

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:
**« Проектування обладнання для створення електронагрівальних
елементів систем запобігання обледенінню літаків»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ВЛ-73

Топорець Дмитро Васильович _____

Керівник:

Доцент кафедри АРБ, к.хім.н., с.н.с.

Казакевич Михайло Леонідович _____

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

Студент _____

Київ – 2021 року

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

_____ В.В. Кабанячий
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021

р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Топорцю Дмитру Васильовичу

1. Тема проекту «Проектування обладнання для створення електронагрівальних елементів систем запобігання обледенінню літаків», керівник проекту Казакевич Михайло Леонідович, к.хім.н., с.н.с., затверджені наказом по університету від «__» 2021р. №

2. Термін подання студентом проекту 14 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до проекту: _____

3.1. Характеристики мережі нагрівальних елементів протикризової системи літака

3.2. Робочі параметри конструкторської нагрівальних елементів

4. Зміст пояснювальної записки: _____

4.1. Аналіз використання композицій з вуглецевими електропровідними наноматеріалами в мережі нагрівальних елементів для протикризової системи літаків. Постановка завдання.

4.2. Розробка методу виготовлення зразків нагрівальних елементів конструкторської мережі нагрівальних елементів літака.

4.3. Розробка установки для створення нагрівальних елементів з використанням вуглецевих електропровідних наноматеріалів для кока втулки гвинта.

4.4. Розробка технологічної інструкції монтажу та неруйнівного контролю нагрівальних елементів.

4.5. Створення РКД в САПР..

4.6. Розробка технічної документації.

4.7. Собівартість та монетизація розробки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): _____

5.1 Аналіз аналогів та постановка завдань на дипломний проект.

5.2 Метод виготовлення зразків нагрівальних елементів

5.3 Результати проектування. РКД в САПР

5.4 Конструкція установки

5.5 Собівартість та перспективи розвитку.

6. Дата видачі завдання: 25 лютого 2021. р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Аналіз використання композицій з вуглецевими електропровідними наноматеріалами в мережі нагрівальних елементів для протикригової системи літаків. Постановка завдання.	до 29.03.2021 р.	
2.	Розробка методу виготовлення зразків нагрівальних елементів конструкції мережі нагрівальних елементів літака.	до 12.04.2021 р.	
3.	Розробка установки для створення нагрівальних елементів з використанням вуглецевих електропровідних наноматеріалів для кока втулки гвинта.	до 30.04.2021 р.	
4.	Розробка технологічної інструкції монтажу та неруйнівного контролю нагрівальних елементів.	до 5.05.2021р.	
5.	Створення РКД в 3D моделях в САТІА/НХ..	до 15.05.2021 р.	
6.	Собівартість та монетизація розробки.	до 27.05.2021 р.	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів	до 10.06.2021 р.	
8.	Перевірка на плагіат	до 13.06.2021 р.	
9.	Захист	з 14.06.2021 р. по 30.06.2021 р	

Студент

_____ (підпис)

Дмитро Топорець

_____ (імя, прізвище)

Керівник

_____ (підпис)

Михайло Казакевич

_____ (імя, прізвище)

Анотація

Пояснювальна записка до ДП « Проектування обладнання для створення електронагрівальних елементів систем запобігання обледенінню літаків » містить 29 аркуші тексту, 37 ілюстрації та 8 бібліографічних посилань.

Мета проєкту - запропонувати конструкторсько-технологічні рішення щодо розробки устаткування та обладнання для створення нагрівальних елементів з використанням вуглецевих електропровідних наноматеріалів та забезпечення неруйнівного контролю.

Об'єкт проєкту - обладнання для створення електронагрівальних елементів систем запобігання обледенінню літаків.

В результаті виконаний огляд даних прототипів обладнання по темі проєкту, сформульовано стан проблеми і напрямок її вирішення. Розглянуті способи нанесення полімерних композитів, детально викладені результати робочого проєктування. На підставі виконаного аналізу сформовано ТЗ до проєкту та визначено шляхи його реалізації.

В роботі запропоновані методи і технології виготовлення композиції матеріалів для електропровідних елементів, в яких застосовані матеріали, що стандартизовані в авіаційній галузі, з урахуванням можливості серійного виробництва

Ключові слова: система запобігання обледеніння, композитні матеріали, вуглецеві нанотрубки.

Abstract

Explanatory Note to DP "Design of equipment for the creation of electric heating elements of anti-icing systems of aircraft" contains 29 sheets of text, 37 illustrations and 8 references.

The purpose of the project - to offer design and technological solutions for the development of equipment and facilities for the creation of heating elements using carbon conductive nanomaterials and ensure non-destructive testing.

The object of the project - equipment for the creation of electric heating elements of anti-icing systems for aircraft.

As a result, a review of these prototypes of equipment on the topic of the project, formulated the state of the problem and the direction of its solution. Methods of applying polymer composites are considered, the results of working design are described in detail. On the basis of the performed analysis the TOR to the project is formed and the ways of its realization are defined.

The paper proposes methods and technologies for manufacturing a composition of materials for electrically conductive elements, in which materials standardized in the aviation industry are used, taking into account the possibility of mass production.

Keywords: icing prevention system, composite materials, carbon nanotubes.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ВЛ7314.70.74.ПЗ	Пояснювальна записка	29	
3	A1	ВЛ7314.70.74.01ІМ	Огляд ПОС	1	
4	A1	ВЛ7314.70.74.02ІМ	Обладнення для монтажу НЕ	1	
5	A1	ВЛ7314.70.74.03ІМ	Обладнення для неруйнівного контролю НЕ	1	
6	A1	ВЛ7314.70.74.04ТВ	Спосіб монтажу НЕ	1	
7	A1	ВЛ7314.70.74.05ТК	Приклад установки для монтажу НЕ	1	
			ВЛ7314.70.74.ПЗ		
		ПІБ	Підп.	Дата	
Розробн.	Топорець Д. В.				Відомість дипломного проекту
Керівн.	Казакевич М. Л.				
Консульт.					
Н/контр.	Поваров С. А.				
Зав.каф.	Кабанячий В. В.				
				Аркуш	Аркушів
				1	1
				КПІ ім.Ігоря Сікорського Каф. АРБ гр. ВЛ-73	

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

**на тему: « Проектування обладнання для створення
електронагрівальних елементів систем запобігання
обледенінню літаків»**

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙ З ВУГЛЕЦЕВИМИ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИМИ НАНОМАТЕРІАЛАМИ В МЕРЕЖІ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПРОТИКРИГОВОЇ СИСТЕМИ ЛІТАКА. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	8
1.1. Огляд та аналіз устаткування для систем запобігання обледеніння літака....	8
1.1.1. Е1.1.1. Устаткування для електротеплових систем	8
1.1.2. Устаткування для повітряно-теплових систем.....	9
1.1.3. Обладнання для хімічного способу.....	10
1.1.4. Механічна ПОС	11
1.1.5 ПОС з використанням нанотрубок	11
1.2. Аналіз композитних матеріалів з вуглецевими нанотрубками як нагрівальний елемент	13
1.3. Аналіз способів нанесення композитних полімерів.....	13
1.3.1. Імпульсно-плазмова технологія нанесення покриття.....	14
1.3.2. Нанесення покриття за допомогою валків, що обертаються	14
1.3.3. Технологія нанесення порошкових полімерів.....	14
1.3.4. Нанесення лакофарбових матеріалів пневматичним розпилювачем	15
1.3.5. Нанесення лакофарбових матеріалів валиками.....	17
1.3.6. Нанесення лакофарбових матеріалів методом плоского налива	17
Висновки по розділу	17
2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ МЕРЕЖІ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІТАКА	18
Висновок по розділу	19
3. РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВИХ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КОКА ВТУЛКИ ГВІНТА	20
Висновок по розділу	22

						ВЛ7314.70.74.ПЗ				
Змін	Арк.	N документ.	Підпис	Дата	Проектування обладнання для створення електронагрівальних елементів систем запобігання обледенінню літаків			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Топорець Д.В.								
Перевірив		Козакевич М.Л.								
Н.кон.		Поваров С.А.								
Затв.		Кабанячий В.В.								
						КІП ім.Ігоря Сікорського Каф. АРБ гр. ВЛ-73				

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНСТРУКЦІЇ МОНТАЖУ ТА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	23
Висновок по розділу	26
5. СОБІВАРТІСТЬ ТА МОНЕТИЗАЦІЯ РОЗРОБКИ.....	27
ВИСНОВОК	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	29

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПОС -протиобледенювальна ситема
ЛА -літальний апарат
ЛФМ -лакофарбовий матеріал
HE -нагрівальний елемент
SNTs -carbon nanotubes
ТНК -тепловий неруйнівний контроль
ПУЗП - Установа для заправки аерозолей

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Використання композиційних матеріалів почалося ще в минулому столітті, і з тих пір вигадано безліч способів їх застосування. Все частіше металеві частини літаків замінюють на композитні матеріали. Композитні матеріали зазвичай легші за метали, що особливо корисно для авіації, де важливий кожен грам. На даний момент є необхідність у розробці системи запобігання обледеніння із полімеру з нанотрубками і оснащення для нанесення даного полімеру на поверхні літака, для запобігання обледенінню, використовуючи просту конструкцію без зайвої маси.

