НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут аерокосмічних технологій

Кафедра авіа- та ракетобудування

До захисту допущено
В. о. завідувача кафедри
_____ Володимир КАБАНЯЧИЙ
«__» _____ 2021 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Літаки і вертольоти»
спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
на тему: «Удосконалення технології виготовлення елементів електропровідної композиції в системі запобігання обледенінню літака»

Виконав:
студент IV курсу, групи ВЛ-73
Марковська Юлія Владиславівна _____

Керівник:
доцент кафедри АРБ, к.хім.н., с.н.с.
Казакевич Михайло Леонідович _____

Рецензент:
Доцент кафедри СКЛА, к.т.н.,
Черняк Микола Григорович _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____

Київ – 2021

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	А4		Завдання на дипломний проект	1	
2	А4	ВЛ7308.10.74.00.00 ПЗ	Пояснювальна записка	47	
3	А1	ВЛ7308.10.74.00.01 ІМ	Огляд аналогів	1	
4	А1	ВЛ7308.10.74.00.02 ІМ	Аналіз наноматеріалів на основі вуглецю.	1	
5	А1	ВЛ7308.10.74.00.03 ІМ	Результати розробки та технологія виготовлення композиції.	1	
8	А1	ВЛ7308.10.74.00.04 ІМ	Собівартість та монетизація.	1	

				ВЛ7308.00.00.00.00		
	П.І.Б.	Підп.	Дата			
Розроб.	Марковська Ю. В.			Відомість дипломного проекту	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Казакевич М. Л.				1	1
					КПІ ім. Ігоря Сік орського	
Н. контр.	Поваров С. А.					
Зав. каф.	Кабанячий В. В.				Каф. АРБ Гр. ВЛ-73	

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Інститут аерокосмічних технологій

Кафедра авіа- та ракетобудування

Рівень вищої освіти − перший (бакалаврський)
Спеціальність – 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
Освітньо-професійна програма «Літаки і вертольоти»

ЗАТВЕРДЖУЮ
В. о. завідувача кафедри
_____ Володимир КАБАНЯЧИЙ
«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту
Марковській Юлії Владиславівні

1. Тема проєкту «Удосконалення технології виготовлення елементів електропровідної композиції в системі запобігання обледенінню літака», керівник проєкту Казакевич Михайло Леонідович, к. хім. н., с. н. с., затверджені наказом по університету від «23» квітня 2021р. № 1061-с

2. Термін подання студентом проєкту 14 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до проекту:_____

3.1 Технології виготовлення електропровідної композиції нагрівальних елементів з використанням вуглецевих електропровідних наноматеріалів в системі запобігання обледенінню літака

3.2. Робочі параметри нагрівальних елементів з використанням вуглецевих електропровідних наноматеріалів

4. Зміст пояснювальної записки:_____

4.1. Аналіз існуючих нагрівальних елементів для *системи запобігання обледенінню* літаків. *Постановка завдання.*

4.2. Дослідження та аналіз особливостей електропровідних композицій з використанням вуглецевих наноматеріалів.

4.3. Розробка технології виготовлення композицій з використанням вуглецевих електропровідних наноматеріалів.

4.4. Розробка варіантів технологій виготовлення нагрівальних елементів в залежності від умов їх експлуатації

4.5. Собівартість та монетизація розробки.

5. Перелік графічного матеріалу:

5.1 Аналіз аналогів.

5.2 Аналіз наноматеріалів на основі вуглецю.

5.3 Результати розробки та технологія виготовлення композиції.

5.4 Собівартість та монетизація.

6. Дата видачі завдання: *25 лютого 2021. р*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	*Аналіз існуючих нагрівальних елементів* для *системи запобігання обледенінню* літаків. *Постановка завдання.*	*до 29.03.2021 р.*	
2.	*Дослідження та аналіз особливостей електропровідних композицій з використанням вуглецевих наноматеріалів.*	*до 12.04.2021 р.*	
3.	*Розробка технології виготовлення композицій з використанням вуглецевих електропровідних наноматеріалів.*	*до 30.04.2021 р.*	
4.	*Розробка варіантів технологій виготовлення нагрівальних елементів в залежності від умов їх експлуатації*	*до 15.05.2021р.*	
5.	*Собівартість та монетизація розробки.*	*до 27.05.2021 р.*	
6.	*Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів*	*до 10.06.2021 р.*	
7.	*Перевірка на плагіат*	*до 13.06.2021 р.*	
8.	*Захист*	*з 14.06.2021 р.* *по 30.06.2021 р.*	

Студент _____ *Юлія МАРКОВСЬКА*
(підпис) (імя, прізвище)

Керівник _____ *Михайло КАЗАКЕВИЧ*
(підпис) (імя, прізвище)

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту

на тему: «Удосконалення технології виготовлення елементів електропровідної композиції в системі запобігання обледенінню літака»

Київ – 2021

Анотація

Пояснювальна записка до ДП «Удосконалення технології виготовлення елементів електропровідної композиції в системі запобігання обледенінню літака» містить 47 аркушів тексту, 26 ілюстрацій, 7 таблиць та 9 бібліографічних посилань.

Метою проєкту є виготовлення та перші досліди з використання композиції з новітніх наноматеріалів для подальшого їх використання для системи захисту від обледеніння у літаку.

В результаті був проведений огляд та аналіз класичних протиобліднювальних систем, описані характеристики наноматеріалів на основі вуглецю, досліджена велика кількість матеріалів: статей, книжок. На основі цього було сформоване ТЗ та прийняте рішення підібрати склад композиції та виготовити матеріали, що пізніше досліджувались на свої електро-фізичні властивості. Також, прийняти рішення щодо актульаності проблеми, що описується в проєкті та визначено шляхи її вирішення та реалізації.

Результати роботи можуть бути використані при розробці технічної документації щодо технології виготовлення композиції з наноматеріалів.

Ключові слова: технологія виготовлення, система запобігання обледенінню, наноматеріали.

Abstract

The explanatory note to the DP "Improvement of the technology of manufacturing elements of the electrically conductive composition in the system of prevention of icing of the aircraft" contains 47 sheets of text, 26 illustrations, 7 tables and 9 bibliographic references.

The aim of the project is to manufacture and first experiments on the use of a composition of the latest nanomaterials for their further use for the anti-icing system in the aircraft.

As a result, a review and analysis of classical anti-icing systems was carried out, the characteristics of carbon-based nanomaterials were described, and a large number of materials were studied: articles, books. Based on this, was formed a TR and a decision was made to select the composition and make materials that were later investigated for their electro-physical properties. Also, make a decision on the urgency of the problem described in the project and identify ways to solve and implement it.

The results of the work can be used in the development of technical documentation on the technology of manufacturing a composition of nanomaterials.

Key words: manufacturing technology, icing prevention system, nanomaterials.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 5
ВСТУП 6
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ СИСТЕМИ ЗАПОБІГАННЯ ОБЛЕДЕНІННЮ ЛІТАКІВ. 8
1.1. Аналіз існуючих видів протиобліднювачів. Механічні протиобліднювачі. 8
1.2. Фізико-хімічні протиобліднювачі. 9
1.3. Особливості теплових протиобліднювачів. 10
1.3.1. Повітряно-теплові ПОС постійної дії. 11
1.3.2. Елетротеплові ПОС постійної дії. 13
1.3.3. Електротеплові ПОС циклічної дії. 14
1.4. Аналіз сучасних ПОС. 16
1.4.1. Аналіз АН-124 «Руслан». 16
1.4.2. Аналіз АН-132 18
1.4.3. Аналіз Northrup Grumman Triton MQ-4C. 19
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1. 21
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ. 23
2.1. Фактори, що впливають на вибір ПОС у літаках. 23
2.2. Вуглецеві наноматеріали. 24
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 2. 32
3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОЗИЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ПРОВІДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ. 33
3.1. Технологія виготовлення суміші з композиції наноматеріалів. 33
3.2. Практична частина. Виготовлення зразків та їх випробовування. 39
3.3. Аналіз результатів та висновки. 41
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3. 43
4. РОЗРОБКА ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ. 44
4.1. Виготовлення і спосіб користування набору матеріалів електронагрівальних елементів. 44
ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4. 45
5. СОБІВАРТІСТЬ ТА МОНЕТИЗАЦІЯ РОЗРОБКИ. 46
Висновки по розділу. 47
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ. 48
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ. 49
Додаток А. 50

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЛА – літальний апарат

ПОС – протиобліднювальна система

НЕ – нагрівальний елемент

СУ – силова установка (двигун літака)

ЗПС – злітно-посадкова смуга

КЛЕ – керівництво з льотної експлуатації

ЕІ – електро-імпульсна ПОС

ЕТ - електро-теплова ПОС

БПЛА – безпілотний літальний апарат

КНТ – карбонові нанотрубки

КВ – карбонове волокно

CVD - chemical vapor deposition

CFRP – carbon fiber reinforced polymer (вуглепластик)

CF – carbon fiber (вуглецеве волокно)

GF – glass fiber (скловолокно)

Гц – Герц (одиниця вимірювання частоти)

ВСТУП

Однією із актуальних проблем літальних апаратів є зведення до мінімуму виникнення будь-яких проблем із різними метерологічними умовами. Особливо небезпечним є обледеніння літака. В моїй дипломній роботі мова піде про удосконалення технології виготовлення елементів для забезпечення утворення льоду на поверхнях літака.

Обледеніння літака пов'язане з наявністю в атмосфері води у вигляді крапель, що при різній температурі (від -40÷0 °С і до +7°С) може перетворюватись на лід.

Актуальність цієї теми пояснюється недостатньою дослідженністю процесів, пов'язаних із виникненням обледеніння на певних агрегатах літака та також наявністю великої кількості досліджень новітніх матеріалів, що досі майже не використовувались.

Об'єктом дослідження дипломного проекту виступає технологія розробки протиобледенільної системи літака на основі новітніх композитних нанаоматеріалів на основі вуглецю.

Обледеніння може нанести безліч такої непоправної шкоди, як зменшення підйомної сили літака, що у свою чергу збільшує лобовий опір. Також заважає праці органів управління літаком та зменшує видимість із кабіни пілота, збільшує вібрацію та навантаження на окремі елементи планера, негативно впливає на на роботу двигунів. Тому ефективний захист від обледеніння на ЛА більш ніж потрібний.

Основними частинами літака, на яких можливе формування льоду є:

- Передня кромка крила (в такому разі коефіцієнт підйомної сили знижується);
- Впускні отвори двигунів (тяга двигуна зменшується);
- Вікно кабіни пілота (видимість пілота);
- Трубки Піто (Pitot static tubes) – (вражається ефективність та дія льотних приладів загалом, наприклад неправильний розрахунок швидкості літака або його висоти)).

Найбільший вплив на льотні характеристики, стійкість та керованість літака впливає обледеніння крила та оперення літака.

