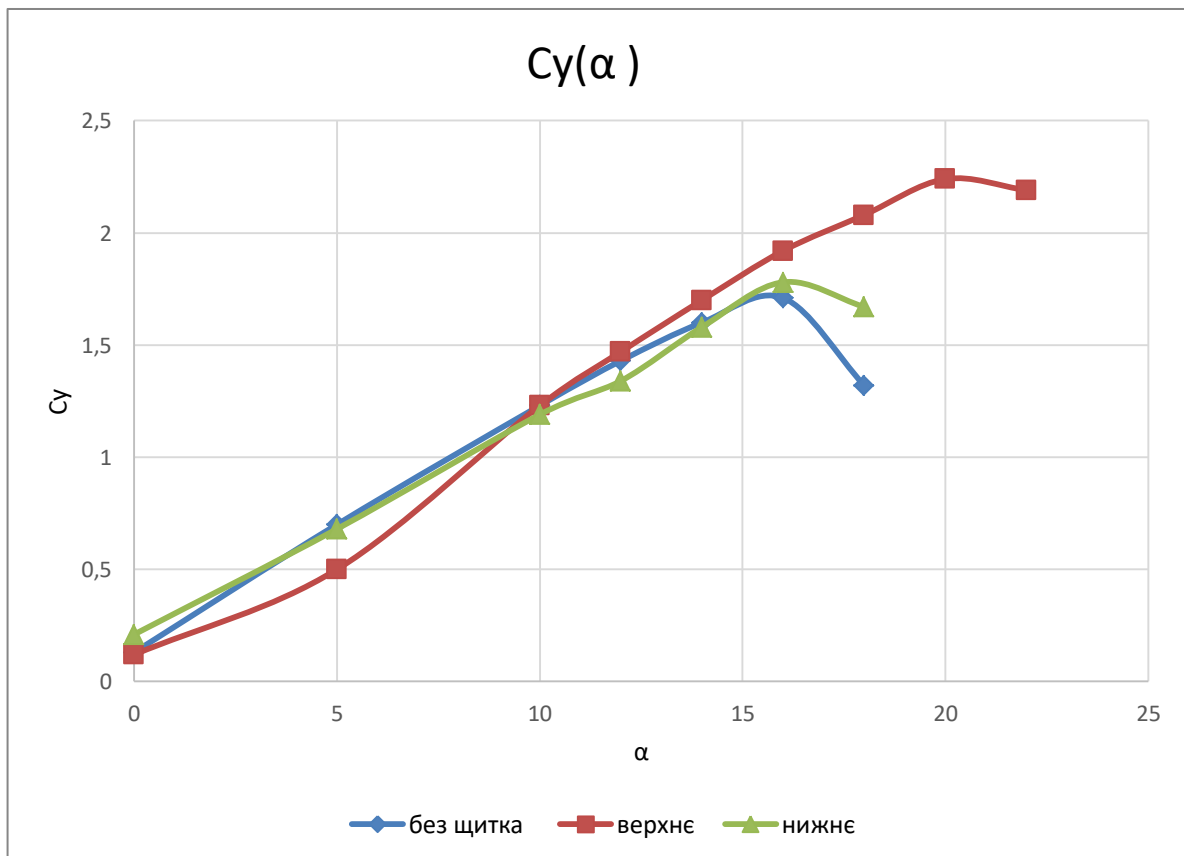


Рис. 8. Порівняння залежностей коефіцієнту підймальності від кута атаки

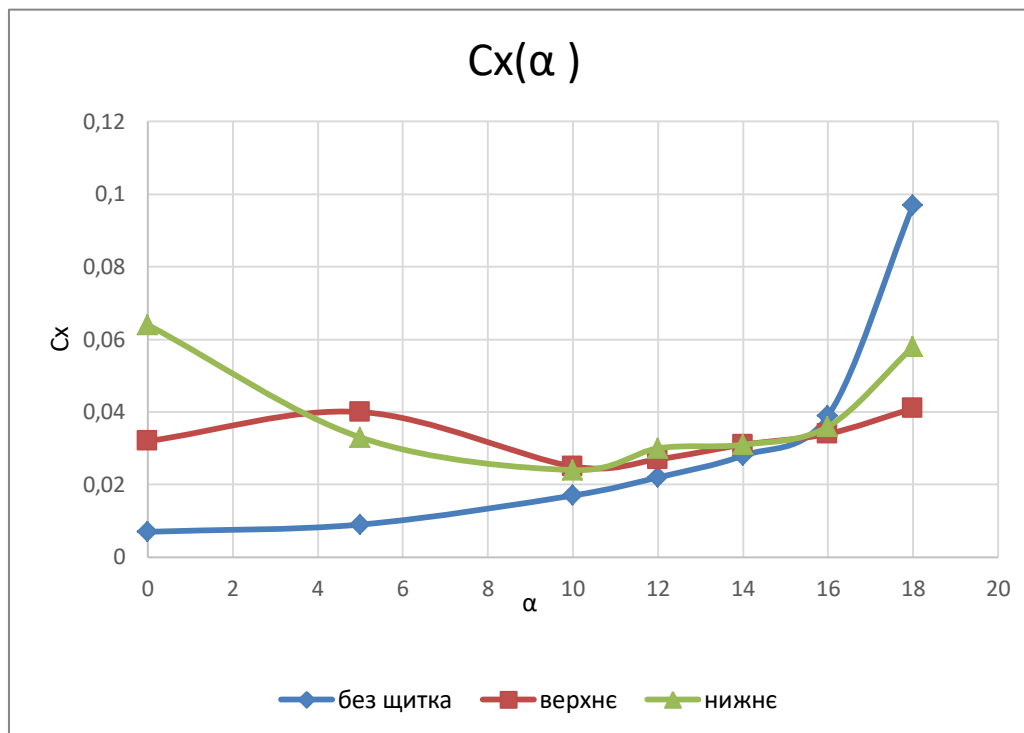


Рис. 9. Порівняння залежностей коефіцієнту сили опору від кута атаки

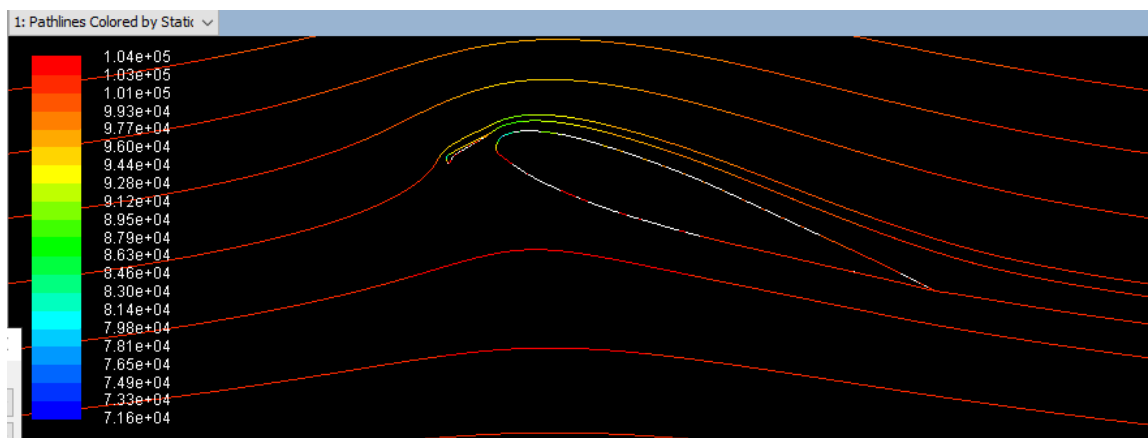


Рис. 10. Лінії току (верхнє розташування щитка)

Висновки

Визначення аеродинамічних характеристик різних варіантів щитка Крюгера дозволяє зробити такі висновки :

Варіанти «б», «в» та «г» зі щілиною у 1,8% мали різні кути встановлення щитка Крюгера. Найкращий результат аеродинамічних характеристик ми отримали за $\theta = 135^\circ$ (варіант «в»).

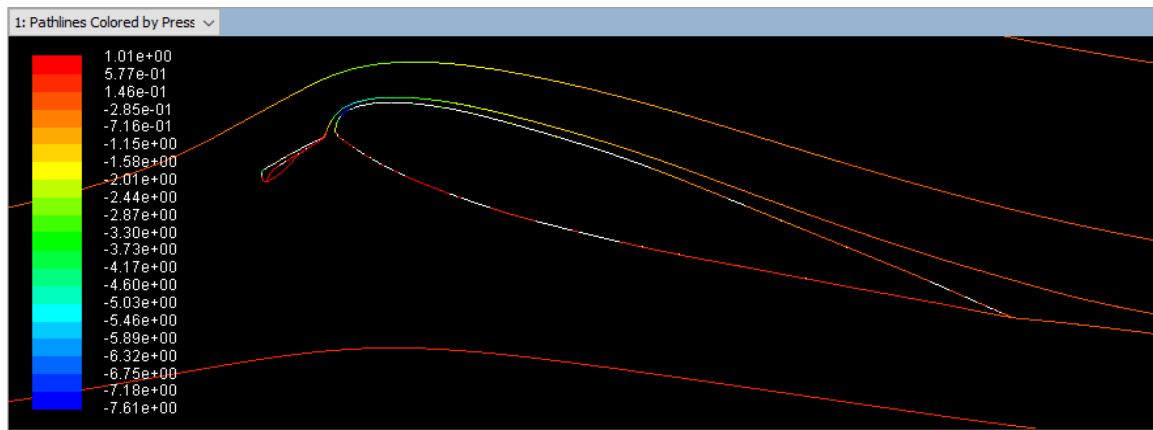


Рис. 11. Лінії току (нижнє розташування щитка)

Під час порівняння варіантів із $\theta = 135^\circ$ та щілинами 1,8; 2,5 і 3,0 % (вар. «в», вар. «д», вар. «е») результати аеродинамічних характеристик отримали майже однакові. Але тому слід зауважити, що застосування на літаку щитка Крюгера у варіанті «е» є кращим для безпеки польоту, адже він має вищі значення коефіцієнта підйімальної сили на закритичних кутах атаки, хоча із конструктивної точки він складніший за варіанти «в» та «д».

Розташування щитка у верхньому положенні дає значний приріст коефіцієнту підйімальної сили (із 1,7 до 2,25 для двовимірного випадку) та критичного кута атаки (із 16° до 20°) на відміну від нижнього положення.

Список використаної літератури

1. Авиация: Энциклопедия. М.: Большая Российская Энциклопедия. Главный редактор Г. П. Свищев. 1994. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/2532/Крюгера.
2. *H. Dogus Akaydin* “Computational design of a Krueger flap targeting conventional slat aerodynamics” [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170000311.pdf>.
3. *Дашивець, О. М.* Оптимізація параметрів механізованого крила з високонесучим профілем [Текст] / О. М. Дашивець, О. Ю. Кіржнер, І. С. Кривохатько, О. В. Овчар. // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки», 13–14 квітня 2017 року, Київ, с. 45–49.