ДП Антонова поставило задачу дослідити полімерні електронагрівальні елементи з вуглецевими нанотрубками для системи запобігання обледеніння, та розробити спосіб нанесення, контролю та ремонту нагрівальних елементів системи. Дана робота має на меті вирішити поставлені задачі.

Під час дипломної роботи були проведенні експерименти по створенню та дослідженню нагрівальних елементів.

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙ З ВУГЛЕЦЕВИМИ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИМИ НАНОМАТЕРІАЛАМИ В МЕРЕЖІ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПРОТИКРИГОВОЇ СИСТЕМИ ЛІТАКА. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1. Огляд та аналіз устаткування для систем запобігання обледеніння літака

Системи запобігання обледенінню літака створюються аби запобігти намерзання льоду з вологи в атмосфері на поверхнях ЛА, таких як крила, забірники повітря двигуна, лопаті несучого гвинта, пропелери, стабілізатори та інші важливі аеродинамічні поверхні. Намерзший лід, який має значну товщину може змінити форму аеродинамічного профілю та поверхонь керування ЛА зменшуючи їх ефективність, вплинути на системи контролю, або змінити характеристики керованості літального апарату. Системи захисту від льоду запобігають його утворенню, або розтоплюють лід, перш ніж він становитиме загрозу ЛА.

Причиною аварій ЛА в наслідок намерзання льоду є збільшення аеродинамічного опору, втрата підйомної сили, або її зменшення, збільшення ваги повітряного судна, втрата тяги, або її зменшення від накопичення льоду на планері, крилах, проперлерах, аеродинамічних профілях, залежно від того який тип льоду утворюється, що залежить від специфіки метеорологічних умов атиосфери. Якщо лід намерзне на системах забору повітря, або системах подачі палива в двигун це може призвести до зменшення потужності двигуна.

Для боротьби з льодом є багато систем, які поділяються на такі основні типи: електротеплова, повітряно-теплова, хімічна, механічна.

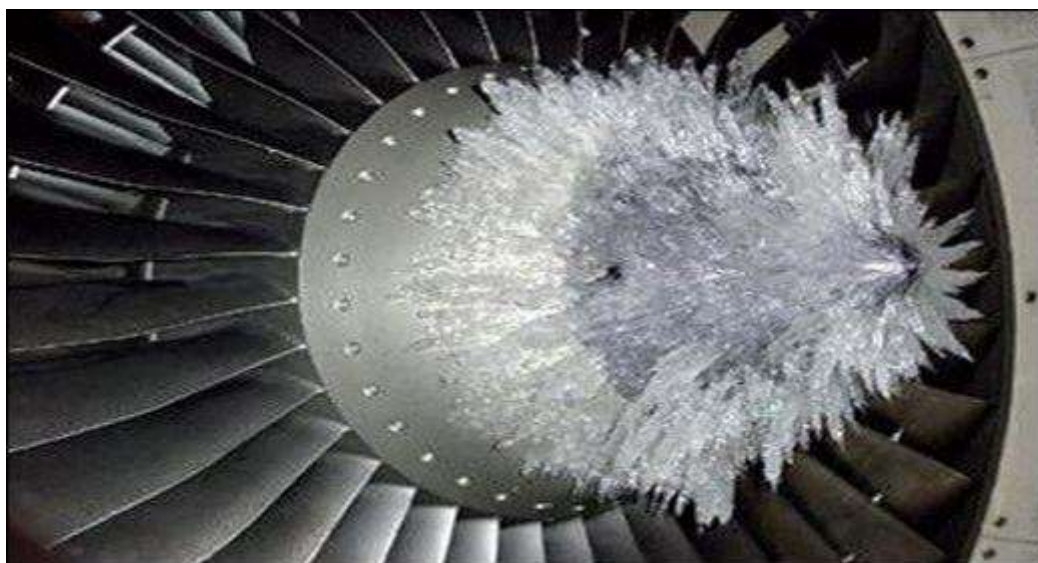


Рис.1.1. Намерзший лід

1.1.1. Е1.1.1. Устаткування для електротеплових систем

Електротеплова - закладені під обшивкою ЛА і в передній кромці повітряних гвинтів електронагрівальні елементи, живлення на які зазвичай подається не неперервно, а за програмою - щоб уникнути як перевантаження системи електропостачання, так і перегріву. З цією ж метою електротеплова ПОС часто розбита на почергово вмикаючіся секції.

									Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					

ВЛ7314.70.74.ПЗ

Живитися електротеплова ПОС може змінним напругою 115/200 В.

Також локально обігріваються з метою запобігання обмерзанню та спотворення параметрів польоту, які знімають різні датчики й сигналізатори, що працюють в повітряному потоці, наприклад: приймачі повного, або повітряного тиску, плити отворів приймачів статичного тиску, приймачі загальмованого повітряного потоку, датчики кута атаки та ін.

Практично на всіх типах ЛА обігріваються лобові стекла пілотської кабіни. Скло виготовляються багатошаровими (триплекс), і між шарами прокладена прозора електропровідна плівка з електродами поблизу крайок скла. На обігрівальний елемент скла подається змінна напруга від регульованого автотрансформатора, зазвичай в межах від 160 до 250 вольт. Також на багатьох ЛА обігрів стекол дворезимний. Повний режим, який передбачає безперервну подачу живлення на електрообігрів скла, може використовуватися тільки в польоті, при інтенсивному охолодженні налітаючим потоком повітря. На землі це може привести до розтріскування скла, тому встановлюються автомати обігріву, які подають живлення циклічно: після нагрівання до + 20-30 градусів живлення вимикається, скло остигає, потім процес повторюється знову. Кожне скло забезпечене парою термодатчиків (один робочий, другий запасний). Крім того, для запобігання запотівання скла зсередини кабіни на них подається тепле повітря з системи кондиціонування.

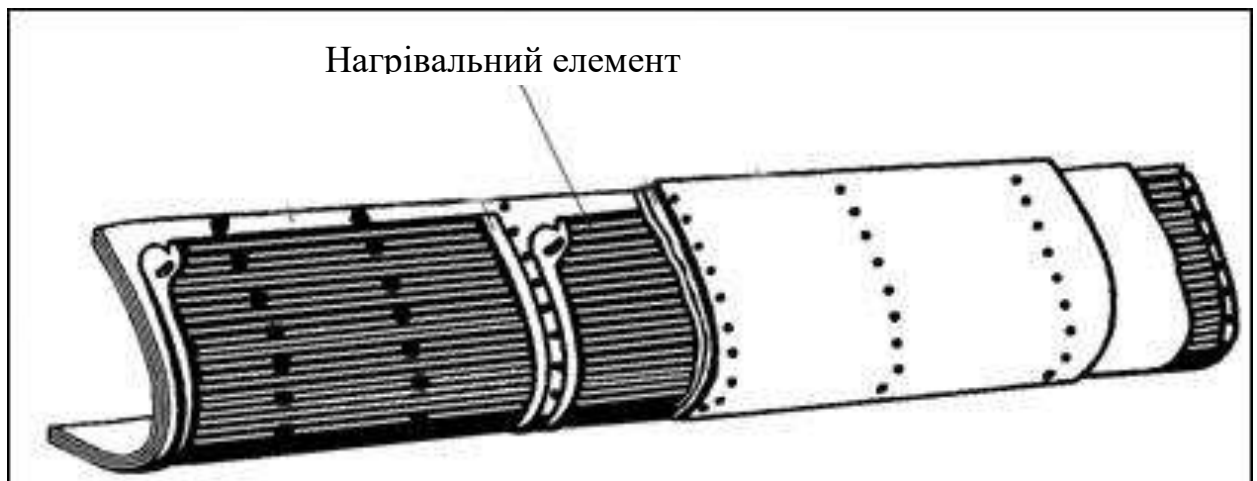


Рис.1.1.1. електротеплова пос під обшивкою носка крила

1.1.2. Устаткування для повітряно-теплових систем

Повітряно-теплова працює за рахунок розтоплення льоду теплом відпрацьованого від двигуна горячого повітря. Найчастіше повітряно-теплова ПОС застосовується для обігріву нерухомих в польоті елементів конструкції літака (оперення, дверей, носків крила, відсіку допоміжної силової установки).

