

УДК 629.7.

**Оксенчук Д. І.<sup>1</sup>, бакалавр, Казакевич М. Л.<sup>1</sup>, к.х.н., с.н.с.**

<sup>1</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського

## **ПРОТИБЛІДНЮВАЛЬНА СИСТЕМА ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Обладнання для боротьби із обледенінням є засобом, який використовується для запобігання накопиченню снігу, льоду та інію за допомогою електромеханічних, хімічних, термічних чи пневматичних методів. Найчастіше вони використовуються для видалення снігу та льоду з поверхні літаків і морських суден, але можуть служити і для інших приватних цілей.

На основі проведеного аналізу ринку, системи захисту від обледеніння класифікуються на названі нижче типи, які матимуть найбільшу частку на ринку у 2024 році:

- електроімпульсні системи;
- рідинні системи;
- системи, які використовують гарячий потік повітря;
- електротеплові системи.

Створення ефективної протибліднювальної системи є необхідною вимогою безпечного польоту літаків, адже навіть на сьогоднішній день певний відсоток авіакатастроф відбувається через обледеніння.

Очікується, що глобальний ринок протибліднювальних систем для літаків зростатиме значними темпами протягом прогнозованого періоду, між 2023 і 2031 роками. У 2024 році ринок зростатиме стабільними темпами. Завдяки такому зростанню були прийняті ключові стратегії головними гравцями ринку, на основі очікуваного зростання попиту. Отже ринок є привабливим і перспективним.

В останніх пасажирських літаках, наприклад *Airbus A350 XWB* та *Boeing 787*, більш ніж 50 % вугле-пластикових композитів використовується як основа первинної структури. А саме, полімерний композитний матеріал на основі смол та вуглецевих волокон. Складається із армованого наповнювача із вуглецевого волокна і полімерної матриці. Використання композитних матеріалів для створення протибліднювальної системи дозволить забезпечити численні переваги над традиційними методами боротьби з обледенінням. Сучасні електротеплові системи усунення льоду постійної дії використовують карбонові сітчасті нанотрубки, як нагрівальний елемент. Порівнюючи з нагрівачем із карбонового волокна, як останньої існуючої сучасної системи нагріву, ефективність карбонових нанотрубок знаходиться на такому ж рівні.

Наприклад, нанотрубки мають мізерну малу вагу. У порівнянні із 8-ма пластами вуглецевого волокна –  $3633,8 \text{ г/м}^2$ , коли вага 20 шарів карбонових нанотрубок всього на всього  $0,38 \text{ г/м}^2$ , що є в приблизно у 104 рази легше.

Для попереднього схематичного проектування системи захисту від обледеніння були враховані основні методології встановлення і поєднання найефективніших методів усунення льоду. Застосовуючи електротеплову протиобліднювальну систему в поєднанні із аеродинамічною поверхнею створеною з гідрофобного матеріалу створює найефективніший захист від обледеніння.

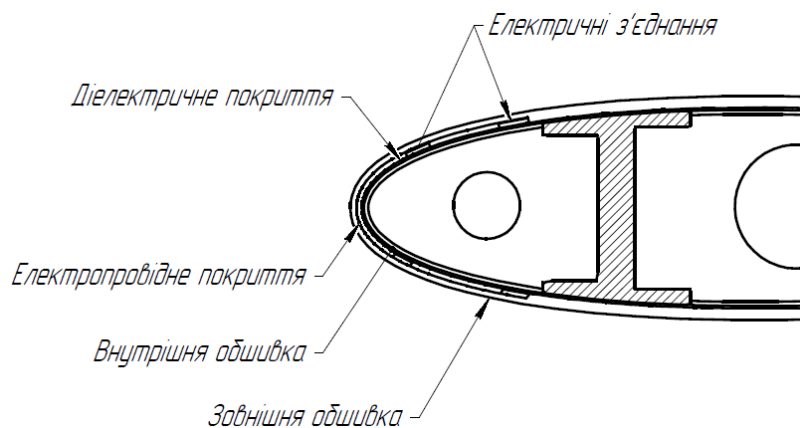


Рис. 1. Схематична структура протиобліднювальної системи, що проектуємо

Основною характеристикою системи захисту від обледеніння є її теплова потужність  $Q$ . Першим етапом дослідження є визначення геометричних параметрів аеродинамічної поверхні, яка потребує захисту від утворення льоду. На основі проведених розрахунків і за результатами отриманих даних створена розрахункова 3D модель у програмі *Catia V5*.