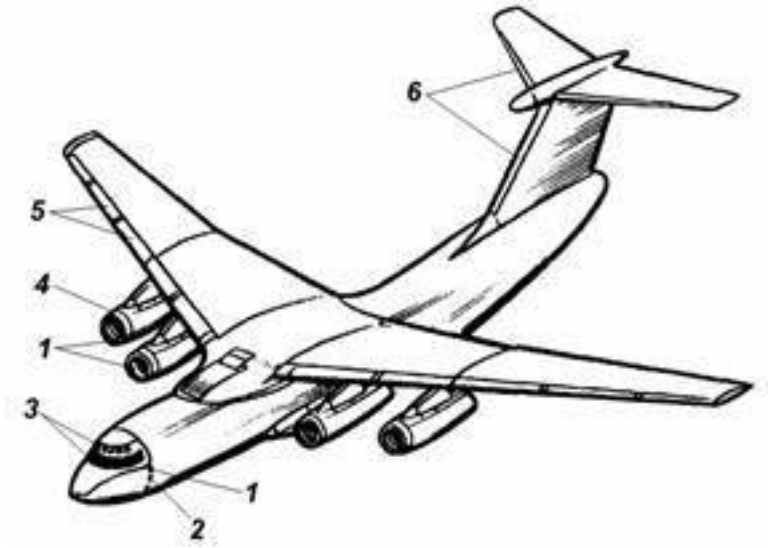


Рис. 1. Приклад розміщення ПОС на прикладі літака Іл-76

1 – датчик сигналізатора обледеніння; 2 – датчик показників швидкості; 3 – скло кабіни пілота; 4 – повітрозабірники двигунів; 5 – передня кромка крила та 6 – горизонтального та вертикального стабілізаторів.

В ході роботи будуть розглянуті велика кількість питань, щодо оптимізації та удосконалення технології виготовлення системи, що запобігає обледенінню літака із використанням нових матеріалів на основі існуючих карбонових сполук та сумішей.

Таким чином це може стати невеликим поштовхом для створення сучасного та надійного захисту для літаків вітчизняного виробництва.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ СИСТЕМИ ЗАПОБІГАННЯ ОБЛЕДЕНІННЮ ЛІТАКІВ.

Для захисту сучасних літаків від льоду використовується велика кількість різних систем та видів ПОС. Серед них:

- механічні;
- фізико-хімічні;
- теплові.

Захист може бути здійснений декількома шляхами:

1. запобігати формуванню льоду на поверхнях літака;
2. «видаляти» уже той лід, який встиг утворитися.

По аналогії до цього, існують два види ПОС, в англомовній літературі звані як anti-icing (противообліднювачі) та засоби періодичного видалення льоду з поверхні літака - de-icing (льодовидалячі).

1.1. Аналіз існуючих видів протиобліднювачів. Механічні протиобліднювачі.

Рис. 1.1. – Утворення льоду на передній кромці літака.

Механічні способи основані на тому, аби видаляти лід за допомогою будь-якої механічної дії. Це, частіш за все, використання деформації або вібрація поверхні, також дія аеродинамічних або інших зовнішніх сил.

Рис. 1.2. – Принцип дії механічної ПОС.

На рисунку 1.2. зображена схема, за якою працює пневматична ПОС. Даний приклад передує першим системам, що використовувались у 30-х роках минулого століття в США. Принцип такий, що на поверхні закріплюється протектор із спеціального еластичного матеріалу із пневнокамерами. Всередину них, при певних обставинах подається повітря під високим тиском, що попередньо відводиться від компресора реактивного двигуна (або іншого спеціально встановленного компресора). Таким чином, коли повітря подається – камери роздуваються, при цьому відриваючи та розколюючи лід, що при цьому відштовхується від поверхні силою набігаючого потоку.

Таким чином були зроблені висновки, що дана конструкція:

- в НЕ робочому стані збільшує профільний опір крила на 5-7%;
- в робочому стані – на 85-100%.

1.2. Фізико-хімічні протиобліднювачі.

Фізико-хімічні методи засновані на видаленні льоду за допомогою певних розчинів. Перший тип базується на використанні спеціальних розчинних покриттів, наприклад хлористий натрій чи кальцій, азотнокислий натрій, тощо.

Другий – на основі спиртовмісній спеціальній рідині. Це можуть бути різні гліколевмісні розчини, етиловий спирт чи будь-яка інша спиртово-гліцеринова суміш.

Звісно, такого типу розчини і суміші більш за все підходять для захисту вікон кабіни пілота чи несучих гвинтів літаків із поршневими двигунами, адже таким чином дана ПОС розпочинає свою роботу одразу після нанесення. Їх принцип дії заснований на тому, що краплі води мають змогу взаємодіяти з рідиною, після чого утворюючи розчин. Точка роси такого розчину має дещо нижчі показники, тож лід таким чином розчиняється.

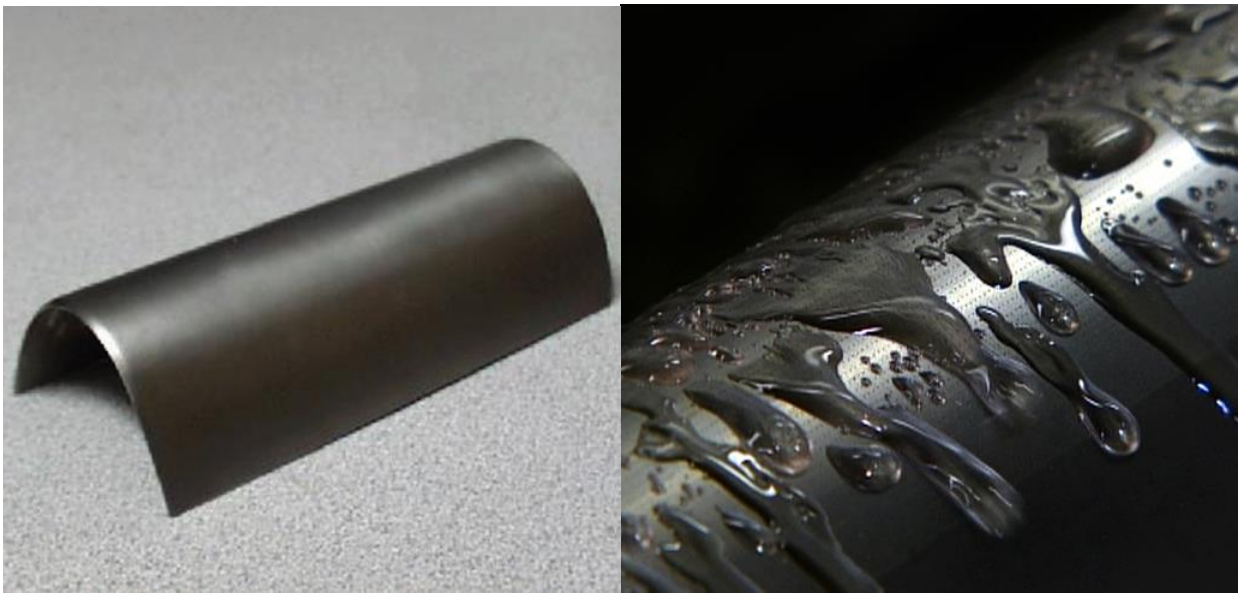


Рис. 1.3. Рідинна ПОС компанії CAV.

Одним із недоліків даного розчину виступає те, що лід розтає не повністю (окрім край малого обледеніння), а повітряний потік заважає повній його ліквідації. Також, запаси розчину вичерпуються, що згодом може призвести до повної неспроможності системи.

1.3. Особливості теплових протиобліднювачів.

У сучасних літаків для захисту в більшості випадків використовуються теплові протиобліднювачі, які в свою чергу поділяються на електричні та повітряно-теплові. Також для окремих частин (наприклад вхідних каналів двигунів) широкий попит мають системи, що використовують гаряче масло від самого двигуна.

Електричні ПОС таких великих частин літака, як крило і оперення або несучі гвинти вертольотів, застосовуються майже виключно циклічної дії, оскільки потужність, що потрібна для постійного обігріву цих частин досягає

сотень кіловат. Циклічний захист поверхонь полягає в наступному: поверхня, що обігрівається розбивається на кілька секцій, які періодично нагріваються і охолоджуються, допускаючи при цьому утворення льоду деякої безпечної товщини, що при черговому нагріванні секції просто скидається.

При виборі схеми циклічної ПОС слід враховувати те, що збільшення кількості секцій доцільно тільки до певної межі, вище якої економія все ще зберігається.

1.3.1. Повітряно-теплові ПОС постійної дії.

Найпростіша та більш розповсюджена система ПОС – повітряно-теплова постійної дії. Джерелом гарячого повітря для них може виступати:

- компресор у газотурбінному двигуні;
- теплообмінник, що обігрівається вихлопними газами;
- калориферні печі, що використовують в якості палива бензин або керосин (застосовується тільки у літаках з поршневими двигунами);
- вихлопні гази у суміші з атмосферним повітрям.

При постійному обігріві краплі води, потрапляючи на підігріту до температури вище нуля по Цельсію поверхню, не замерзаючи, починають по ній розповсюджуватись, поступово конденсуючи. Під час випаровування частина здувається набігаючим повітряним потоком. Якщо протяжність зони, що обігрівається виявиться недостатньою для повного видалення води, то вона починає замерзати на стику у вигляді бар'єрного льоду, спотворюючи контури обтічного тіла.

Існує два види ПОС постійної дії:

- так званий **«Протиобліднювач повного випаровування»**, який заздалегідь розрахований таким чином, щоб у всьому використовуваному діапазоні умов зледеніння забезпечувалося повне видалення води з поверхні, інакше кажучи, даний протиобліднювач не допускає утворення бар'єрного льоду в заданих умовах обледеніння. Зазвичай використовується на передній

кромці крила ззовні та всередині, внутрішній частині повітрозабурника силової установки.

- **«Протиобліднювач неповного випаровування»**, який не розрахований на повне видалення води, що розтікається по поверхні, тобто даний протиобліднювач допускає утворення бар'єрного льоду. Зазвичай використовується на нижній поверхні крила та на зовнішній частині повітрозабірника силової установки.

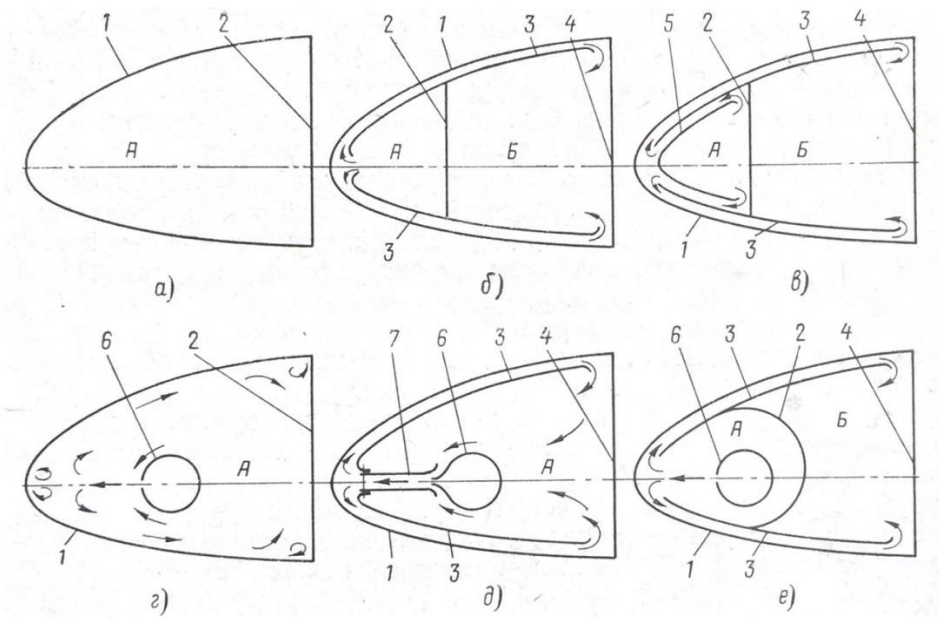


Рис. 1… Типові схеми повітряно-теплових нагрівачів поверхні:

1 - обшивка; 2 - стінка (або лонжерон); 3 - гофр; 4 - лонжерон; 5 - екран; 6 - розподільна труба («Піколло»); 7 - плоска камера змішування.

