

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно-фізичний  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Обладнання та технології зварювального виробництва  
(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему: «Розробка технології нанесення жаростійкого іонно-плазмового покриття на великогабаритні лопатки ГТД»

Виконав: студент 5 курсу, групи ІФ-319м

Спеціальності 131 Прикладна механіка,

Освітня програма (спеціалізація)

Технології та устаткування зварювання

---

Ніколайчук Д. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Петрик І. А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Клімов О. В.

(прізвище та ініціали)

2020 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет НУ«Запорізька політехніка», ІФ

Кафедра ОТЗВ

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка  
 (код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Технології та устаткування зварювання  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Овчинников

Олександр Володимирович

« 11 » 12 2020 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА**

Ніколайчук Дмитро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка технології нанесення жаростійкого іонно-плазмового покриття на великогабаритні лопатки ГТД

керівник проєкту (роботи) Петрик Ігор Андрійович к.т.н., доцент.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 30 » 11 2020 року № 364

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Іонно-плазмова установка МАП-2, катод зі сплаву СДП-2, Д-18Т, сплав ЖС6У-ВІ

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розділ 1. Стан питання; Розділ 2. Аналіз конструктивно технічних особливостей виробу; Розділ 3. Технічні умови на виготовлення і прийом деталі; Розділ 4. Розробка технології виготовлення виробу; Розділ 5. Проектно – конструкторські розробки; Розділ 6. Техніко-економічні розрахунки дільниці; Розділ 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лопатка турбіни вентелятора, властивості лопатки ЖС6У-ВІ, схема камери для напилення МАП-2, установка МАП-2, схема застосування захисного екрану, техніко-економічні показники, пристосування для напилення, план дільниці.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1-5	Петрик І. А, к.т.н., доцент, викладач каф. ОТЗВ		
6	Нестеров О. В., к.т.н., доцент, завідувач каф. ОПІНС		
7	Кругликова В. В., к.е.н., доцент, викладач каф. ПТБД	<i>В.В. Кругликова</i> 4.10.20	<i>І.А. Петрик</i> 10.12.20

7. Дата видачі завдання « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Приміт
1	Вступ	05.09.20	
2	Аналіз літературних джерел	10.09.20	
3	Методи дослідження та устаткування	15.09.20	
4	Аналіз необоротних структурних змін в монокристалічному сплаві ЖС6У-VI	25.09.20	
5	Розробка технології отримання заготовки	10.10.20	
6	Дослідження отриманої заготовки	15.10.20	
7	Робота з графічними матеріалами (креслення)	01.11.20	
8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	07.11.20	
9	Економічний розрахунок ділянки	15.11.20	
10	Формування висновків з магістерської роботи	18.11.20	
11	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	25.11.20	
12	Розробка доповіді до захисту	2.12.20	
13	Подання роботи до захисту	07.12.20	

Студент

*(підпис)*  
(підпис)

Ніколайчук Д.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Петрик І. А.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 127 с., 25 рис., 28 табл., 3 додатка, 35 джерела.

ЛОПАТКИ, ЖАРОМІЦНИХ, ЖАРОСТІЙКИХ, НАПИЛЕННЯ,  
ВАКУУМ, МАП-2 ТУРБІНА ДВИГУНА.

Об'єкт дослідження - лопатка турбіни середнього тиску двигуна Д-18Т.

Мета роботи - розробка технологічного процесу і дільниці для підвищення жаростійкості лопаток робочих першого ступеня турбіни вентилятора. Наведено характеристику виробу, вказані технічні умови на його виготовлення.

Методи дослідження - дослідження проводили на зразках з монокристалічною структурою з жароміцного нікелевого сплаву ЖС6У-ВІ. Для нанесення покриттів використовувалися серійні сплави для іонно-плазмових покриттів

Всі покриття, досліджені в роботі, були отримані на промислової іонно-плазмової установки МАП-2 по серійної технології. Катод зі сплаву СДП-2 випаровувався при струмі вакуумного дугового розряду 600 А при тиску від 0,03 Па до 0,1 Па. Товщина покриття 70 мкм.

Вивчено умови зношування лопаток і сформульовані вимоги до них. Обрано матеріал для жароміцних робочих лопаток турбін вентилятора першого ступеня (ТВ). Обґрунтовано метод напилення. Обрано обладнання та режими його роботи. Розроблено технологічний процес відновлення лопаток напиленням, обрані методи контролю якості. Виконано розрахунок техніко-економічних показників дільниці . Передбачені заходи з охорони праці.

## ABSTRACT

Explanatory note: 127 p., 25 fig., 28 table., 3 appendices 35 sources.

TURBINE BLADE, HEAT RESISTANS, HEAT RESISTANT, SPUTTER-DEPOSITION, VACUUM, THE MAP-2, TURBINE ENGINES.