Теплову потужність необхідна для утримання аеродинамічної поверхні вільною від льоду, можна виразити енергетичним балансом. Враховується основне нагрівання, конвекційне охолодження та охолодження випаровуванням. Кінетичне нагрівання за рахунок крапель, які зупиняються під час удару об поверхню, має позитивний вплив, таким чином нагріваючи поверхню та знижуючи необхідний потік тепла. Те ж саме стосується аеродинамічного теплового потоку.

$$Q = Q_{sens} + Q_{conv} + Q_{evap} + Q_{kin} + Q_{aero}$$

Отже, досліджено і продемонстровано негативний вплив утворення льоду на аеродинамічні характеристики літака. Досліджено застосування струмопровідних композитних нагрівальних елементів у протиобліднювальній системі літака. Схематично спроектовано протиобліднювальну систему і розраховано її теплову потужність. Створено загальні рекомендації для ефективного усунення льоду з аеродинамічних поверхонь. На основі проведених

досліджень у подальшому можна удосконалювати і розвивати застосування даної протиобліднювальної системи в Україні.

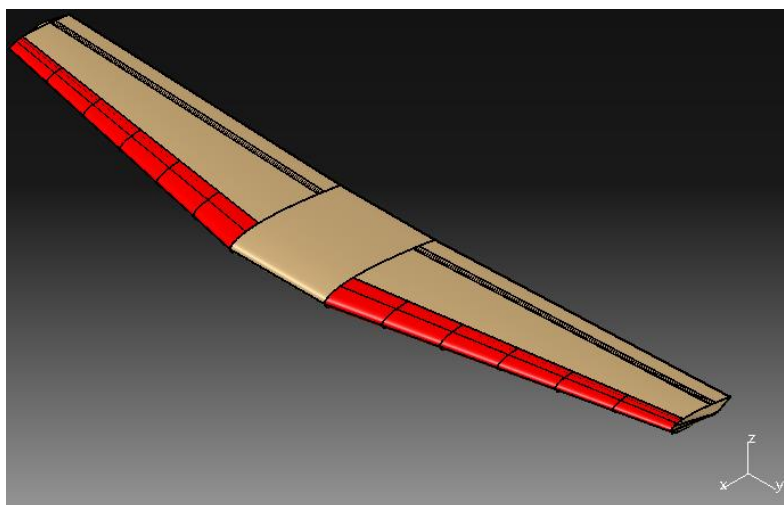


Рис. 2. Модель крила і робоча область

#### Список використаної літератури

1. <https://www.linkedin.com/pulse/aircraft-anti-icing-device-market-insights-rixyf/>
2. Incropera, F.P.: *Fundamentals of heat and mass transfer*. 6. ed. Hoboken, NJ : Wiley, 2007.
3. LTH: *Die Vereisung von Flugzeugen. Luftfahrttechnisches Handbuch* (AD 07 03 001), Ausgabe A, LTH Koordinierungsstelle, Ottobrunn: IABG, 2008.
4. Sherif,S.A.; Pasumarthi, N.; Bartlett ,C.S.; A semi empirical model for heat transfer and ice accretion on aircraft wings in supercooled clouds, *Cold Regions Science and Technology* (1997).
5. Ковтун Г. П. 5. Наноматеріали: Технології та матеріалознавство/ Ковтун Г. П., Вєревкин А. А., – Харків, 2010. – 73 с.
6. Passive Anti-Icing and Active Deicing Films / [T. Wang, Y. Zheng, A. O. Raji та ін.]. // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. – 2016. – №8. – С. 1 – 20.
7. An advanced anti-icing/de-icing system utilizing highly aligned carbon nanotube webs / X. Yao, S. C. Hawkins, B. G. Falzon. // *Elsevier*. – 2018. – №136. – С. 130 – 138.
8. Carbon nanotube anti-icing and de-icing means for aircraft / J. P. Rivera, W. T. Chee. // *Patent US2018215476A1*. – 2018.
9. Development and evaluation of a novel integrated anti-icing/de-icing technology for carbon fibre composite aerostructures using an electro-conductive textile / Brian G. Falzon, Paul Robinson, Sabine Frenz, Brian Gilbert, 2014.
10. Transparent Film Heater Using Single-Walled Carbon Nanotubes / by Yeo-Hwan Yoon, Jin-Won Song, Duckjong Kim, Joondong Kim, June-Ki Park, Sang-Keun Oh and Chang-Soo Han, 2007.