Незважаючи на те, що повітряно-теплові протиобледенільнувані системи завдяки великій надійності в роботі, простоті конструкції і виграші в масі в рази, коли доводиться захищати великі поверхні, набули широкого поширення, вони мають ряд суттєвих недоліків, основні з них:

- значні витрати гарячого повітря;
- істотний вплив відбору повітря від компресорів для протівообледенітельних систем на характеристики газотурбінних двигунів, і, відповідно, на льотні характеристики літальних апаратів;

- залежність ефективності роботи ПОС від режиму роботи газотурбінних двигунів (в разі відбору повітря від компресорів) особливо на режимы посадки ЛА;
- можливість утворення «бар'єрного» льоду на ділянках обігріву в системах неповного випаровування.

1.3.2. Елетротеплові ПОС постійної дії.

Робота електротеплових протиобледенільнуваних систем заснована на перетворенні електричної енергії в теплову. До того ж, у ролі струмопровідних нагрівальних елементів можуть бути як металеві, так і неметалеві провідники струму з великим питомим опором. У порівнянні з повітряно-тепловими ПОС електротеплові протиобліднювальні системи мають такі переваги:

- більш високий ККД, так як виходить розподіляти теплову енергію відповідно до потрібної потужності;
- виграш в масовому відношенні при використанні їх для нагрівання поверхні, що віддалених від джерела тепла (електроенергію простіше передавати);
- можуть бути встановлені на агрегатах, де встановлення спеціальних каналів може бути неможливим або затрудненим через малі геометричні розміри;
- потужність споживана системами, практично не залежить від режиму роботи силових установок, висоти і швидкості польоту, а також температури навколишнього повітря;
- вплив відбору механічної енергії від вала компресора для приводу генераторів на характеристики двигунів значно менше.

Недоліки: порівняно з повітряно-тепловими протиобліднювальними системами, електротеплові системи мають складнішу будову, більшу ймовірність відмови. А також один із основних недоліків – це те, що вони складніші в обслуговуванні.

Так само як і повітряно-теплові, вони споживають для своєї роботи великі обсяги потужності. Виходячи з цього, використання при постійному режимі роботи можливе тільки для нагрівання поверхонь, що мають невелику площу (там, де установка циклічних електротеплових систем з яких-небудь міркувань є небажаною).

Щодо будови, то електро-теплова ПОС зазвичай складається з

Нагрівник (нагрівальний пакет) складається з нагрівального елементу, закріпленого між зовнішнім і внутрішнім шаром ізоляції, який розташовується або з внутрішнього або із зовнішнього боку обшивки. Хоча також для збільшення жорсткості всього пакету, нагрівник може закладатись між двох тонких обшивок.

1.3.3. Електротеплові ПОС циклічної дії.

Джерела теплової енергії не завжди дозволяють виробляти постійний нагрів поверхні, що захищається перш за все через недостачу потужності. Тому, було винайдено теплові системи циклічного дії. Принцип їх дії наступний: вся поверхня, що має бути захищена, розбивається на ділянки (секції), які при справцюванні сигналупочинають послідовно, протягом строго обмеженого часу нагріватися. Забезпечення спрацювання системи можливе як при окремому, наприклад для крила і хвостового оперення, так і паралельно.

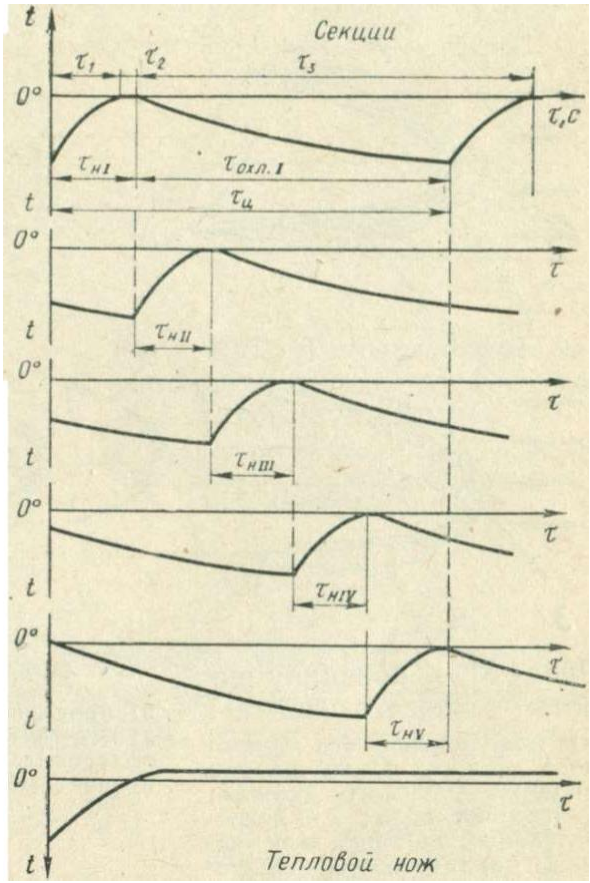


Рис. 1… Циклограма для нагріву секцій для 4-х періодної електротеплової ПОС.

При роботі однієї (або двох паралельних секцій) на поверхнях усіх інших секцій утворюється лід, товщина якого залежить від циклу роботи, кількості секцій і інтенсивності обмерзання. Протягом циклу при нагріванні секції тане шар льоду, який дотикається до обшивки, і, внаслідок зменшення сили їх зчеплення лід скидається потоком, що набігає. Однак утворення плівки води під шаром льоду не забезпечує надійне скидання шару льоду в момент роботи секції, так як він притискається до поверхні потоком, що набігає (за виключенням випадків на несучих поверхнонь з великою стріловидністю). Тому на відміну від нагрівальних елементів протиобледенільних систем постійного дії, нагрівальні елементи ПОС циклічної дії включають в себе, поряд з нагрівальними елементами секції, що працює циклічно, постійно обігрівається елемент в області передньої кромки у вигляді вузької смуги, висотою близько 15 мм, який називається тепловим «лезом».

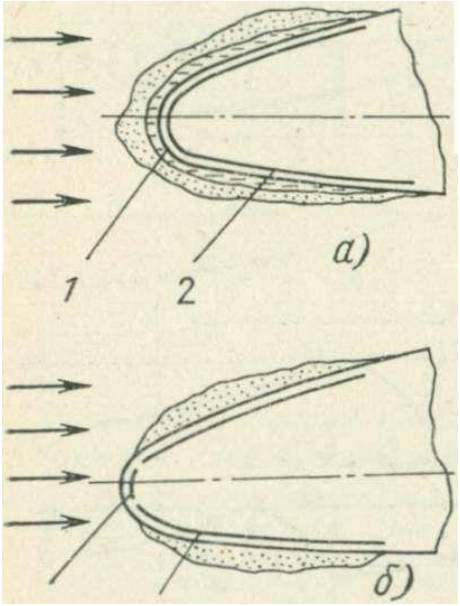


Рис. 1… Секції обігріву а) без теплового леза, б) з встановленим тепловим лезом.

Теплове «лезо» не допускає утворення льоду на передній кромці і, тим самим, як би розрізає крижаний наріст на верхню і нижню частини, що полегшує видалення льоду з поверхні секцій. У деяких випадках, коли ширина секцій завелика, застосовують поздовжньо-поперечні теплові «леза» з розташуванням поперечних теплових «ножів» на стиках секцій.

1.4. Аналіз сучасних ПОС.

Для даного підпункту були обрані декілька існуючих літаків, в тому числі й вітчизняного виробництва для аналізу їх систем, для забезпечення літака проти умов обледеніння. Загалом це АН-124, АН-132 та Northrup Grumman Triton MQ-4C.

1.4.1. Аналіз АН-124 «Руслан».

Ан-124 «Руслан» призначений для доставки військ, бойової техніки і озброєння з глибокого тилу на поля військових дій, також перевезення великогабаритних вантажів в будь-яку точку земної кулі. У літаку широко застосовуються композиційні матеріали. Підлога виконана з титанового сплаву.

Шасі з декількома стійками забезпечене 24 колесами, дозволяє використовувати літак для зльоту і посадки на різних типах ЗПС, як з ґрунтових, а також змінювати кліренс і кут нахилу фюзеляжу, що полегшує проведення вантажно-розвантажувальних робіт.

Ан-124 повернув СРСР лідерство у важкій транспортної авіації, позбавивши Lockheed C-5 Galaxy титулу найбільшого літака в світі. У 1985 р. саме на літаку Ан-124 «Руслан» було встановлено 21 світових рекордів, в тому числі за вантажопідйомністю (171219 кг на висоту 10750 м), а 6 травня 1987 був встановлений світовий рекорд дальності польоту по замкнутому маршруту (20150, 92 км). Перший політ лайнера відбувся 26 грудня 1982 року. Постачання почалися в 1987 році.

Таким чином, вважається одним із найкращих літаків вітчизняного виробництва. Тож, виходячи із КЛЕ даний літак забезпечений ЕІ ПОС загальні характиристики літака, при польоті в умовах обледеніння, наступні:

- Забезпечення захисту від обледеніння при температурі не нижче за -20°С;
- Загальні умови обледеніння (туман, підвищена хмарність, снігопад, дощ, тощо), при температурі 5°С та нижче.

Нижче наведена таблиця основних параметрів ЕІ ПОС на АН-124.

Табл. 1.1.

Напруга	±115 В
Частота	400 Гц
Сумарна використовувана потужність	3 кВА
Напруження високовольтного імпульсу	не більш ніж 2000В
Вага Загальних елементів Блоків управління Джгутів	 35 кг 150 кг 60 кг
Загальна вага	245 кг
Довжина поверхні захисту	20 м

Продовження табл. 1.1.

Потужність на 1м2	0,15 кВА
Особенности эксплуатации	Низький ресурс

Рис. 1… Ан-124 найбільший серійний вантажний літак у світі.

1.4.2. Аналіз АН-132

Легкий транспортний літак Ан-132 створений на основі величезного досвіду АНТОНОВ у розробці транспортного літака в поєднанні з найбільш інноваційними технологіями. Новий літак - це глибока модернізація всесвітньо відомого Ан-32. Ан-132 успадковує найкращі риси попередника: здатність експлуатуватися в жаркому кліматі та високогірних умовах, злітати та приземлятися з/до всіх типів аеродромів, надійність та гнучкість в експлуатації.

Ан-132 відрізняється від Ан-32 новим рівнем технічних, економічних та експлуатаційних характеристик польоту: збільшена здатність корисного навантаження, більша дальність польоту, висока паливна ефективність, нижчий рівень шуму та атмосферних викидів. Ан-132 призначений для експлуатації на коротких та середніх магістралях.

Рис. 1… Український літак Ан-132 на Dubai Airshow 2017.

Ан-132 використовує електро-теплову ПОС з характеристиками, що наведені нижче у таблиці:

Табл. 1.2.

Напруження	±115 В
Частота	400 Гц
Сумарна використовувана потужність	22,44 кВА
Напруження високовольтного імпульсу	-
Вага Загальних елементів Блоків управління Джгутів	 11 кг 55 кг 40 кг
Загальна вага	106 кг
Довжина поверхні захисту	20 м
Потужність на 1м2	1,1 кВА
Особливості експлуатації	Високі енерговитрати

1.4.3. Аналіз Northrup Grumman Triton MQ-4C.