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

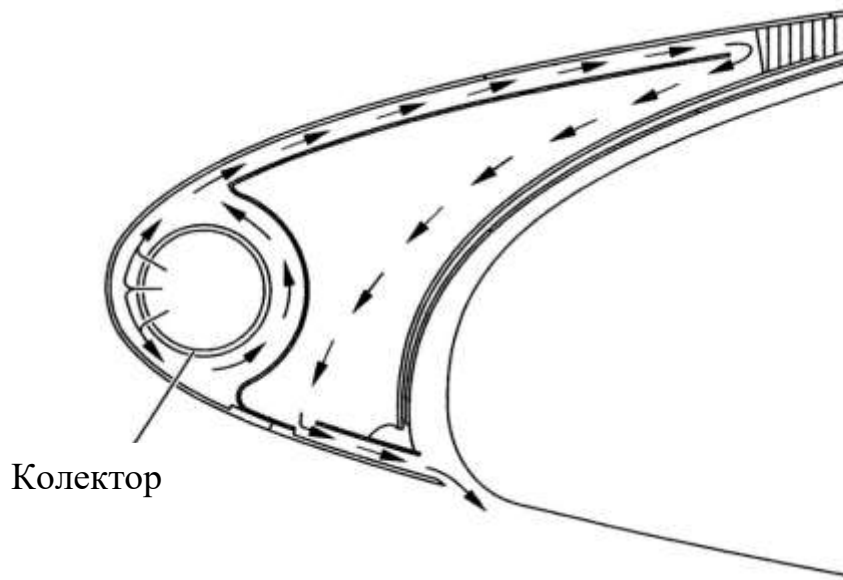


Рис.1.1.2. Повітряно-теплова ПОС в предкрилку

1.1.3. Обладнання для хімічного способу

Хімічна ПОС працює на принципі розчинення льоду хімічним реагентом, найчастіше етиловим спиртом, водний розчин якого має значно нижчу температуру замерзання, ніж чиста вода. Також перед злетом в умовах обмерзання (близька точка роси, нульова або негативна температура повітря) літальний апарат може бути оброблений реагентом зі спеціальної машини, в даний час - найчастіше рідиною «Арктика», сумішшю етиленгліколю і протикорозійної присадки.

Спиртовий спосіб запобігання обледеніння досить широко застосовувалося в ЛА середини 20-го століття, в більш пізніх ЛА спирт застосовувався тільки для обмивання лобового скла, як резерв до електрообігріву.



Рис.1.1.3. Обробка літака хімічною ПОС

Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ВЛ7314.70.74.ПЗ

Аркуш

1.1.4. Механічна ПОС

Механічна - ПОС, принцип дії якої базується на деформації обшивки, під яку закачується стиснене повітря. При цьому утворений лід розколюється і зноситься швидкісним напором повітря.[1]

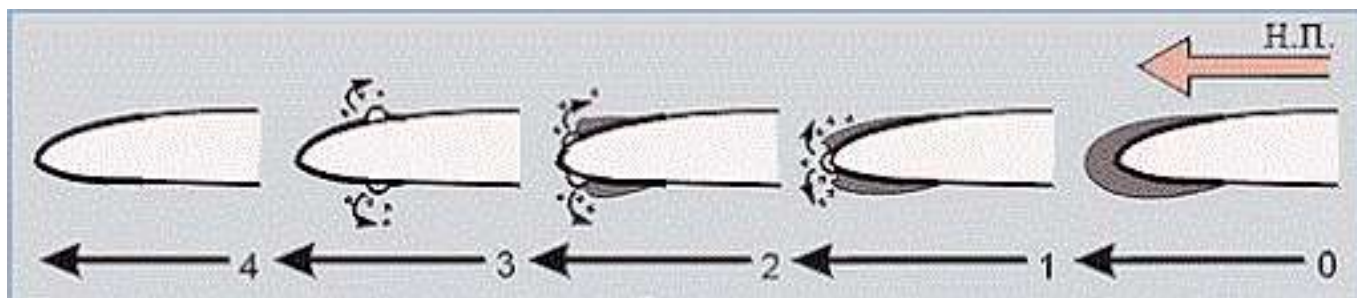


Рис.1.1.4. Робота механічної ПОС

1.1.5 ПОС з використанням нанотрубок

Останнім часом спостерігається різке зростання використання полімерних композитних матеріалів. Показники всіх аеродинамічних поверхонь сильно залежать від форми і форми поверхні. Модифікація цих поверхонь за рахунок конденсації і танення льоду може викликати катастрофічне зниження аеродинамічних характеристик. У цьому дослідженні були виготовлені і вивчені полімерні композитні матеріали в якості утепера [8].

Обґрунтування використання передових полімерних композитів для застосування змочування було перевірено та вивчено за допомогою експериментів. Він складається з тонких вуглецевих нанотрубок (CNTs) Vucky paper, розміщених між двома вуалями скловолокна, а потім проникає в епоксидну полімерну смолу і виліковується. Композит можна дуже швидко нагрівати за допомогою джерела електроенергії. Експериментально досліджувалася ідея використання цього нового матеріалу в якості утепера і матеріалу для оислення. Для цього температурний розподіл контролювали в різних положеннях панелі за допомогою тепловізійного зображення. Експериментальні результати показують, що температура поверхні панелі поступово збільшується з часом нагрівання. Ця температура збільшилася за короткий проміжок часу нагріву, шикуючи, що композитні панелі з папером CNTs Vucky відображають відмінні показники нагріву.

Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

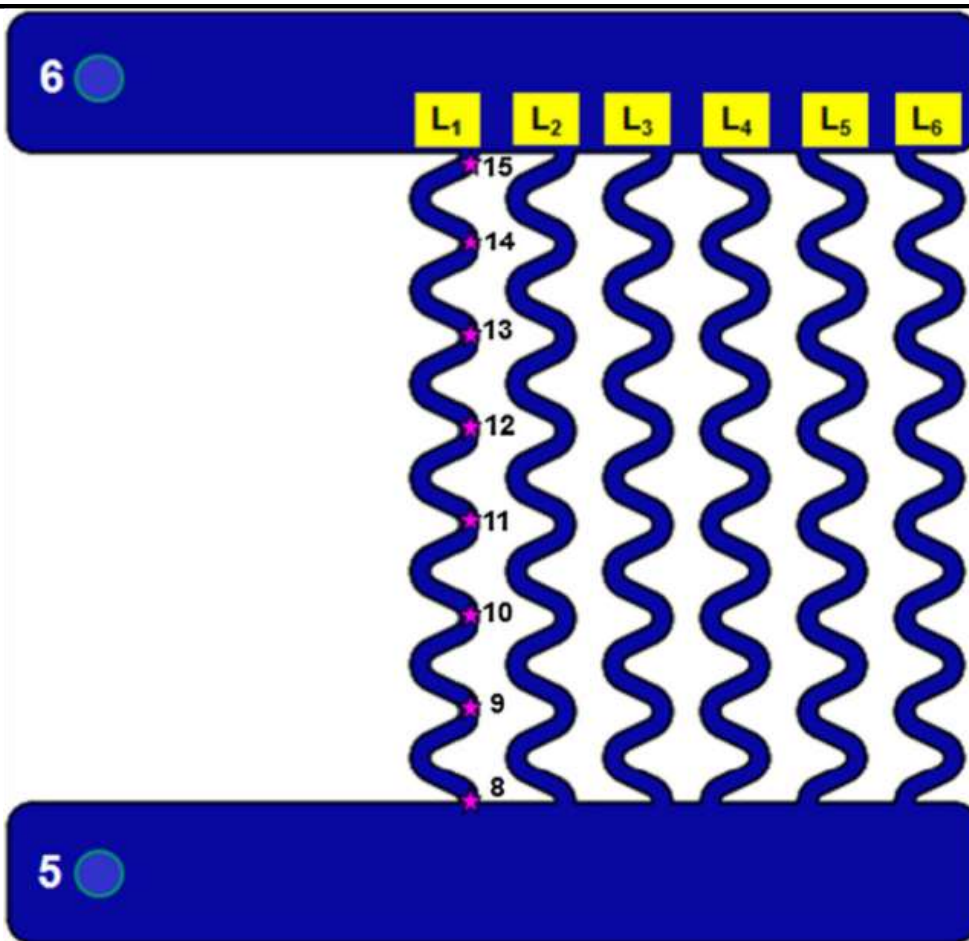


Рис.1.1.5.1. Композитна панель

Експериментальне обладнання : Експериментальні випробування, проведені на композитній панелі, мають на меті вимірювання нагріву за рахунок проходження електричного струму. Для експериментального налаштування використовується інфрачервона тепловізійна камера для вимірювання розподілу температури.