The object of study - the blade of the medium pressure turbine engine D-18T.

The purpose of the work is to develop a technological process and a site for increasing the heat resistance of the blades of the first stage of the fan turbine. The characteristics of the product are given, the technical conditions for its production are indicated.

Research methods - the research was performed on samples with a single-crystal structure of heat-resistant nickel alloy ZhS6U-VI. Serial alloys for ion-plasma sputter-deposition were used for sputter-deposition All coatings studied in the work were obtained on an industrial ion-plasma installation MAP-2 by serial technology. The cathode of the alloy SDP-2 evaporated at a vacuum arc discharge current of 600 A at a pressure of 0.03-0.1 PA. The sputter-deposition thickness is 70 mkm.

The conditions of blade wear and the requirements to them are formulated. The material for heat-resistant working blades of turbines of the first stage fan (TV) is chosen. The spraying method is substantiated. The equipment and modes of its operation are selected. The technological process of restoration of blades by spraying is developed, the methods of quality control are chosen. The calculation of technical and economic indicators of the site is performed. Occupational safety measures are provided.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів .....	9
Вступ.....	10
1 Мета, завдання проєктування і склад дипломного проєкту.....	12
1.1 Мета дипломного проєктування.....	12
1.2 Завдання дипломного проєктування .....	12
2 Аналіз конструктивно технічних особливостей виробу .....	14
2.1 Призначення лопаток турбіни середнього тиску.....	14
2.2 Умови експлуатації лопатки, проблеми зношування і механізм руйнування лопаток ТВ .....	18
2.3 Аналіз необоротних структурних змін в монокристалічному сплаві ЖС6У-ВІ .....	22
2.4 Аналіз стану проблеми підвищення ресурсу лопаток турбіни середнього тиску і вибір способів підвищення термостійкості робочих лопаток .....	25
2.5 Технічне завдання на дипломний проєкт .....	28
3 Технічні умови на виготовлення і прийом деталі .....	29
3.1 Вакуумна плазмова технологія високих енергій .....	29
3.2 Вимоги до установки і матеріалами для ВПТВЕ .....	30
3.3 Вимоги до попередньому очищенні деталей .....	32
3.4 Вимоги до вхідного і вихідного контролю .....	33
3.5 Підготовка деталей перед нанесенням покриття .....	34
3.6 Вимоги до допоміжних матеріалів .....	34
3.7 Вимоги до оснащення .....	35
4 Розробка технології виготовлення виробу .....	37

4.1	Установка МАП-2 загальні відомості, призначення .....	37
4.2	Склад і пристрій установки МАП-2 .....	39
4.3	Вимоги до обслуговування установки	
	вакуумно-плазмового напилення .....	44
4.4	Вибір матеріалу для напилення .....	47
4.5	Оптимальні режими роботи .....	52
4.6	технологія напилення лопаток .....	53
	4.6.1 Провести контроль надійшли деталей після	
	відпалу заготовок .....	53
	4.6.2 Промивання розчинниками .....	53
	4.6.3 Піскоструминна обдувка .....	55
	4.6.4 Контроль якості перед напиленням .....	55
	4.6.5 Підготовка до напиленню .....	56
	4.6.6 Створення вакууму .....	57
	4.6.7 Нанесення покриття на установці МАП-2 .....	58
	4.6.8 Вивантаження деталей .....	58
	4.6.9 Вихідний контроль .....	59
4.7	Технічне нормування технологічних операцій .....	59
4.8	Аналіз базового тех. процесу і пропозиції щодо	
	його вдосконалення.....	63
5	Проектно-конструкторські розробки .....	64
	5.1 Захисні екрани для МАП-2 .....	64
	5.2 Опис оснащення для напилення лопаток ТВ.. .....	69
6	Техніко-економічне обґрунтування ділянки з	
	напилювання лопаток .....	73
	6.1 Нормування технологічних операцій, створення	
	карти стейкхолдерів .....	73

6.2 Техніко-економічне обґрунтування ділянки .....	81
6. 2.1 Виробнича програма та її матеріальне забезпечення .....	81
6.2.2 Розрахунок кількості обладнання, площі ділянки .....	82
6.2.3 Розрахунок кількості персоналу ділянки .....	86
6.2.4 Розрахунок матеріальних витрат .....	89
6.2.5 Розрахунок фондів заробітної плати працівників .....	91
6.3 Собівартість виробу .....	94
6.4 Розрахунок економічного ефекту .....	97
6.5 Аналіз показників і висновки .....	98
6.6 Планування ділянки .....	100
7 Охорона праці та навколишнього середовища; безпеку в надзвичайних ситуаціях .....	102
7.1 Аналіз потенційних небезпек .....	102
7.2 Заходи щодо забезпечення безпеки .....	104
7.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці .....	111
7.4 Заходи забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях .....	118
Висновки .....	121
Перелік джерел посилання .....	122
Додаток А Специфікація камери для напилена МАП-2 .....	126
Додаток Б Специфікація установка МАП-2 .....	127
Додаток В Маршрутна карта .....	128