Northrop Grumman MQ-4C Triton - американський високогірний довготривалий безпілотний літальний апарат, що розробляється для ВМС США як літак спостереження. Разом із пов'язаною з ним станцією наземного

управління це безпілотна система літаків. Так, як цей літальний апарат має забезпечувати спостереження в реальному часі, також його час знаходження в повітрі може досягати біля 30 годин, при швидкості польоту до 610 км/год., а висоті польоту до 17000 м, то забезпечення проти різних погодних умов, в особливості, протиобеледеніння має бути максимальним.

Рис. 1… Northrup Grumman Triton MQ-4C

В даному літаку використовується термо-механічна імпульсна система (TMEDS) COX. Дана гібридна термомеханічна імпульсна система, в якій спільно з механічними активаторами використовуються нагрівальні елементи, що забезпечують таяння шару льоду, що снаходить ближче до обшивки. Така гібридна система дозволяє повністю видалити лід із поверхні, що захищається, не залежачи від висоти льоду.

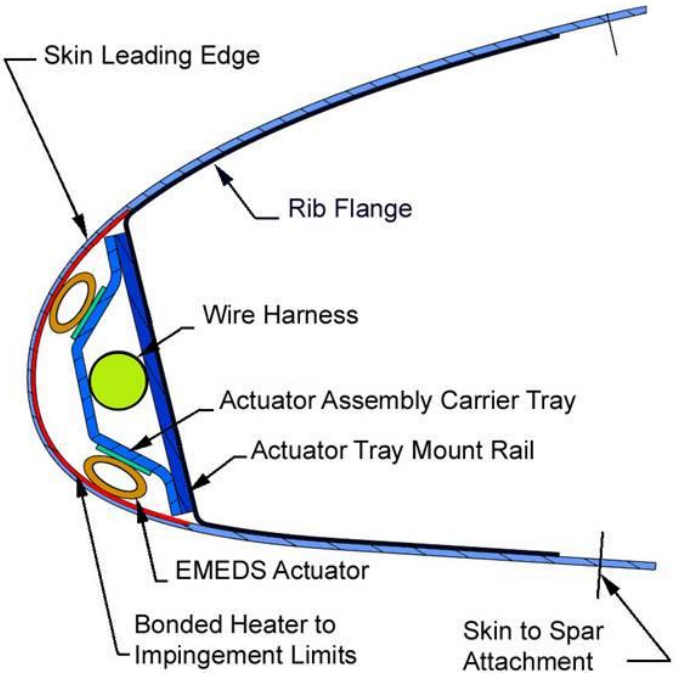


Рис. 1… Схема гібридної системи.

Деякі основні характеристики системи наведені у таблиці 1.3.

Табл. 1.3.

Напруження	±115 В нагрівники +28 В активатори
Сумарна використовувана потужність	0,18 кВА +0,6 кВА
Напруження високовольтного імпульсу	500 В
Загальна вага	71 кг + вага нагрівників
Довжина поверхні захисту	21,3 м
Потужність на 1м2	0,87 кВА
Особливості експлуатації	Призначена для профілів, що є дуже чутливі до обробки. Не має мінімальної товщини для зброcу та залишкового льду

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1.

Отже, в даному розділі були розглянуті основні види ПОС різних фізико-хімічних властивостей, та загалом, основні види систем, що використовуються на сучасних літаках. Від радянских траспортних, до безпілотних літальних апаратів. Були звроблені наступні висновки:

- Система має бути надійною та споживати допустимий рівень витрат по потужності;
- Легка в обслуговуванні таексплуатації;
- Підходити для забезпечення якнайбільш можливої площі по кромці крила чи стабілізатора;

Загалом, неможливо забезпечити повністю діючу систему протиобледеніння для літака у зв’язку з тим, що дані умову польоту літальних апаратів ще не до кінця вивчені. Тож, приходиться експериментувати та підбирати різні матеріали та співпоставляти їхні властивості, тому що достатньо важко задати умови реального польоту на основі експериментів.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ КОМПОЗИЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ.

2.1. Фактори, що впливають на вибір ПОС у літаках.

На сьогодні найефективнішими є теплові способи захисту від обледеніння. Отже, у всіх випадках, коли потрібний надійний захист у достатньо широкому діапазоні умовних випробувань (відповідно до міжнародного норми), слід застосовувати теплові ПОС.

Використання інших способів може бути доцільним лише в тих випадках, коли захист літального апарату від видалення передбачає менш жорсткі вимоги, а потужність його в цілому обмежується (як правило, на легких літаках і вертольотах з поршневими двигунами), а також коли застосування теплових способів або неможливе, або вкрай важке (згідно з певними технологічними чи конструкторськими труднощами (обтікачі антени, датчики деяких приладів та т.п.).

При виборі того чи іншого типу теплового протиобліднювача необхідно врахувати наступні фактори:

а) можливість найбільш економічного використання енергії, що відбирається від авіадвигунів. Сюди ж входить питання вибору джерела теплової енергії, його розміщення щодо поверхонь, що обігріваються, вплив енергетичної енергії на льотно-технічні характеристики авіаційного апарату;

б) придатність протипоказання протиобледенителя з точки зору необхідних ступенів захисту від обледенень, т. е. необхідний для розгляду частин літального апарату протиобліднювач повного випаровування або ж припустимо використовувати протиобліднювач неповного випаровування або циклічного;

в) можливість конструктивного виконання протиобліднювача на захищеному елементі конструкції, тобто в основному це питання вибору повітряно-теплового або електричного протиобліднювача.

2.2. Вуглецеві наноматеріали.

Вдосконалені протиобліднювальні системи постійної та змінної дії з використання карбонових сітчастих нанотрубок, що добре вирівнюються.

Карбонова нанотрубка (далі – КНТ) сітчастої будови – це горизонально орінтована повздовня плівка, що отримується методом хімічного осадження з парової фази, *(англ. Chemical vapor deposition, CVD) — хімічний процес, метод нанесення покриття, що використовується для отримання високоякісних чистих твердих матеріалів з високими характеристиками)* завдяки якому Карбон вимальовується у трубки дуже крихітних розмірів (тому й назва – нанотрубки).

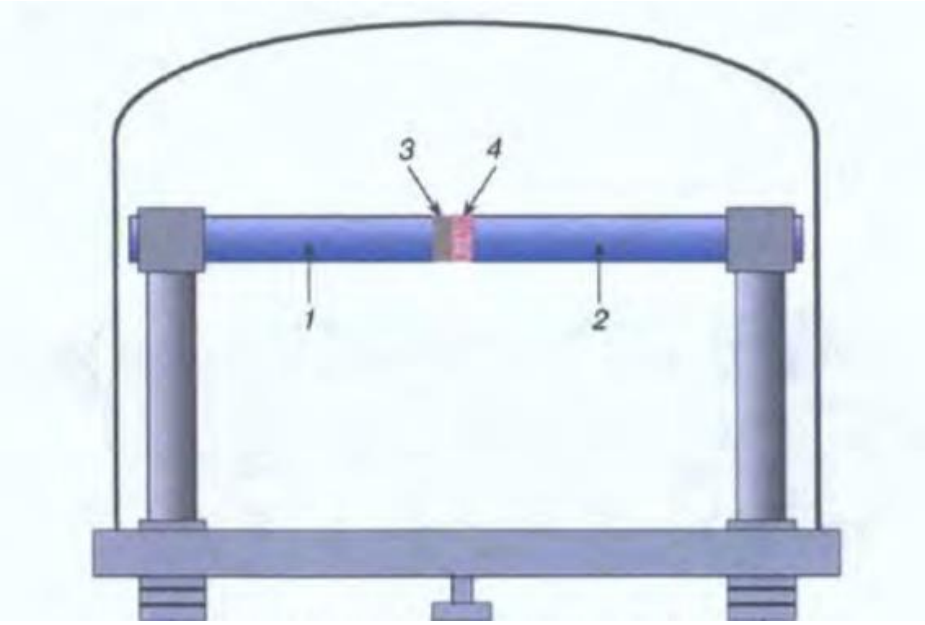


Рис. 2… Принципова схема для отримання КНТ електродуговим розпиленням. 1 - катод; 2 – анод; 3 – шар осаду з нанотрубками; 4 – плазма дуги.

КНТ дуже добре проводять струм та в більшості випадків вибудовується за напрямком утворення сітки. Контролюючи відношення сторін КНТ та кількість утворених сегментів, може бути досягнутий оптимальний опір. Шари сполучення КНТ можна порівняти з пластами вуглецевого волокна: як збірка повздовжніх (ламінарних) нагрівальних елементів. Порівнюючи з нагрівачем з КВ (карбонового волокна), як останньої існуючої сучасної системи нагріву,

ефективність карбонових трубок знаходиться на такому ж рівні. Наприклад, нанотрубки мають мізерну малу вагу (в порівнянні з 8-ма пластами КВ – 3633,8 г/м$^{-2}$) – вага 20 сполук КНТ – всього навсього 0,38 г/м$^{-2}$, що є в приблизно в 10^4 разів легше. Швидкий та постійний нагрів, ефективне споживання енергії та добра електро-термічна поведінка, також їх розміри та вдала форма пасують до будь-якої поверхні, тож КНТ можуть бути використані у будь яких місцях. Завдяки їх енергоємності та високій потужності легко може бути досягнута швидка розморозка. Обидві властивості для постійного та змінного протиобледеніння були перевірені, а в особливості – для системи змінної дії (de-icing), з постійними потребами в 4,9 кВт м$^{-2}$, 40 шарове трубчасте скловолокно може прибрати утворений наросший лід не пізніше аніж за 15 секунд.

В холодних та пасмурних умовах літак схильний до накопичення льоду на певних аеродинамічних поверхнях, що може бути причиною втрати ефективності або втрати керованості ЛА. В останніх пасажирських літаках, наприклад Airbus A350 XWB та Boeing 787, більш ніж 50 % вуглепластикових композитів використовується як основа первинної структури. *(англ. - Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) — композитний матеріал на основі смол та вуглецевих волокон. Складається з армувального наповнювача із вуглецевого волокна і полімерної матриці).* Як було розглянуто у попередній статті, розвиток ефективності енергії, низький рівень експлуатації та сумісність системи запобігання або знищення накопиченого льоду для композитних літаків – це нагальна проблема.

ПОС (протиобліднювальна система) – класично утворюється відведенням гарячого повітря від компрессора двигуна літака по трубі всередину передніх кромок. Таким чином тепло проходить назовні завдяки явища теплопровідності. Після цього, повітря виходить через маленькі отвори в крилі. Це додає певної маси та вимагає певної експлуатації. Така система іноді не така вже й ефективна для композиційних крил, які є менш теплопровідними, аніж металеві. Електро-термічні системи (тобто резистивні

нагрівники), які прикріплені зверху або зсередини до поверхонь є достатньо привабливою альтернативою. Вони можуть доставляти високі кількості енергії, та не такі вибагливі у ході експлуатації. Також, таким чином будуть відсутні випускні отвори у крилі, завдяки чому опір покращуються, радіоперешкоди зменшується. Різні форми вуглецевого волокна, такі як плетене волокно, односпрямоване скляне волокно або коротко волокнистий матеріал використовуються як нагрівальні елементи для ПОС так само, як і для підкріплення композитних матеріалів, також односпрямоване волокно використовується як матеріал для порівняння у ході цієї роботи.