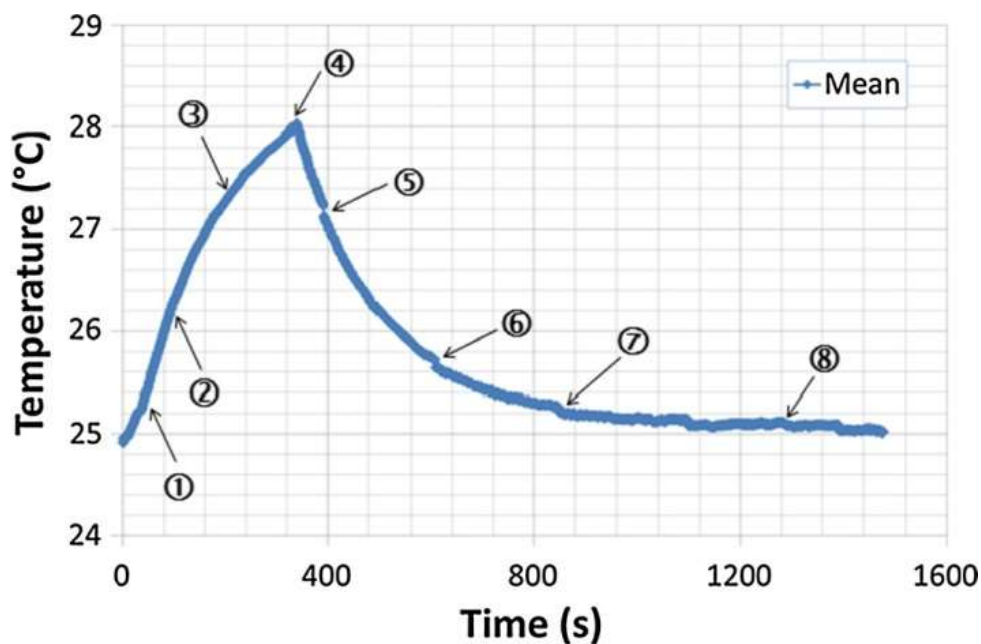


Рис.1.1.5.2. Графік розподілу температур

При підключенні композиту до джерела живлення середня температура досягає приблизно 28 С в швидкий час (335 с).

Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
------	-------	----------	--------	------

1.2. Аналіз композитних матеріалів з вуглецевими нанотрубками як нагрівальний елемент

Останні розробки в галузі авіаційного конструювання призвели до різкого зростання використання полімерних композиційних матеріалів. Характеристики всіх аеродинамічних поверхонь сильно залежать від форми профіля та якості поверхні. Зміна цих поверхонь через конденсацію та танення льоду може спричинити катастрофічні зниження аеродинамічних характеристик. У цьому дослідженні були виготовлені та вивчені полімерні композиційні матеріали як нагрівачі. Доцільність використання вдосконалених полімерних композитів для обробки з метою запобігання обледеніння була підтверджена та вивчена шляхом експериментів. Він складається з тонких вуглецевих нанотрубок (CNTs), паперу Vucky, розміщеного між двома завісами зі скловолокна, а потім просочений епоксидною полімерною смолою і вулканізований. Композит можна дуже швидко нагріти, за допомогою електроенергії. Ідея застосування цього нового матеріалу в якості нагрівача та матеріалу запобігачого обледенінню була досліджена експериментально. Температуру контролювали в різних положеннях панелі за допомогою тепловізора. Результати експерименту показують, що температура поверхні панелі зростає поступово зі збільшенням часу нагрівання. Температура зросла за короткий час нагрівання, що означає, що композитні панелі з папером Vucky з CNTs демонструють відмінні ефекти нагрівання.[2]

1.3. Аналіз способів нанесення композитних полімерів

Полімерні покриття можуть наноситися за допомогою рідких полімеризуючих складових, розплавів і дрібнодисперсних порошків. Використовуючі спеціальні емульсії, можна створювати полімерні покриття із матеріалів, які самі не можуть створювати адгезійні зв'язки з матеріалом. Наприклад, за допомогою спеціального фторопластового лаку наносяться тонкі покриття з низьким коефіцієнтом тертя і хорошими анти адгезійними властивостями, завдяки яким вони можуть захищати поверхні від залипання різними матеріалами.

Нанесення полімерного покриття за допомогою рідких складових здійснюється або кистьовим способом, або способом заливки з використанням спеціально підготованих форм. Кистьовий спосіб досить простий, так як не потребує додаткового обладнання. Однак такий спосіб досить трудомісткий. Для отримання досить великої товщини покриття нанесення доводиться проводити в декілька етапів з періодичним просушуванням слоїв.

Зараз існують такі способи нанесення полімерів:

1. Імпульсно-плазмова технологія нанесення покриття;
2. Нанесення покриття за допомогою валків, що обертаються;
3. Технологія нанесення порошкових полімерів;
4. Нанесення ЛФМ пневматичним розпилювачем;
5. Нанесення ЛФМ валиками;
6. Нанесення ЛФМ методою плоского налива.

										Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВЛ7314.70.74.ПЗ					

1.3.1. Імпульсно-плазмова технологія нанесення покриття

Основним принципом процесу нанесення тонкого покриття являється розкладання парів рідких хімічних реагентів, які вводяться в дуговий плазматор, з наступним проходженням плазмохімічних реакцій і утворенням покриття на виробі.

Процес проходить у декілька стадій:

1. Переведення початкових матеріалів реагентів із рідкого стану в газоподібний;
2. Проходження реакції розкладу компонентів парової фази в плазмі дугового розряду на окремі хімічні зв'язки і переніс їх плазмовим струменем до підкладки;
3. Проходження взаємодій між хімічними зв'язками газової фази і газів на підкладці, що призводить до зародження і росту плівки.[3]

1.3.2. Нанесення покриття за допомогою валків, що обертаються

Процес нанесення покриття за допомогою вальців, що обертаються показаний на рис.1.3.2. Стрілками показані напрями обертання валів і руху плити. Принцип дії станка такий: ЛФМ (2) залитий в порожнину, утворену поверхнями друкарного (3) і дозуючого (1) валу протискається між ними і переноситься друкарним валом на плиту (6), що проходить між друкарним і прижимним валом (5), утворюючи покриття (4).

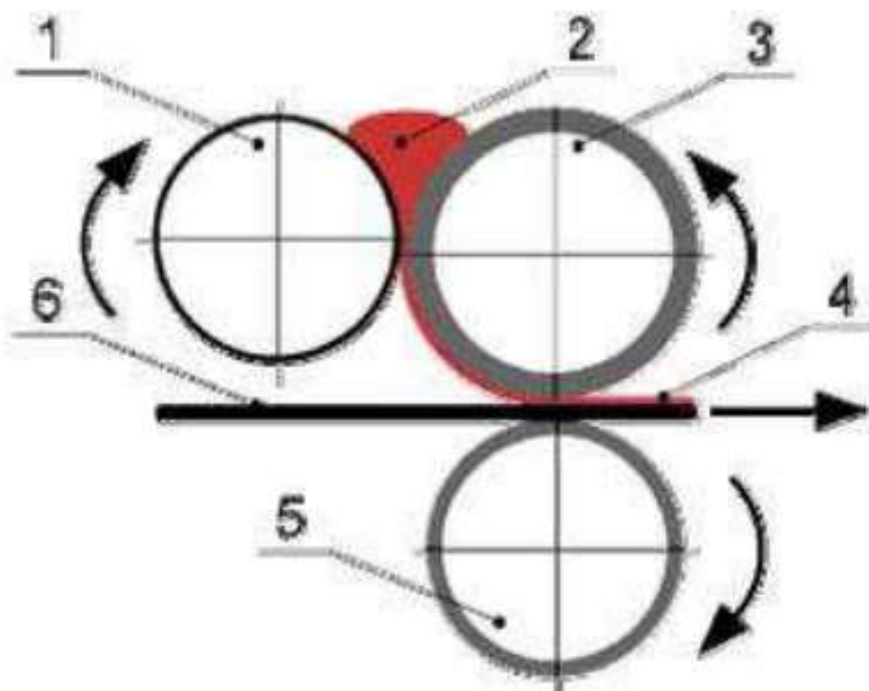


Рис.1.3.2. Процес нанесення покриття за допомогою валків, що обертаються

1.3.3. Технологія нанесення порошкових полімерів

Типовий технологічний процес отримання покриттів із порошкових фарб включає три основні стадії: підготовку поверхні, нанесення порошкового матеріалу, формування з нього покриття (запікання). Якість покриття залежить від чіткого дотримання технологічних режимів всіх стадій процесу.[4] На рис.1.3.3. показані різні види порошків.

Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ВЛ7314.70.74.ПЗ

Аркуш



Рис.1.3.3. Порошки, які використовуються як покриття

Переваги полімерних порошкових покриттів:

1. Організація екологічно чистого виробництва;
2. Використання матеріалів на 95-98%;
3. Малі енергозатрати;
4. Висока продуктивність праці;
5. Виключене використання розчинників;
6. Можна обійтись без завчасної ґрунтовки;
7. Отримання рівномірного покриття на виробках різних конфігурацій;
8. Використання покриттів в будь-яких кліматичних зонах, а також в агресивних хімічних середовищах;
9. Велика кольорова гамма;
10. Хороша адгезія, еластичність, стійкість до ударів, електроізоляційні характеристики, а також зносостійкість, кращі корогостійкі властивості порівняно з рідкими ЛФМ.

При нанесенні покриття контролюються:

1. Тиск зжатого повітря на створення факела;
2. Витрата порошково-полімерного матеріалу через сопло;
3. Відстань до поверхні;
4. Час фарбування;
5. Товщина покриття.