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

I - струм, А;

U - напруга, В;

$\sigma_B$  - межа міцності, МПа;

$\sigma_{TB}$  - межа тривалої міцності, МПа;

ТВ - турбіна вентилятора

НД - нормативний документ

ТУ - технічні умови

ВІАМ - Всеросійський інститут авіаційних матеріалів

## ВСТУП

В даному дипломному проєкті розглядається технологія виготовлення і підвищення жаростійкості робочих лопаток першої ступені турбіни вентилятора (ТВ). Лопатки ТВ застосовуються на двигуні Д-18Т в турбінах середнього тиску.

Лопатки закріплені по колу ротора. На них, впливає струмінь робочого газу, і приводить їх в рух. Лопатка працює в середовищі розжарених газів (температура від 1000 °С до 1100 °С) і сильних знакозмінних циклічних загрузках. Такі умови роботи вимагають високої жароміцності і жаростійкості одночасно. Робочі лопатки турбіни є найбільш навантаженими деталями, в основному визначають ефективність, надійність і, в кінцевому рахунку, ресурс двигуна.

Більшість руйнувань робочих лопаток турбін, має втомний характер і пов'язане зі змінними напруженнями, що виникають при коливаннях по нижчих формах (які можуть бути викликані пульсаційним горінням палива в камері згоряння). При коливаннях по першій згинальній формі можливі також розтріскування і втомні руйнування хвостовиків лопаток.

У ряді випадків пошкодження лопаток турбін (особливо перших ступенів) можуть бути пояснені особливостями розподілу температури газу на виході з камери згоряння.

Значний вплив на пошкоджуваність робочих лопаток надає газова корозія, обумовлена наявністю в продуктах згоряння хімічноактивних сполук. Наявність в паливі хімічно активних оксидів сірки та ін. Призводить до утворення пошкоджень в лопатках турбін у вигляді (сульфідної) корозії. Проблема окислення і корозії в ряді випадків не дозволяє використовувати повністю ресурс роботи лопатки по тривалій міцності. Навіть якщо середня температура охолоджувальної лопатки може бути досить низька, щоб забезпечити задовільну тривалу міцність, то внаслідок нерівномірності

температури в перетині на деяких ділянках лопатки (зазвичай на вхідній і вихідній крайках) температура може перевищити рівень, допустимий за умовами окислення і корозії. Проблема може бути вирішена зміною в системі внутрішнього охолодження і застосуванням захисного покриття, що забезпечує працездатність лопатки шляхом підняття жаростійкості.

Перед сучасним авіабудуванням постало завдання підвищити ресурс двигуна до 1000 годин. З'ясовано, що найкращим способом вирішення проблеми є нанесення жаростійкого покриття на жароміцний сплав.

# **1 МЕТА, ЗАВДАННЯ ПРОЄКТУВАННЯ ТА СКЛАД ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ**

## **1.1 Мета дипломного проєктування**

Підвищення рівня експлуатаційних властивостей найбільш навантажених і дорогих деталей і вузлів турбіни авіадвигуна, що виготовляються з жароміцних матеріалів, є найбільш важливим завданням авіаційного двигунобудування. Вирішення цього завдання здійснюється з використанням декількох підходів: розробка перспективних полікристалічних і монокристалічних сплавів; модернізація способів виготовлення, формування і обробки виробів і заготовок; розвиток нових методів поверхневої обробки деталей і нанесення на їх поверхню жаростійких і зносостійких покриттів.

Розробка нових жароміцних матеріалів, що відповідають сучасним вимогам конструкторів авіаційних двигунів до найбільш завантажених деталей, перш за все до лопаток і дисків проточної частини турбіни, є найважливішим завданням авіаційного матеріалознавства.

Метою даного проєкту є розробка дільниці і технології напилення робочих лопаток двигуна Д-18Т.

## **1.2 Завдання дипломного проєктування**

Розвиток авіаційної промисловості в останні роки характеризується безперервним і активно прогресуючим впровадженням нових вакуумно-плазмових процесів. У цій області промисловості новітні технології дають найбільш надійне і просте рішення задач. Виготовлення сплавів і покриттів

здатних працювати в умовах високих температур стає першочерговим завданням авіабудування.