КНТ викликали дуже великий інтерес через декілька десятків років завдяки своїм високим властивостям термо- та електро- провідності та неймовірній міцності й коефіцієнту пружності. Не дивлячись на індивідуальну електропровідність та макро збірку, відносно короткі КНТ мають декілька резистивних влативостей, тому і є гарним матеріалом для ПОС.

Застосовуючи як дисперсію в полімерній матриці, цей підхід вимагає спочатку, щоб використовувані КНТ були легко диспергованими та піддавалися рівномірному розподілу. Такі частинки повинні бути відносно дуже короткими і, з точки зору продуктивності, КНТ мають бути на рівні виробу масового попиту, з високим рівнем зв'язки та дефектів, а також вуглецевих та металевих домішок. Більш фундаментальною проблемою є те, що дисперсії мають понад декілька відсотків ваги, що в порівнянні з більш дисперсними КНТ створює проблему того, що перші стають некеровано в'язкими, що суттєво обмежує навантаження, яких можна досягнути, і несе суттєві штрафи за збагачення полімером та вагу. КНТ, що застосовуються як "паперовий папір", також вимагає диспергування у розчиннику з подальшою фільтрацією. Більш керовані перетворення, такі як «нечіткі волокна» (КНТ, вирощені безпосередньо на КВ), утворені аерогелем КНТ-плівки та «збиті» або «доміновані» маси КНТ. Це все вивчалося різними дослідницькими групами, але всі дослідження стикаються з проблемами обробки, чистоти, орієнтації, ваги та регульованості.

«КНТ сітка» виробляється внутрішньолабораторним шляхом витягування суцільного аркуша або плівки горизонтально орієнтованих КНТ із спеціально вирощених КНТ мас, із контрольованим діаметром та довжиною, що в свою чергу виробляються методом хімічного осадження з парової фази (CVD).

Приклади можливих структур нанотрубок, що залежить напряму від методу згортування графітового листа зображений на рисунку 2,,,.

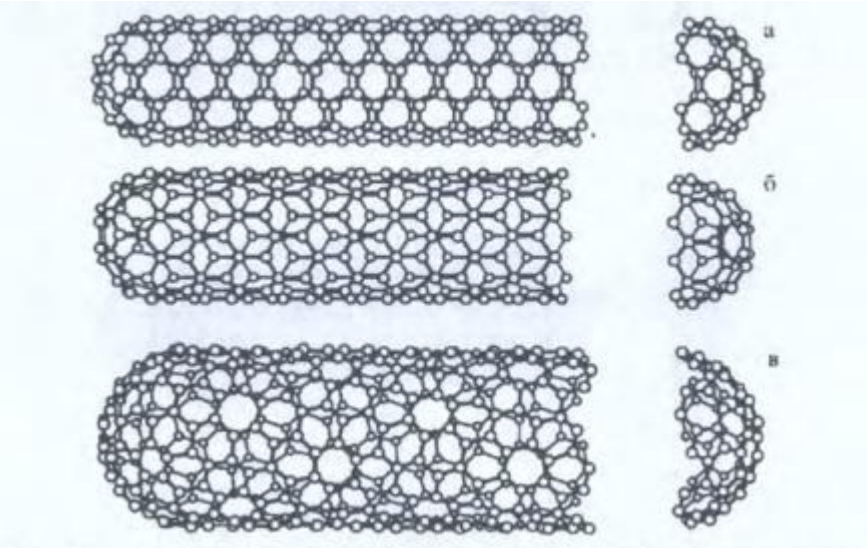


Рис. 2… Приклади можливих структур нанотрубок: а) кресельна структура; б) зигзагоподібна структура; в) хіральна структура.

Прямо натягнуте полотно КНТ має добрі вирівнювальні властивості і до того ж є добрим провідником електрики вздвож напрямку витягування, а опір багатошарового полотна КНТ можна легко регулювати за допомогою зміни кількості шарів. Тим часом, довжина складових КНТ може контролюватися CVD. Крім того, конструкція нагрівача може бути оптимізована відповідно до конкретних вимог, наприклад якщо беруться до уваги передні кромки, які потребують більше енергії, то можуть бути враховані додаткові шари КНТ. Завдяки пристосованості та подібності системи, будь-яка термоелектрична реакція може бути виявлена та застосована до будь-якого необхідного місця.

У попередніх дослідженнях КНТ-нагрівачі були інтегровані в схему композитного матеріалу (CFRP), аналогічну структурному компоненту, для

вивчення характеристик, переваг та проблем цього підходу. У цій роботі маю намір зауважити про окремий нагрівальний елемент, який можна застосувати до зовнішньої поверхні аероструктури для поліпшення ефективності захисту від льоду, не впливаючи на механічні властивості та не вимагаючи нагрівання всієї системи. Тканий армований матеріал зі скловолокна (GF – glass fiber) був використаний для підтримки та ізоляції надзвичайно тонких КНТ, які були затверділи разом з ламінатом. Нагрівальний елемент, GF та розподільні шини були поєднані, щоб забезпечити тонку, легку та ефективну систему протиобледеніння/розморожування. Для порівняння, пласти GF також виготовляли із шарами CF як нагрівальним елементом. Композити з різними шарами КНТ сполук, а також різні шари CF були підготовлені та оцінені на їх ефективність нагрівання, а також здатність проти обледеніння та розморожування. Високо вирівняний веб-нагрівач має незначну вагу, рівномірне нагрівання, ефективне споживання енергії та швидке протиобледеніння / розморожування.

2.2.1. Попередній досвід застосування наноматеріалів.

Для підготовки зразків нагрівача використовували односпрямований препрег Gurit SE84LV / HMC CF / епоксидний односпрямований препрег та SE84LV / RE295 GF / епоксидний тканий препрег. Стрічки мідної фольги (Alfa Aesar, товщина 25 мм) шириною 10 мм використовувались як електричні шини для підключення зразків до джерела живлення. Маси КНТ виготовляли методом CVD з ацетилену при температурі 700°C, вирощеного на кремнієвій пластині із заліза в якості каталізатора, даючи середню довжину КНТ 300 мм і середній діаметр 10 нм. Отримані КНТ (рис. 1а) втягували безпосередньо у тонке суцільне полотно (рис. 1б). Шляхом намотування на відкриті алюмінієві рами (рис. 1в) можна отримати сітки КНТ із бажаною кількістю шарів.

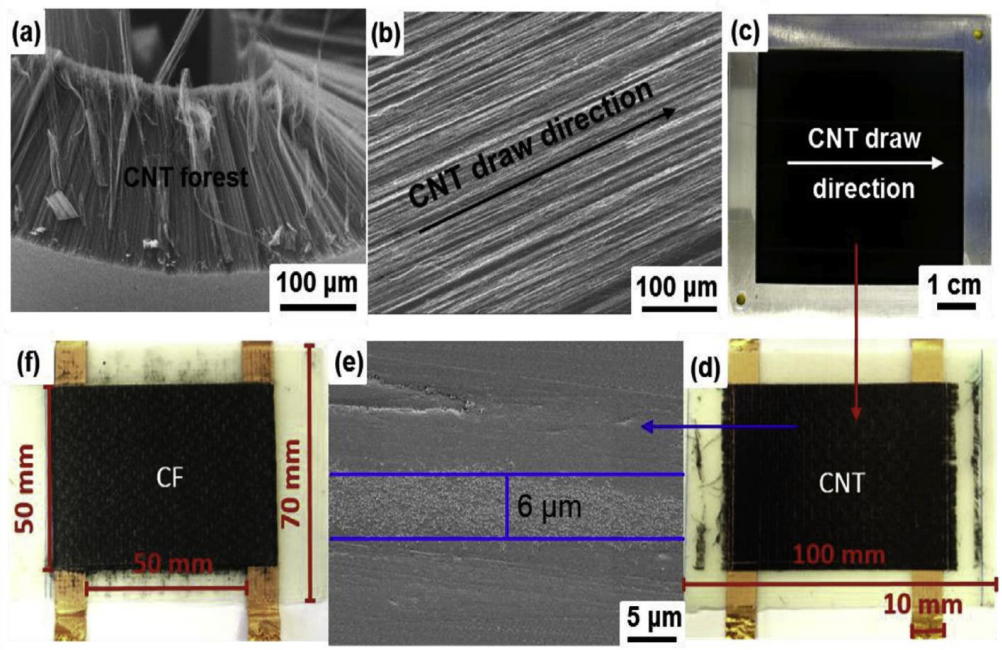


Рис. 1. Результати сканування електронним мікроскопом.

Полотно з КНТ (10-40 шарів) (рис. 1d) та препрег CF (1e16 шари) (рис. 1f) розміром 70 мм 50 мм були вкладені між двома шарами тканого препрегу GF (100 мм 70 мм). Шини з мідної фольги розміщували між нагрівальним елементом і GF, залишаючи випробувальну область 50 мм 50 мм (рис. 1d, f). Шини Cu є нормальними до напрямку сіток КНТ, паралельно напряму CF, завдяки їх відповідному опору електрода в цих відповідних напрямках. Після прокладки композити витримувались при 120 С протягом 1 години методом «вакуумного мішка» та вимірювали основні параметри (табл. 1). Зображення SEM (сканування електронним мікроскопом) поперечного перерізу зразка КНТ 10 (рис. 1д) вказує на товщину 10-шарового просоченого смолою полотна УНТ ~ 6 мм.

2.2.2. Хід роботи.

Для спостереження за перетворення КНТ використовували польовий скануючий електронний мікроскоп JSM-6500F (рис. 1a, b, e). Для вимірювання опору зразків застосовували 5-розрядний мультиметр Agilent 34450A 5½, використовуючи метод чотирьох зондів. Зразки для резистивного нагрівання проводили горизонтально при температурі

навколишнього середовища. Струм подавався від цифрового стендового джерела живлення EA Elektro-Automatik PS 3016-20B, температури зразків реєстрували RS-1384 4 Термометри реєстрації вхідних даних, використовуючи чотири термопари типу К (ТС), прикріплені спереду (зверху) зразків, а розподіл температури контролювався за допомогою тепловізійної камери FLIR SC640 (ІЧ).

Для випробування проти зледеніння та розморожування була створена дамба висотою 3 мм навколо нагрітої площі 25 см2 і заповнена 7,5 мл води для кожного зразка. Для захисту від обмерзання кожен зразок встановлювали горизонтально, щоб утримувати додану рідину воду при 0 С безпосередньо перед тестуванням. Для розморожування воду попередньо заморозили, а зразок встановили вертикально. На тильну сторону кожного зразка була накладена термоелемент для контролю температурних змін під час тестування AI / DI, яке проводилося в екологічній камері при температурі від 12 С до 25 С за допомогою цифрової камери для контролю процедури з інтервалом у 10 с (рис. 2).

1. Результати досліду та висновки.