1.3.4. Нанесення лакофарбових матеріалів пневматичним розпилювачем

Цей спосіб універсальний, простий в технічному плані, але дає великі витрати матеріалу і створює підвищену загазованість робочого середовища.

Суть пневматичного розпилення в тому, що у результаті дроблення рідини струєю стисненого повітря ЛФМ переходить у стан аерозолю, аерозольні частинки рухаються у напрямку повітряного середовища і на оброблюваній поверхні

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

зливаються в суцільний шар. Розпилювання матеріалу відбувається у форсунці, яка являється основною частиною розпилювача рис.1.3.4. Швидкість повітряного струменя на виході з форсунки складає 300-450 м/с, тиск повітря в залежності від конструкції лако розпилювача 0,25-0,55 МПа. Оптимальне значення в'язкості ЛФМ – 25-35 с по ВЗ-4, розмір аерозольних частинок при цьому складає 6-80 мкм.

Метод розпилення ЛФМ частіше використовують в ручну, використовуючи фарборозпилювачі марок КРА-3, КР-20, ЗИЛ, С-765 та ін. Процес виконують у спеціальних кабінах, які повинні забезпечувати повну очистку забрудненого повітря від лакофарбового пилу, максимальне віддалення утворених парів і аерозоля із зони фарбування, пожежну безпеку.

Під час перерв у роботі передню частину фарборозпилювача потрібно тримати в розчиннику. При зміні фарби, або лаку, а також після закінчення роботи фарборозпилювач необхідно промити розчинником.

Обробку деталей методом розпилення виконують в розпилювальних кабінах. Кабіни також служать для збору і відкачки летючих елементів, які утворюються у вигляді туману.

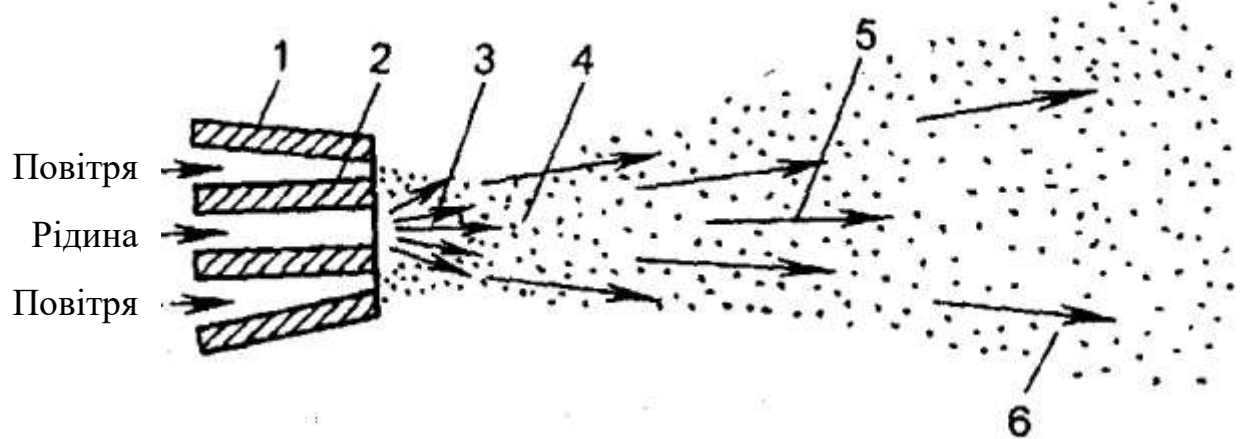


Рис.1.3.4. Схема пневматичного розпилювача рідини форсункою з кільцевим соплом для повітря: 1-кільце для стисненого повітря; 2-матеріальне сопло; 3-зона розрідження; 4-зона надмірного тиску; 5-зона розпилення; 6-зона утворення туману

До недоліків обробки таким методом розпилення відносяться великі витрати ЛФМ (до 40 %), забруднення повітря необхідність використання спеціальних кабін. Уникнути ряду недоліків такого методу дозволяє метод безповітряного розпилення. Він оснований на розпиленні ЛФМ шляхом застосування високого тиску в лакоподаваючій системі установки. ЛФМ подається до фарборозпилювача під високим тиском. При виході із сопла розвивається велика швидкість струменя лаку, яка перевищує критичну швидкість руху при даній в'язкості, що призводить до розпилення лаку. Такий метод дозволяє наносити ЛФМ підвищеної в'язкості з отриманням більш якісного покриття. Існують холодний і гарячий спосіб безповітряного розпилення. При холодному тиск досягає 24 МПа, а при гарячому – 4,5-7 МПа, але лак нагрівається до 70-100°C.

Метод безповітряного розпилення сумісний майже з усіма марками лаку, за виключенням тих, що мають прискорювачі висихання.

1.3.5. Нанесення лакофарбових матеріалів валиками

Нанесення виконується за один або декілька проходів в залежності від необхідної товщини покриття, з однієї або двох сторін. ЛФМ наноситься на поверхню за допомогою валика, що обертається. Матеріал потрапляє на поверхню валика що наносить із ванни за допомогою живильного і дозуючого валика, або із проміжку між дозуючим і валик що наносить. По конструкції станки бувають різними. Валиковим методом можна наносити барвники, ґрунтовки, шпакльовки, лаки, друковані малюнки.

Перевагою валикового методу є висока продуктивність, незначні витрати матеріалу, можливість нанесення матеріалів різної в'язкості, дуже тонких шарів, а також легка вбудованість станків в автоматизовані лінії.[5]

1.3.6. Нанесення лакофарбових матеріалів методою плоского налива

Плоский налив отримав широке розповсюдження, так як він забезпечує високу продуктивність. За одну операцію можна нанести високу кількість матеріалу при порівняно високій в'язкості, малою витратою розчинника. Метод налива має малі втрати ЛФМ, але, він не забезпечує нанесення малої кількості лаку за один прохід (менше 90 г/м²).[6]

Суть нанесення ЛФМ методу наливу в тому, що покладені на рухомий конвеєр плоскі деталі проходять через завісу рідкого матеріалу, який витікає з наливної головки. Завіса оброблюючого матеріалу може бути утворено різними способами, в залежності від схеми головок лаконаливних машин.

Способом налива можна наносити однокомпонентні і двохкомпонентні ЛФМ, а також водно-дисперсні.

Висновки по розділу

В даному розділі були розглянуті різні види ПОС літальних апаратів. Були розглянуті різні види полімерів та методи їх нанесення, розглянуті їхні переваги та недоліки. Розглянуті аналоги допоможуть розробити оптимальний метод нанесення нагрівальних елементів із полімеру з вуглецевими нанотрубками для систем запобігання обледенінню, та установку для автоматизації нанесення розробленого полімеру на елементи літака.

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аржуш
Змін	Аржуш	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ МЕРЕЖІ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛІТАКА

Пропозиція технології виробництва НЕ

1. Розміри, форма, кількість, розташування і опір НЕ визначаються результатами проектування ЕТ ПОС і є вхідними даними для виготовлення НЕ.
2. НЕ здійснюється шляхом нашарування основних шарів відразу на поверхні облицювання або на гнучкій основі для подальшої наклейки на захищену поверхню.
3. Щоб шари рівномірно розподілялися по поверхні, матеріал кожного шару наноситься автоматично за допомогою 3 або 4-координатної машини з електронним керуванням. На етапі розробки технології і виготовлення дослідних зразків застосування шарів обігрівачів може здійснюватися ручним оператором.
4. Перший шар наноситься на діелектрик. Товщина шару визначається виходячи з теплових і діелектричних властивостей матеріалу, а також по розташуванню НЕ по відношенню до облицювання. Якщо для НЕ використовується гнучка основа (з діелектричними властивостями), окремий шар діелектрика може не застосовуватися.
5. Після затвердження шар діелектрика встановлюються і фіксуються за допомогою клею електропровідні шини з припаяними выводами електричних контактів.
6. Залежно від форми і геометричних параметрів поточного струмопровідного складу, нашарування в не-панелі можна проводити поетапно, використовуючи заздалегідь зроблені трафарети, що повторюють форму елементів і забезпечуючи точність геометрії НЕ.
7. Виконується нанесення самих нагрівачів. Нанесення проводиться шарами товщиною 0,01 мм (уточнюється за результатами випробувань). Один шар наноситься за один прохід. Після нанесення шару електропровідного матеріалу в одному проході контролюється електричний опір обігрівачів.
8. Застосування матеріалу нагрівача припиняється після того, як електричний опір нагрівача забезпечується необхідним з урахуванням допусків.
9. Після нанесення матеріалу знімається трафарет і вставляється наступний або відклеюють / заклеюють відповідні частини трафаретів. Процедура повторюється.
10. Якщо опір певного нагрівача перевищує необхідне значення, відбувається видалення цього НЕ або всієї НЕ панелі. Виконується повторне нанесення нагрівачів.