Опір (шина до шини) полотен CF і CNT з GF показав очікуваний зворотний зв'язок із кількістю шарів (рис. 3a). Зразки з десятьма, двадцятьма, тридцятьма та сорока шарами полотна УНТ мають дуже подібну стійкість до зразків з чотирма, вісьма, дванадцятьма та шістнадцятьма шарами CF відповідно. Для нагрівання застосовували постійну напругу 16 В зі струмом і, отже, потужність, обмежену опором зразка. Таким чином, зразки з найнижчим опором досягали найвищих температур. Температура в центральних точках зразків (рис. 3b) показала, що, маючи УНТ як нагрівальний елемент (УНТ 10, УНТ 20, УНТ 30 і УНТ 40), зразки досягали більш високих швидкостей нагрівання та охолодження та вищої температури плато, ніж CF зразки з порівнянними опорами (CF 4, CF 8, CF 12 та CF 16 відповідно) і, отже, розсіювання енергії. Криві

швидкості нагрівання / охолодження зразків CNT 40 і CF 16, отримані з температурних профілів (рис. 3b), ілюструють набагато вищу пікову швидкість першого (2,6 C s1) порівняно з другим (0,7 C s1) і швидше врівноваження (рис. 3в). Криві температури та часу (T-t) усіх зразків у перші 30 с нагрівання (рис. 3г) демонструють лінійну тенденцію. Нахили (тобто початкова швидкість нагрівання) для зразків УНТ вищі і суттєво корелюють із кількістю шарів полотна (Таблиця 2), тоді як для зразків CF не існує чіткого взаємозв'язку. Таким чином, лише через 30 с зразки CNT 10, CNT 20, CNT 30 та CNT 40 досягли відповідно 46 C, 66 C, 85 C та 95 C, тоді як найвища температура зразків CF досягла лише 39 C для зразка CF 12 за ними слідують зразки CF 16 і CF 8.

Сильний зв’язок швидкості нагрівання з веб-номером КНТ відображає як надзвичайно низьку теплову масу компонента КНТ, але і надійність конструкції. Зв'язок встановлений між КНТ стабільний до його введення в укладку, отже, опір і нагрівання передбачувані і відтворювані. Струмопровідна структура CF, на відміну від цього, залежить від встановлення контактів CF-CF під час фази укладання та затвердіння і сильно залежить від об'ємної частки волокна, яка гостро чутлива до таких факторів, як початкове значення, вирівнювання волокна та профіль тиску і температури затвердіння.

1.1.1 Рівномірність нагрівання.

Для того, щоб дослідити рівномірність розподілу тепла, до кожного зразка наносили чотири термопари з TC1 на верхній частині шини Cu та TC3 в центрі зразка (рис. 4), а ІЧ-камера використовувалася для контролю загального розподілу тепла. Зразки з вісьмома шарами CF (рис. 4 a, d); двадцять шарів полотна УНТ (рис. 4 b, e); і, з опублікованого звіту [24], порівнювали дроти константану (рис. 4 в, f) як нагрівальний елемент. Незважаючи на те, що має майже подібний опір, веб-структура УНТ мала вищу швидкість нагрівання та охолодження (рис. 4b) і кінцеву температуру,

ніж CF (рис. 4а), що вказує на те, що їй потрібно менше часу та енергії для досягнення бажаної температури, відповідаючи вимога швидкого знезараження. Більше того, коливання температури на зразку полотна УНТ, як показано ІЧ-зображенням (рис. 4д) з контурним графіком, є незначним у порівнянні з таким для КФ (рис. 4г), який також демонструє більший нагрів у автобусах через відносно вищий контактний опір там. У порівнянні з полотном з УНТ, зразок з нагрітим дротом константану [24] демонструє значний нерівномірний розподіл температури (рис. 4 c, f). Крім того, у порівнянні з вісьма пластинами CF (3633,8 г м2), 20-CNT-нагрівач (0,38 г м2) в ~ 104 рази легший.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 2.

Була представлена велика кількість різних матеріалів, як нагрівальні елементи, включаючи КНТ, графен, вуглецеве волокно, шар рідкого металу, електро-провідний текстиль та контстантановий провід. Деякі ці матеріали, металеві шари та проволоки є занадто важкі та навіть несумісні із карбоновими композитами, які перш за всіх знаходяться в правильному напрямку у вирішенні певних питань, при цьому не посилюючи структурних властивостей. Електро-термічні нагрівні елементи з основою з карбону для протиобліднювальних систем – це дуже приваблива альтернатива металу так як вони сумісні із карбоновою матрицею та виступають потернційними «претендентами» зробити свій внесок в покращення структурних властивостей матеріалу.

3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОЗИЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ПРОВІДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ.

Технологічний процес – один із етапів виробничого процесу. В свою чергу розподіляється на стадії технологічного процесу та операції. Підсумкова швидкість процесу напряму залежить від швидкості виконання кожної стадії.

Для технології виготовлення матеріалів зазвичай використовують наступні операції:

- Підготовча фаза;
- Фаза обробки;
- Фаза сбірки.

3.1. Технологія виготовлення суміші з композиції наноматеріалів.

Обрані матеріали:

- Нанотрубки одношарові;
- Герметик кремнієорганічний «Віксинт К-68» (характеристика наведена у табл. 3.1.);
- Каталізатор №68;
- Розчинник Етилацетат (характеристика наверeдена у табл. 3.2.).

Обгрунтування вибору матеріалів.

Віксинт К-68. Кремнієорганічний компаунд являє собою в'язку консистенцію, що складається із пасти «К» та каталізатора №68. Вибір зроблено у зв'язку з тим, що компаунд має гарні якісні властивості при роботі із виробів радіоелектронної та електротехнічної апаратури, також працює у повітряному середовищі та в умовах високої вологості. Добрі характеристики також більш ніж можливі при роботі в температурному діапазоні між -70°С та до +250°С. Ресурс роботи в цих діапазонах:

- При температурі 200°С – 2500 год.
- При температурі 250°С – 1500 год.

Система, що збирається використовуватись не перевищує нагріву 80°С-120°С, то час роботи при температурах, що використовуються при виконанні роботи складає понад 3000 год.

При контакті з матеріалами при використанні у допустимому діапазоні температур не викликає корозії алюмінієвих сплавів, також при температурі прогріву в 60°С, 100°С, 150°С не викликає корозії для мідного та олов'яних покриттів; а при температурі прогріву 200°С та 250°С не посилює корозію міді.

Умови зберігання достатньо стандартні. Паста «К» має зберігатись в складських умовах при температурі від 0°С до +30°С.

Каталізатор №68 має зберігатись в закритому складському приміщенні при температурі від 0°С до +25°С.

Основні механічні та інші характеристики про обраний компаунд наведені у Табл. 3.1. нижче:

Табл. 3.1.

Назва	Марка «Віксинт К-68»
Призначення	Внутрішня герметизація електро- та радіоапаратури
Усадка полімеризації, %	3,0
Питомий опір при 20°С, Ом*см, не менш	$1*10^{13}$
Відносне видовження при розтягу, %	80
Умова міцності на розтяг, МПа	1,67
Твердість по Шор, ум. одиниці	45-65
Температурний інтервал використання у повітрі	Від (-60) – до (+250) °С
Густина, г/см^3	1,1
Час твердіння	24 год

Продовження табл. 3.1

Тривалість часу після суміші із каталізатором	Температурний діапазон від (+15) до (+35) °С

Етилацетат. Призначений для синтезу хімічних продуктів, та в якості розчинника. Має дуже гарні розчинні властивості для багатьох матеріалів, загалом для смоляних олійних лаків, воску.

Зберігати та транспортувати варто дуже обережно, у щільній закритій тарі. Берегти на відстані від електричних пристроїв та прямого сонячного проміння. Пляшку після використання потрібно щільно закрити та утилізувати відповідним чином. Температура зберігання від -40°С до +40°С.

Табл. 3.2.

Назва	Етилацетат Марки «А»
Призначення	Розчинник для хімічних в’язких сполук
Температурний інтервал зберігання	Температурний діапазон від (-40) до (+40) °С
Колір	Прозора, безбарвна, летка рідина
Запах	Фруктовий з оцетом
$t_{замерз}$	-83,6°С

Технологія виробництва суміші для подальшого нагрівання:

Підготовча фаза. Герметичний компаунд Віксинт «К» розмішується із каталізатором №68 у співідношенні 1:20. Для виготовлення було прийнято взяти до уваги зразки із загальним співвідношення нанотрубок – 4%, 5%, 6%, 6,5%, 7%.

Для того, аби отримати дані щодо складу суміші було проведено розрахунки (див. формули 3.1-3. та занесено до табл. 3.2 (див. нижче).

Табл. 3.2

Бажане процентне співвідношення нанотрубок у суміші	Паста, г	Каталізатор, г	Нанотрубки, г
4%	4,0	0,200	0,1680
5%	5,0	0,250	0,2625
6%	6,0	0,300	0,3780
6,5%	6,5	0,325	0,4437
7%	7,0	0,350	0,5145

4% розчин

$$\frac{4}{20} = 0{,}2 \text{ г (Каталізатору)} \tag{3.1}$$

$$4\text{г Віксинта} + 0{,}2\text{г Каталізатор} = 4{,}2 \text{ г}$$

$$4{,}2 \text{ г} - 100\%$$

$$x \text{ г} - 4\%$$

$$x = 4{,}2 * 0{,}04 = 0{,}1680 \text{ г (КНТ)}$$

5% розчин

$$\frac{5}{20} = 0{,}25 \text{ г (Каталізатору)} \tag{3.2}$$

$$5\text{г Віксинта} + 0{,}25\text{г Каталізатор} = 5{,}25 \text{ г}$$

$$5{,}25 \text{ г} - 100\%$$

$$x \text{ г} - 5\%$$

$$x = 5{,}25 * 0.05 = 0.2625 \text{ г (КНТ)}$$

6% розчин

$$\frac{6}{20} = 0{,}3 \text{ г (Каталізатору)} \tag{3.3}$$

$$6\text{г Віксинта} + 0{,}3\text{г Каталізатор} = 6{,}3 \text{ г}$$

$$6{,}3 \text{ г} - 100\%$$

$$x \text{ г} - 6\%$$

$$x = 6.3 * 0.06 = 0.3780 \text{ г (КНТ)}$$

6,5% розчин

$$\frac{6,5}{20} = 0,325 \text{ г (Каталізатору)} \quad (3.4)$$

$$6,5 \text{ г Віксинта} + 0,325 \text{ г Каталізатор} = 6,825 \text{ г}$$

$$6,5 \text{ г} - 100\%$$

$$x \text{ г} - 6,5\%$$

$$x = 6,825 * 0.065 = 0.4436 \text{ г (КНТ)}$$

7% розчин

$$\frac{7}{20} = 0,35 \text{ г (Каталізатору)} \quad (3.5)$$

$$7 \text{ г Віксинта} + 0,35 \text{ г Каталізатор} = 7,35 \text{ г}$$

$$7 \text{ г} - 100\%$$

$$x \text{ г} - 7\%$$

$$x = 7,35 * 0.07 = 0.5145 \text{ г (КНТ)}$$

Наступним етапом буде поєднання суміші із розчинником – етилацетатом у пропорції 1:1. Це відбувається для того, аби понизити в'язкість отриманої суміші. Після чого, вона у спеціальних склянках перемішується протягом 30 хв. у приладі-диспергаторі ультразвуком на частоті 22кГц. На виході в'язкість суміші понижується приблизно вдвічі.

Нижче на малюнку (рис. 3.1) зображений **ультразвуковий диспергатор УЗДН-2Т**, з частотним діапазоном 22 кГц і 44 кГЦ. Даний прилад призначений для препарування об'ктів із різних сумішей: кристалічних, волокнистих, в тому числі й порошкоподібних. Його основні технічні характристики наведені у таблиці нижче (див. табл. 3.3).

Зразок встановлення склянки із сумішшю в диспергаторі зафіксовано на рис. 3.2. нижче.

Рис. 3.1. Ультразвуковий диспергатор УЗДН-2Т українського виробництва, ООО «НПП «Академприбор».

Табл. 3.3

Номінальна напруга живлення від мережі однофазного змінного струму частотою 50 Гц	220 В
Номінальна споживана електрична потужність, Вт	Не більш ніж 1000
Номінальна вихідна електрична потужність генератора в робочому діапазоні частот на активному навантаженні, Вт	400
Регулювання вихідної потужності	Плавне
Номінальні робочі частоти генератора і випромінювачів, кГц	22 та 44
Межі плавного регулювання частоти генератора, кГц	1,65
Витрата води для охолодження випромінювачів, л/хв	0,5
Габаритні розміри, мм	320х460х690
Маса, кг	70

Рис. 3.2. Зразок встановлення склянки із сумішшю в диспергаторі.

Після перемішування, отриманий матеріал наносився для його подальшого використання.

3.2. Практична частина. Виготовлення зразків та їх випробовування.

Перші отримані зразки (див. Рис. 3.3) були виготовлені з декількома дефектами: їх структура була неоднорідною, а товщина завеликою.

Рис. 3.3. Зразки першого покоління.

Наступні зразки були виконані із більшою точністю, виготовлялись у спеціально виготовленій формі.

Рис. 3.4. Форма для виготовлення пластин із товщиною в 1.8 мм.

Рис. 3.5. Спеціальний прилад-товщиномір GM-100.

3.3. Аналіз результатів та висновки.

Для проведення було налаштовано стенд, що представляв з себе нагрівальну установку (див. рис. 3.6), що імітує електричну систему нагріву реальної ПОС у літаку.

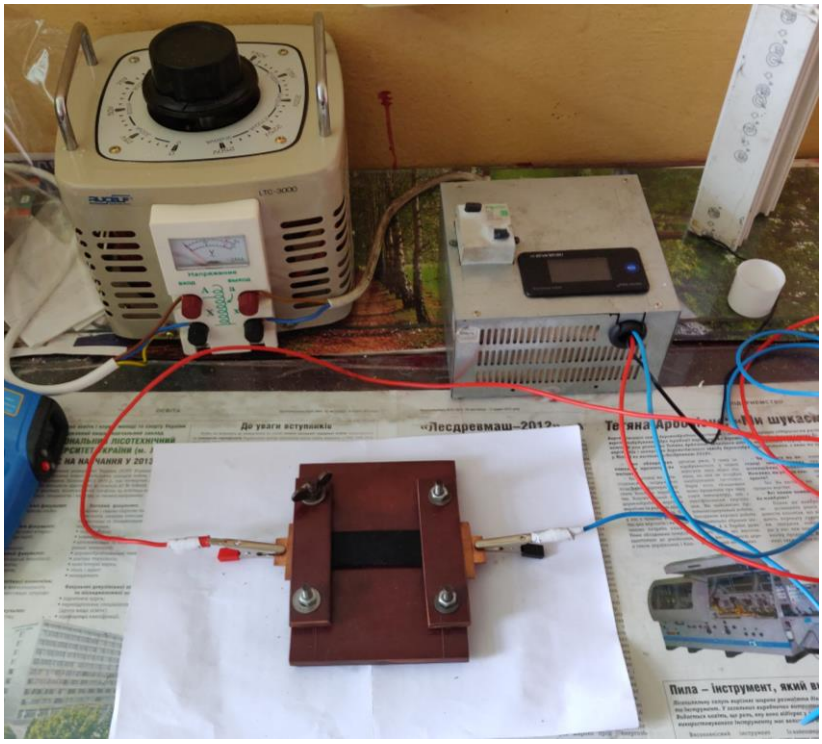


Рис. 3.6. Стенд, що складається з реостату, зразка, мультиметра.

Сам зразок був надійно закріплений на спеціальному столику з діелектрика. Замкнувши схему та підключив до джерела струму, було проведено декілька експериментів із врегулюванням напруги. Покази вимірювались тепловізором, американського виробництва **Flir TG267**.

Рис. 3.7. Тепловізор Flir TG267.

Було зроблено наступні висновки:

- Зразки із вмістом нанотрубок в 4% і 5% не проявляли жодних нагрівних властивостей, навіть при підвищенні напруги до 200В;
- Зразки, починаючи із вмістом нанотрубок в 6% нагрівались на 30°С за 60с при напрузі в 100В;
- Зразки першого покоління були занадто товсті, бо картина прогрівання (рис. 3.8) була достатньо нерівномірною;

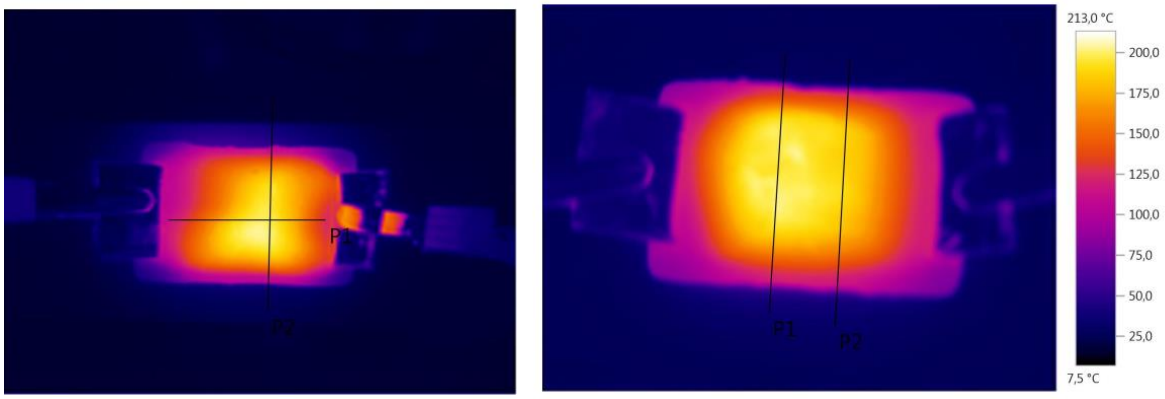


Рис. 3.8. Термограми зразків з вмістом 6% та 7%, напруга 200В.

- Зразки другого покоління показували кращі результати;
- Пластинки із вмістом нанотрубок 6,5% мали більш кращі нагрівальні характеристики (див. рис. 3.9);

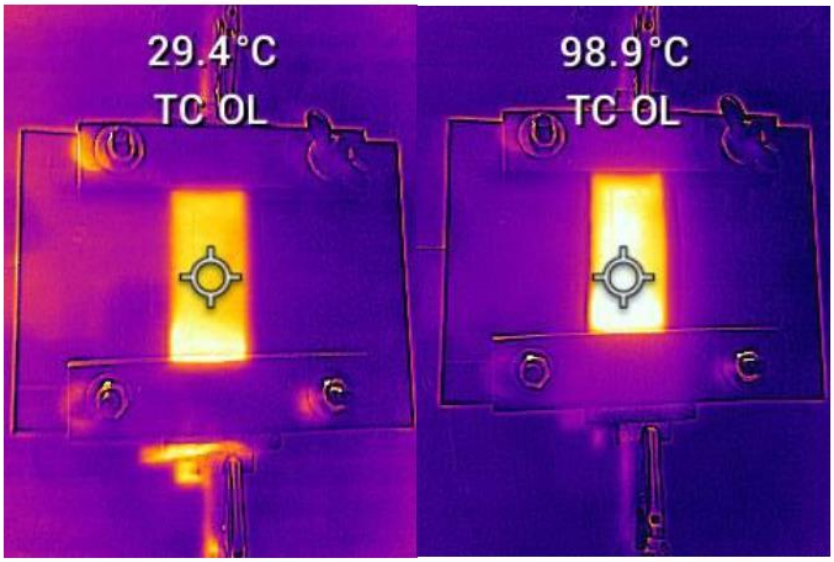


Рис. 3.9. Термограма зразка II до нагріву і після, 6,5%, 25В.

Деякі графіки залежності температури від часу наведені у Додатку А.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3.

В данному розаділ дипломного проекту було проведено аналіз компонентів для створення суміші для нагрівання. Обрано та обґрунтовано певний вибір та описана технологія виробництва даної суміші, устаткування.

Також зразки було випробувано та отримано певні дані, що згодом було проаналізовано та побудовано графіки.

За отриманими результатами експериментів, було наглядно показано, що склад нанотрубок у суміші даного складу може містити від 6.5 до 7%, при найменшій напрузі (25В) та використовуваній потужності (7,4 Вт).

4. РОЗРОБКА ВАРІАНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.

Згідно із технічним завдання, та побажань, що були обговорені на ДП «АНТОНОВ», основною із вимог було те, аби матеріал був достатньо простим у використанні, наприклад наносився на обшивку літака, не залежно від того, де система буде знаходитись на зовнішній чи на внутрішній частині обшивки.

4.1. Виготовлення і спосіб користування набору матеріалів електронагрівальних елементів.

Згідно із попередніми розділами, була виготовлена інструкція, щодо виготовлення і користування майбутніх матеріалів.

1. Призначення набору матеріалів «ВЕП-набір» для нагрівальних елементів (НЕ) .

1.1 Набір матеріалів призначений для виготовлення нагрівальних елементів. для електротеплової протиобліднювальної системи літака.

1.2 Він включає :

- Дисперсійний лак на кремнійорганічній основі та каталізатор (авіаційний герметик *“Віксинт ПК68”);*
- Вуглецеві нанотрубки;
- Розчинник (Етилацетат *Марки «А»*);
- Авіаційний грунт *ЄП0215.*

2. Метод використання НЕ.

Електричні контакти для теплогенеруючого покриття (набору матеріалів «ВЕП-набір» для нагрівальних елементів) забезпечують за допомогою мідних шин. При поданні на них напруги в 115 вольт електропровідний матеріал за рахунок нанотрубок нагрівається і через 60-70 сек температура підвищується до 80-90°С. Це забезпечує розтанення льоду або запобігання обледенінню.

3. Діагностика стану та ремонт нагрівальних елементів

Для діагностики стану нагрівальних елементів реалізують візуальний та тепловий методи неруйнівного контролю.

Візуальний метод неруйнівного контролю використовують в процесі виготовлення НЕ шляхом огляду щодо перевірки цілісності та рівномірності нанесення шарів матеріалів.

Тепловий контроль використовують на кінцевому етапі вже готових та підключених до електричної системи нагрівальних елементів за допомогою тепловізора, який фіксує температуру нагріву та свідчить про якість нагріву всієї поверхні НЕ.

При пошкодженні або нерівномірності фіксуємого нагріву НЕ замінюють на новий. Для цього змивають прошарки нагрівального елементу розчинником.

4. Техніка безпеки

4.1 При проведенні заходів шодо запобігання обледенінню необхідно застосовувати засоюи індивідуальної безпеки (захисні маски та рукавички)**.**

4.2 Персонал має використовувати правила індивідуального захисту при роботі з хімічними речовинами.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4.

У даному розділі дипломної роботи були розглянуті особливості використання набору для виготовлення композиції з наноматеріалів. Була прописана техніка беспеки та надані загальні рекомендації, що були зроблені на основі попередніх розділів, в яких йшла мова про виготовлення матеріалів з електро-провідної суміші.

5. СОБІВАРТІСТЬ ТА МОНЕТИЗАЦІЯ РОЗРОБКИ.

Собівартість - це витрати на одиницю виробленої продукції, виконаної роботи або наданої послуги. Інакше - це ціна ресурсів підприємства, витрачених на те, щоб продукт з'явився.