										Аркуш
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата						

ВЛ7314.70.74.ПЗ

11.Після нанесення шару обігрівачів наносять захисні шари. Залежно від розташування НЕ по відношенню до обшивки товщина і теплові властивості матеріалу захисних шарів відрізняються.

Таблиця теплових властивостей, якими повинен володіти кожен шар матеріалу.

Розташування відносно основ	НЕ знаходиться всередині обшивки	НЕ розташований з зовні обшивки	НЕ на гнучкій основі
Діелектрик	Висока теплопровідність Діелектрик	низька теплопровідність Діелектрик	Може бути відсутнім
нагрівальний елемент	-	-	-
Захисні шари	Низька теплопровідність Діелектрик	Висока теплопровідність Діелектрик Висока зносостійкість	Висока теплопровідність Діелектрик Висока зносостійкість

Можливі наступні варіанти геометрії НЕ:

1. НЕ нанесений суцільною поверхнею на захищуєму поверхню;
2. НЕ у вигляді серії простягнутих стрічок у здовж довжини НЕ;
3. НЕ у вигляді особливих малюнків – проблематично виготовити.

Висновок по розділу

Після проведення дослідження НЕ, а саме досліджена залежність вольтамперних і теплових характеристик в залежності від концентрації нанотрубок у полімері та від товщини нанесеного шару були виявлені оптимальні параметри якими має володіти НЕ:

1. В якості електрозахисної підложки буде використано штатний авіаційний ґрунт ЄП0215;
2. В якості матриці в композиті виступатиме авіаційний герметик «Віксінт»;
3. Концентрація нанотрубок у композиті становитиме 6-7% від маси ккомпозиту;
4. Товщина шару НЕ 1,8 мм;
5. НЕ буде у вигляді серії простягнутих стрічок у здовж довжини НЕ;
6. НЕ буде знаходитись на обшивці літака;
7. Після нанесення полімеру на ґрунтовку він буде покритий авіаційною фарбою.

					ВЛ7314.70.74.ПЗ		Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			

3. РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВУГЛЕЦЕВИХ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КОКА ВТУЛКИ ГВИНТА

У ході досліджень по нанесенню композита було виявлено, що оптимальним способом нанесення композиту буде використання пневматичного розпилювача. У дослідженні в якості пневматичного розпилювача був використаний аерограф.

При додаванні у полімер нанотрубок у кількості більш ніж 4% від маси полімеру, він стає надто в'язким для використання у розпилювачі. Тому, для зменшення в'язкості матеріалу при нанесенні до нього буде доданий розчинник етилацетат. Цей розчинник дуже летючий і після нанесення швидко висихає. Змішування нанотрубок з полімером буде відбуватись за допомогою ультразвукової мішалки.

Для забезпечення правильної форми НЕ буде використано трафарет.

Для забезпечення автоматизації процесу буде використано маніпулятор, який буде наносити полімер, при цьому контролюючи витрати матеріалу і товщину нанесеного шару.



Рис.3.1. Приклад установки автоматичного нанесення шарів

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.3.2. Приклад трафарету



Рис.3.3. Установка трафарету на вже нанесений шар діелектрика

Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата

ВЛ7314.70.74.ПЗ

Аркуш

Також даний полімер можна заправити у аерозольні балончики рис.3.4. за допомогою ПУЗП рис.3.5.[7] Такі балончики можна використовувати для ремонту НЕ у польових умовах.



Рис.3.4. Аерозольний балончик



Рис.3.5. Установа для заправки аерозолей ПУЗП

Висновок по розділу

Було розроблено методику нанесення полімеру та установа для автоматичного нанесення. Дана установа може використовуватись на виробництві літаків для нанесення НЕ з полімера з нанотрубками в якості ПОС для літаків.

Також було випробувано заправку полімеру в аерозольні балончики та випробувано нанесення полімеру за допомогою пневматичного розпилювача та аерозолей.

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНСТРУКЦІЇ МОНТАЖУ ТА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ НАГРІВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

1. Матеріал: суміш віксінту і нанотрубок, призначений для створення нагрівальних елементів на поверхні літака в якості системи запобігання обледеніння літака.
2. Нанесення проводиться шляхом розпилення матеріалу, через трафарет, в місцях, де є небезпека намерзання льоду на літальних апаратах.
3. Процес нанесення матеріалу включає такі операції:
 - підготовку поверхні;
 - установку трафаретів;
 - підготовку матеріалу;
 - нанесення матеріалу на поверхню;
 - зняття трафарету.

Підготовлена поверхня повинна бути покрита авіаційною ґрунтовкою, бути рівною, без пошкоджень.

Трафарет встановлюється відповідно до вимог установки вказаних на кресленні. В якості трафарету може виступати щільний папір.

Підготовка полімерного матеріалу проводиться шляхом змішування авіаційного герметика віксінту, розчинника етилацетату, нанотрубок за допомогою ультразвукового диспергатора у пропорції необхідній для даного нагрівального елемента. Матеріал поставляють в готовому вигляді до апарата для розпилення.

Рівномірне нанесення матеріалу відбувається шляхом розпилення, при цьому контролюється витрата матеріалу, щоб забезпечити необхідну товщину шару відповідно до креслення.

Час висихання матеріалу перед проведенням теплового неруйнівного контролю повинен складати не менше 30 хв.

Видалення трафарету відбувається шляхом обережного віддирання трафарету, при цьому контролюється цілісність нагрівальних елементів. При необхідності краї нагрівальних елементів обробляються для отримання рівних поверхонь.

4. Контроль якості поверхні нагрівального елемента буде проводитись ультразвуковим товщиноміром та тепловим неруйнівним контролем за допомогою тепловізора. Теплові методи контролю дозволяють проводити дистанційну технічну діагностику у процесі експлуатації об'єктів, що особливо актуально для неперервних виробничих процесів та потенційно небезпечних об'єктів.

ТНК – це метод неруйнівної діагностики, який базується на реєстрації теплових або температурних полів об'єкту контролю. Температура – кількісний показник внутрішньої енергії, є універсальною характеристикою процесів перетворення

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

теплових полів. Будь-який об'єкт з температурою, яка відрізняється від абсолютного нуля, є джерелом інфрачервоного випромінювання.

Температурне поле буде реєструватися тепловізором у вигляді термограм, які представляють собою видиме зображення температурних неоднорідностей.

Для прикладу, на рис.4.1. зображена термограма зразка НЕ зроблена на тепловізорі FLIR GT 257 і оброблена на комп'ютері. Ці термограми ілюструють якість (рівномірність покриття, відсутність тріщин та ін.). Крім того це дозволяє зафіксувати робочу температуру.

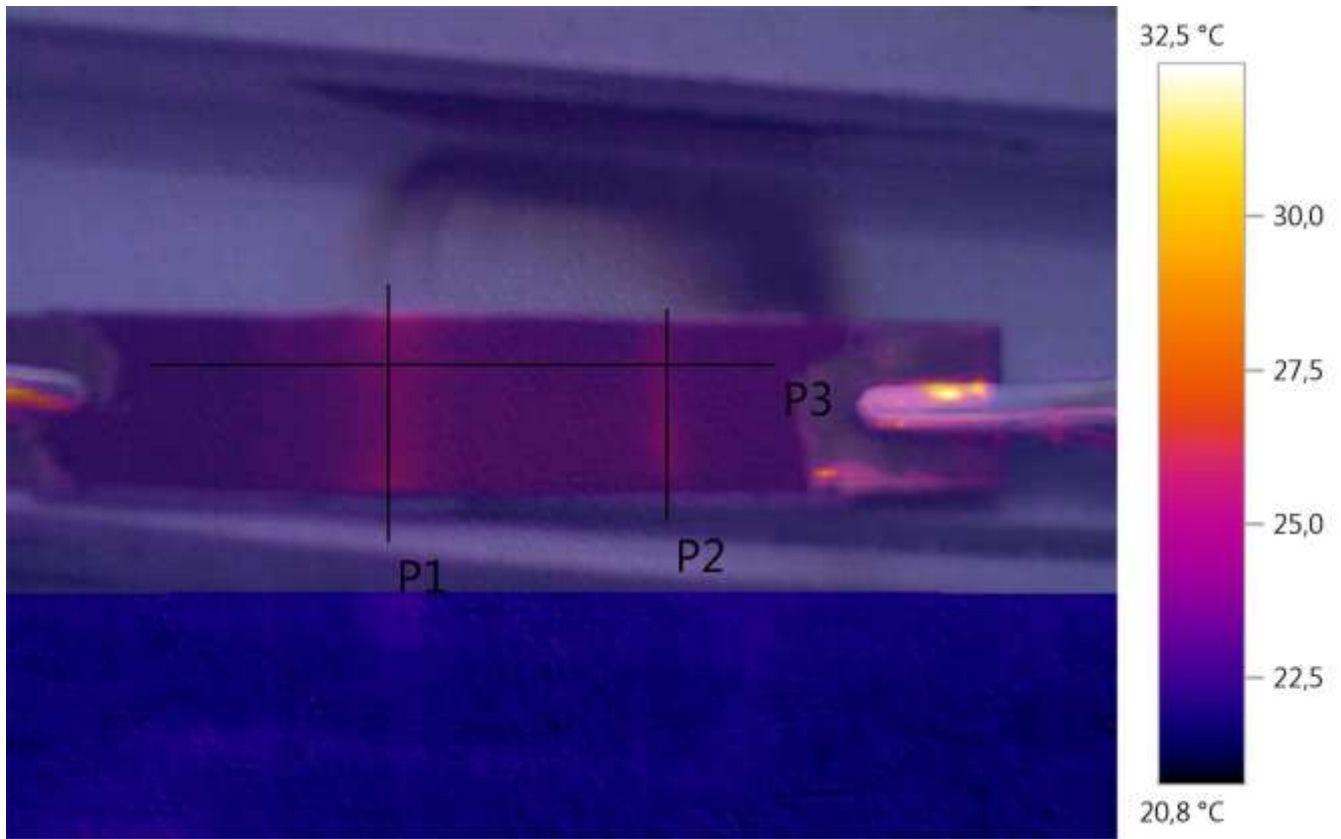


Рис.4.1. Зразок НЕ, термограма зроблена на тепловізорі

P1, P2, P3 – профілі вздовж яких вимірюється рівномірність нагріву зразка

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

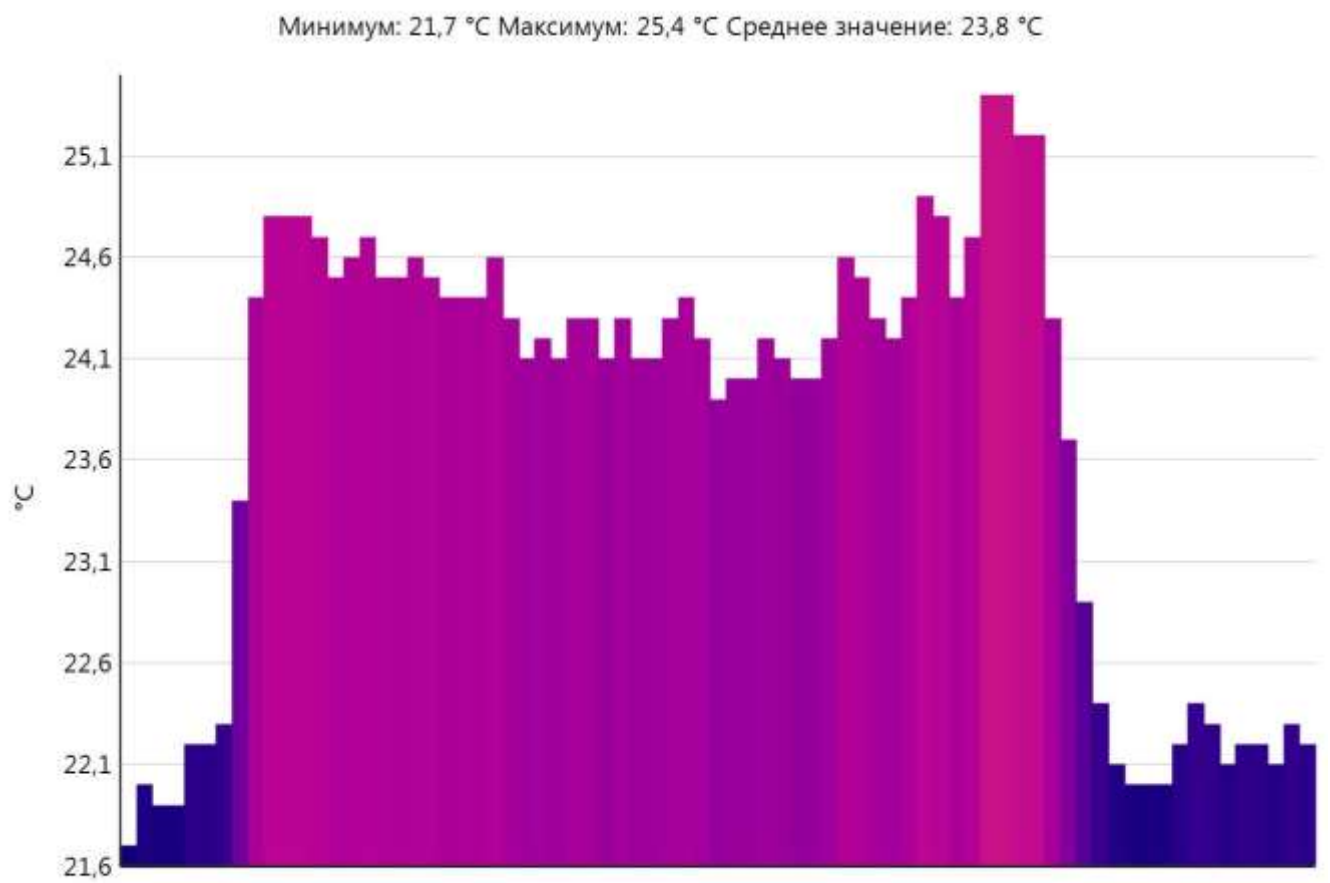


Рис.4.2. Перший профіль

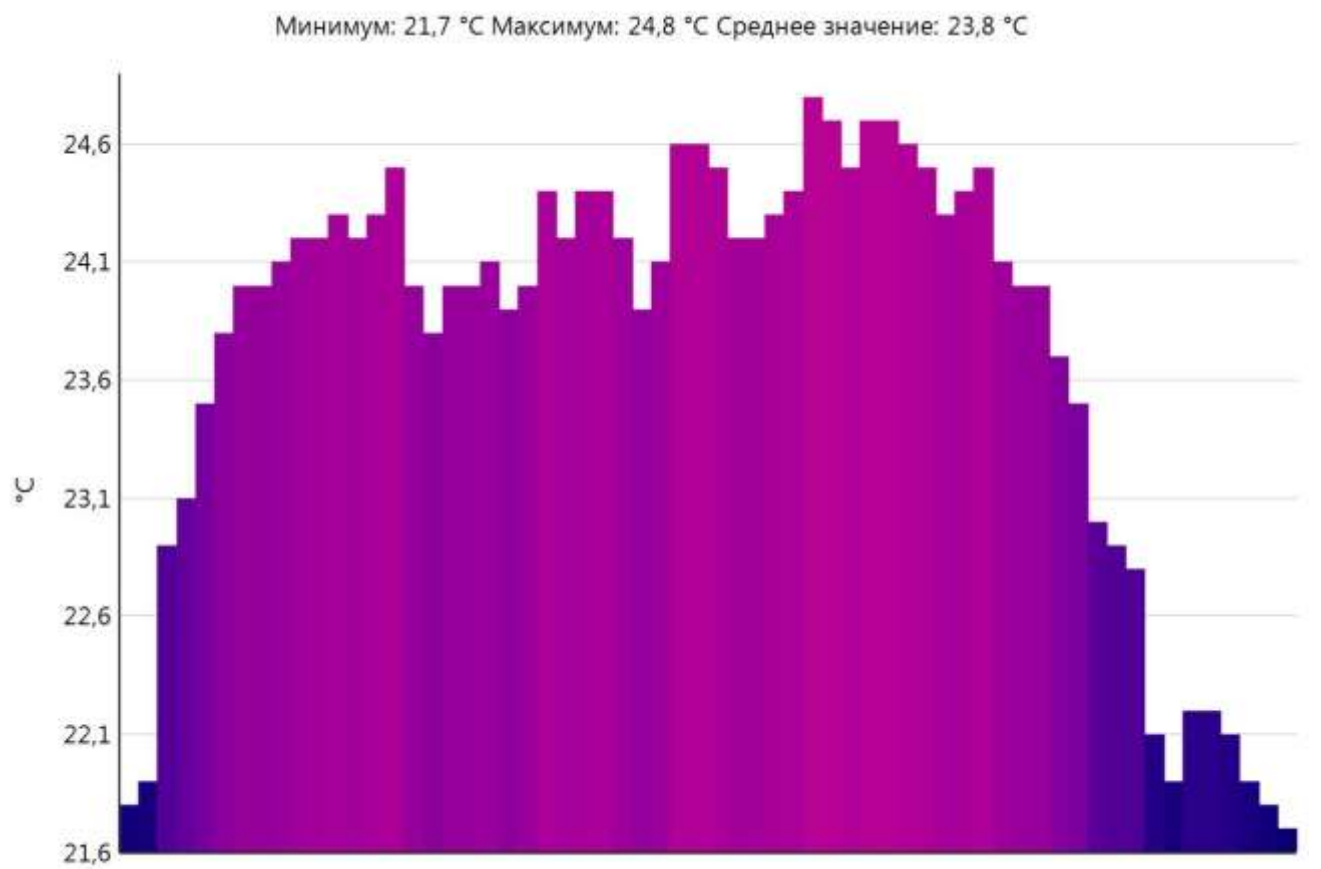


Рис.4.3. Другий профіль

						Аркуш
ВЛ7314.70.74.ПЗ						
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