Закуплені товари:

- Віксинт К-68, виробництва ДП «Науково-дослідницький інститут «Еластик», що реалізує та виготовляє товари такого типу (Україна) – 450 грн/кг;

Рис. 5.1. Віксинт «К» та каталізатор №68.

- Етилацетат (марка А) - розчинник, виробництва ХімреZерв, (Україна) – 107 грн/л;

Рис. 5.2. Етилацитат, розчинник.

- вуглецеві нанотрубки – 27000 грн/кг;

Рис. 5.3. Нанотрубки вуглецеві.

- каталізатор №68 – 950грн/1л.

Якщо взяти до розрахунку суміш із вмістом 6,5% нанотрубок, то вийде наступне співвідношення:

- Нанотрубки – 6,5%;
- Вміст Віксинту – 93,5%;
- Вміст каталізатору №68 – 5%;
- Вміст етилацетату – 200%.

- Нанотрубки 65 г
- Віксинт 935 г
- Каталізатор 5 г
- Етилацетат 2000 г

Таким чином 1м^2 покриття, потрібно приблизно:

$$0{,}65 * 2700 + 0{,}935 * 450 + 0{,}05 * 27000 + 2 * 107$$

$$175{,}5 + 420{,}75 + 1755 + 47{,}5 + 214 = 2437{,}25$$

Висновки по розділу.

В даному розділі була розрахована вартість для дійсного співвідношення матеріалів для виготовлення нагрівальних елементів із КНТ на метр квадратний.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.

Технології не стоять на місці, тож забезпечення протиобліднювальної системи літака це дуже нагальне питання, що потребує максимальної уваги, адже це дуже великий ризик для літака та пасажирів чи вантажу, що знаходяться на борту.

Отже, темою дипломного проекту було «Удосконалення технології виготовлення елементів електропровідної композиції в системі обледенінню літака». Таким чином, були розглнуті аналогові системи. Проведений їх аналіз та зроблені висновки щодо того, що ця тема є дійсно актуальною та перспективною.

Конкретно у моїй дипломній роботі було описана технологія виробництва наноматеріалів на основі вуглецю. Важливим нюансом є те, що ці наноматеріали мають надзвичайні властивості та можуть використовуватись у багатьох галузях, а також можуть бути використані й у авіаційній промисловості.

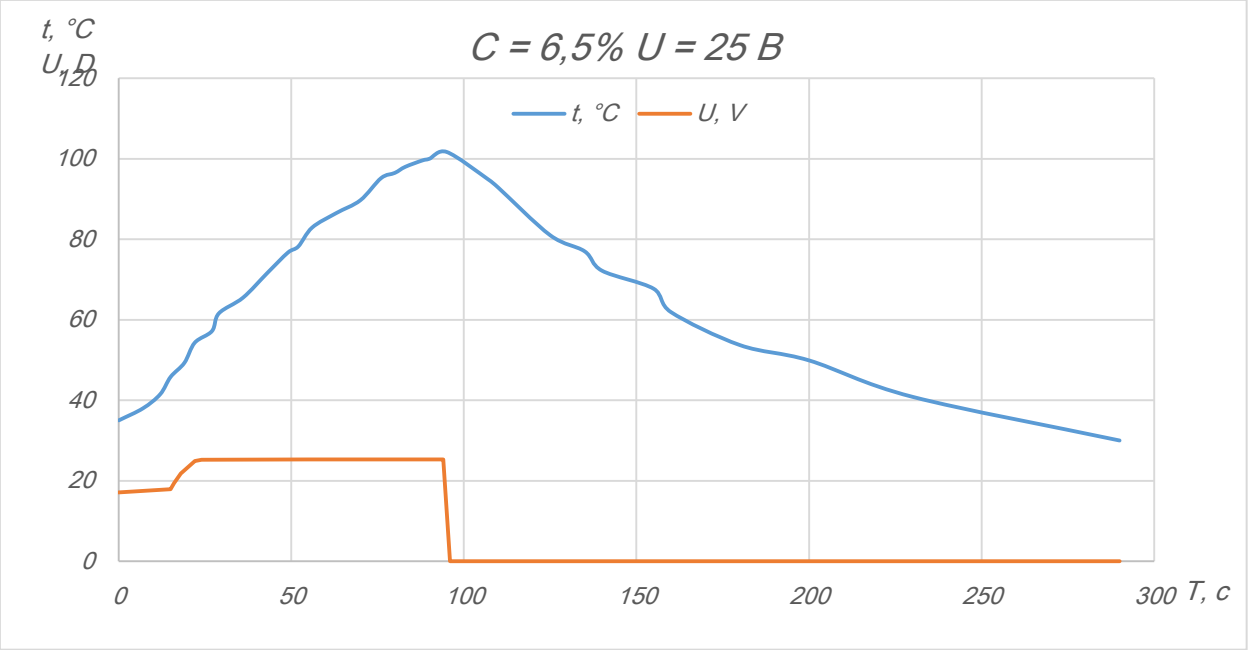
У попередніх розділах була також описана технологія виробництва безпосередньо нагрівальних елементів на основі КНТ (карбнових нанотрубок). Були проведені певні досліди, розрахунки та проаналізовані результати. Також, порахована приблизна вартість покриття.

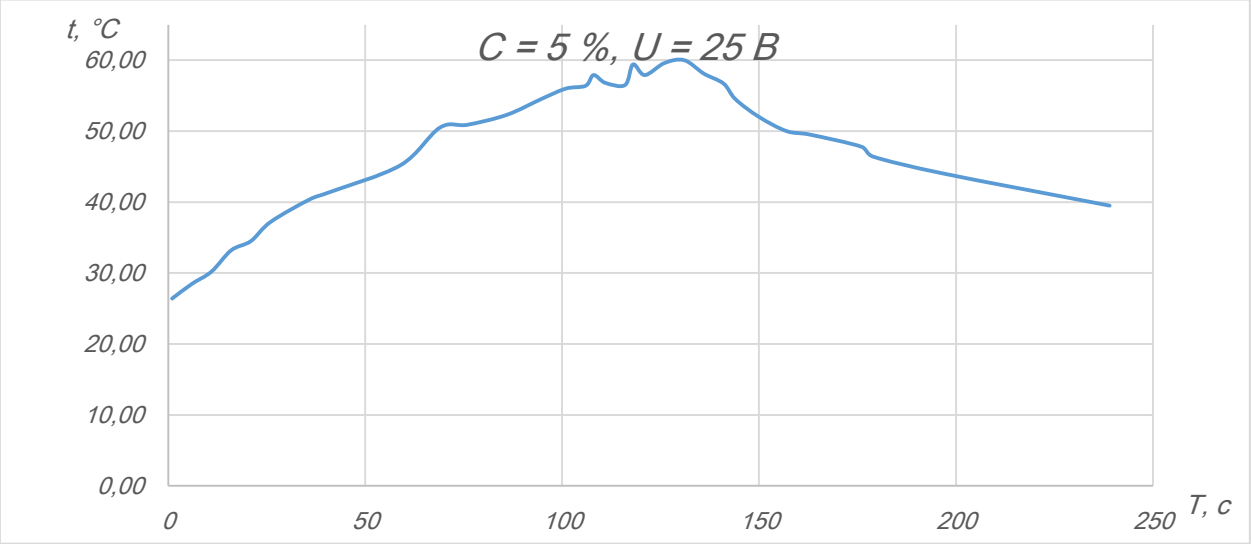
На мій розсуд, дані напрацювання мають багато перспектив та можуть бути використані у подальшому вивченні й дослідженні не тільки на благо розвитку Української авіації, а й на користь світових технологій вцілому.

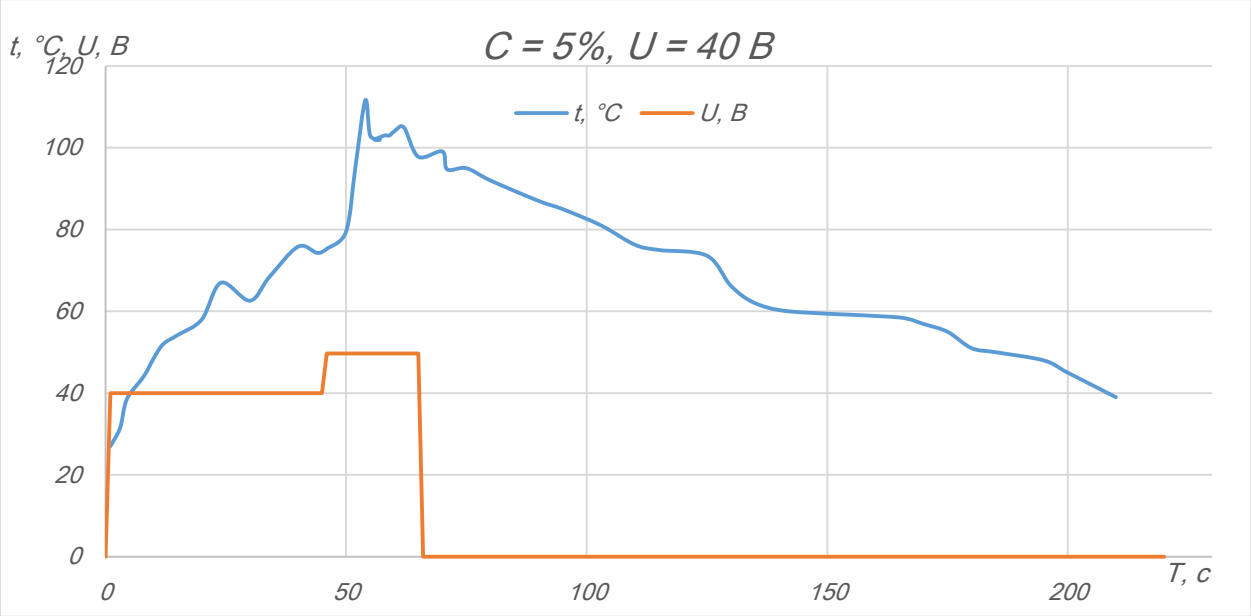
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.

1. Руководство по летно-технической эксплутации АН-124 том 1./п. 4.8
2. Passive Anti-Icing and Active Deicing Films / Tuo Wang, Yonghao Zheng, Abdul-Rahman O. Raji та ін.].
3. An advanced anti-icing/de-icing system utilizing highly aligned carbon nanotube webs Xudan Yao , Stephen C. Hawkins, Brian G. Falzon.
4. И. В. Золотухин. Углеродные нанотрубки / И. В. Золотухин.
5. Ковтун Г. П. 5. Наноматериалы: Технологии и материаловедение / Ковтун Г. П., Веревкин А. А,. – Харків, 2010. – 73 с.
6. Тенишев Р.Х. Противообледенительные системы летательных аппаратов. Основы проектирования и методы испытаний. / Тенишев Р.Х., Строганов Б.А., Савин В.С... – 320 с.
7. https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/2388/etilacetat
8. http://khimrezerv.ua/specialni/77-etilacetat-marka-a-tm khimrezerv.html?search_query=etilacetat&results=2
9. https://prom.ua/ua/p437795-ultrazvukovoj-dispergator-uzdn.html

Додаток А.


C = 6,5% U = 25 В
t, °C
U, В
t, °C
U, V
120
100
80
60
40
20
0
0
50
100
150
200
250
300
T, c


C = 5 %, U = 25 В
t, °C
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
0
50
100
150
200
250
T, c


C = 5%, U = 40 В
t, °C, U, В
t, °C
U, В
120
100
80
60
40
20
0
0
50
100
150
200
T, c