Минимум: 22,3 °C Максимум: 24,7 °C Среднее значение: 23,3 °C

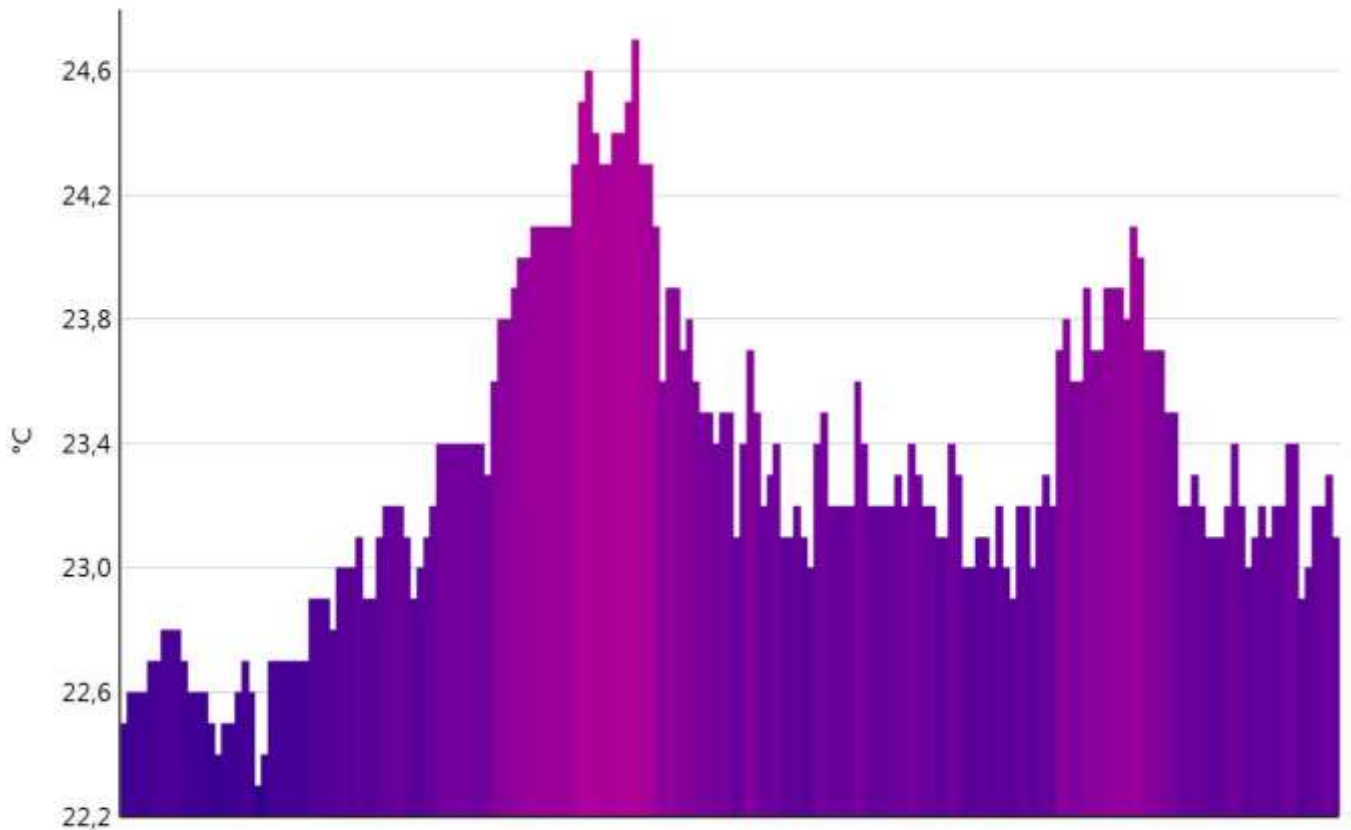


Рис.4.4. Третій профіль

5. Якщо НЕ не відповідає нормам контролю, то необхідно змити НЕ за допомогою розчинника етилацетату, дочекатись доки висохне розчинник та повторно нанести полімер.
6. Ремонт НЕ може здійснюватись у польових умовах. Для цього необхідно ізолювати пошкоджену зону; змити пошкоджену частину НЕ за допомогою розчинника етилацетат; після висихання розчинника нанести полімерну суміш за допомогою аерозольного балончика; почекати доки висохне полімер не менше 30 хвилин.
7. При роботі з матеріалом необхідно дотримуватись техніки безпеки:
 - розпилення проводиться у герметичній кабіні з фільтрами повітря;
 - робочі повинні користуватись індивідуальними засобами захисту: костюм хімічного захисту, рукавички, захисні окуляри, респіратор;
 - персоналу необхідно дотримуватись правил особистої гігієни при роботі з хімічними речовинами.

Висновок по розділу

У даному розділі розроблена технологічна інструкція монтажу та ремонту НЕ на ЛА шляхом розпилення полімерного матеріалу через трафарет, запропонований і пояснений спосіб неруйнівного контролю (тепловий неруйнівний контроль та контроль товщини ультразвуковим товщиноміром), розписані правила безпеки при роботі з матеріалом.

									Аркуш	
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВЛ7314.70.74.ПЗ					

5. СОБІВАРТІСТЬ ТА МОНЕТИЗАЦІЯ РОЗРОБКИ

1. Промисловий фарборозпилювач – 15 000 грн. (можна використовувати розпилювач для нанесення авіаційної фарби на виробництві)
2. Промисловий маніпулятор – близько 35 000 грн.
3. Ультразвуковий диспергатор – 30 000 грн.
4. Тепловізор – 12 000 грн.
5. Товщиномір – 2 000 грн.
6. Разом обладнання для монтажу та контролю якості НЕ – близько 95 000 грн.
7. Авіаційний герметик віксін К 68 – 450 грн/кг.
8. Розчинник етилацетат – 100 грн/кг.
9. Вуглецеві нанотрубки – 3 000 грн/кг (додаються в кількості 6-7%).
10. Вартість суміші – близько 750 грн/кг.
11. Керосин (для очищення інструменту) – 50 грн/кг.
12. Установка для заправки аерозолей ПУЗС – 21 000 грн.
13. Аерозольний балончик – 100 грн.

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У даній роботі були проаналізовані ПОС, проаналізовано використання композитів з вуглецевими електронагрівними наноматеріалами в мережі НЕ для ПОС, проаналізовані методи нанесення ЛФМ. На основі чого була поставлена задача і був розроблений метод виготовлення зразків НЕ конструкцій мережі НЕ літака.

Розроблені установки та устаткування для створення НЕ з використанням вуглецевих електропровідних наноматеріалів. Досліджено робочі параметри, необхідні для якісного виготовлення нагрівальних елементів з використанням нанотрубок.

Розроблена технологічна інструкція монтажу та ремонту НЕ на ЛА шляхом розпилення полімерного матеріалу через трафарет та подальшим закріпленням НЕ на ЛА.З

Запропоновано і проілюстровано спосіб неруйнівного контролю (тепловий неруйнівний контроль та контроль товщини ультразвуковим товщиноміром), розписані правила безпеки при роботі з матеріалами.

Підрахована собівартість та монетизація розробки.

Дані в цій роботі можуть служити в подальшому при проектуванні систем для монтажу НЕ із електропровідного полімера з вуглецевими нанотрубками на літаки в якості ПОС.

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тенишев Р.Х., Строганов Б.А., Савин В.С. и др. Противообледенительные системы летальных аппаратов. Основы проектирования и методы испытаний. - 1967. 320 ст.
2. M. Tarfaoui¹, A. El Moumen, M. Boehle, O. Shah, K. Lafdi. Self-heating and deicing epoxy/glass fiber based carbon nanotubes buckypaper composite – USA: Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature, 2018, 12ст.
3. Розенберг Б. А., Олейник Э. Ф., Иржак В. И. Связующие для композиционных материалов – Россия: ЖВХО им Д. И. Менделеева, 1978
4. Сосин Н. А., Тополянский П. А., Вичик Б. Л. – Санкт-Петербург, 1992, 28 ст.
5. Гаврилов А. Н. Основы технологии приборостроения – Москва: Высшая Школа, 1976, 328 ст.
6. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий – Санкт-Петербург: 3-е изд., 1981, 352 ст.
7. Установка для заправки аэрозольных балончиков эмалями ПУЗП 2.1 [Электронный ресурс] // Електронне джерело. - 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mashprom.com.ua/пузп-2-1-установка-заправки-балончиков/>
8. Self-heating and deicing epoxy/glass fiber based carbon nanotubes buckypaper composite M. Tarfaoui^{1,*}, A. El Moumen, M. Boehle, O. Shah¹, and K. Lafdi. J. Material Science, (2019), 54 : 1351 -1362.

					ВЛ7314.70.74.ПЗ	Аркуш
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		