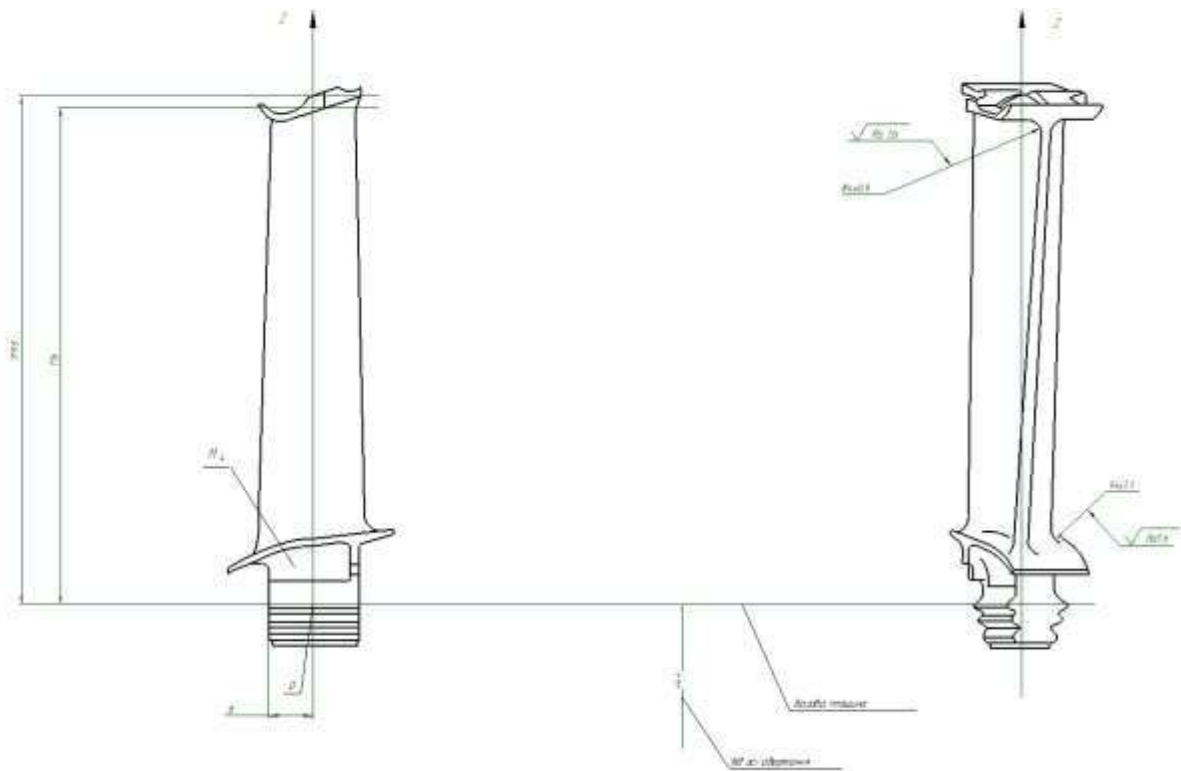
Основними завданнями дипломного проектування є:

- аналіз умов експлуатації лопаток, встановлення виду і механізму зношування робочих поверхонь деталі;
- аналіз стану проблеми, жаростійкості і зносостійкості матеріалу лопатки;
- вибір матеріалу для напилення лопаток ТВ;
- призначення режимів, обробки і вибір устаткування для напилення.

## 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБУ

### 2.1 Призначення лопаток турбіни середнього тиску

Лопатки турбін турбіни вентилятора (ТВ) (рисунок 2.1) встановлені на двигуні Д-18Т в турбінах середнього тиску. Турбіна - ротаційний двигун з безперервним робочим процесом і обертовим рухом робочого ротора, що перетворює кінетичну енергію і внутрішню енергію робочого газу в механічну роботу. Струмінь робочого тіла впливає на лопатки, закріплені по колу ротора, і приводить їх в рух.



**Рисунок 2.1** – Креслення лопатки турбіни середнього тиску

Для виготовлення робочих лопаток ТВ газотурбінного двигуна використовуються складно легований нікелевий сплав ЖС6У-ВІ. Хімічний склад сплаву ЖС6У-ВІ представлений в таблиці 2.1, характеристики сплаву наведені в таблиці 2.2. Істотний недолік даного сплаву - надзвичайна складність

при механічній обробці. Тому заготовку отримують якомога ближче до остаточних розмірів деталі.

**Таблиця 2.1** – Хімічний склад лопатки зі сплаву ЖС6У-ВІ

Зміст легуючих елементів,%, за масою											
Ni	C	Cr	Co	W	Mo	Al	Nb	Ti	Mn	Zr	B
Основа	0,13	9,5	10,5	11	2,4	6	1,2	2,9	0,4	0,04	0,035

**Таблиця 2.2** – Механічні властивості металу ЖС6У-ВІ

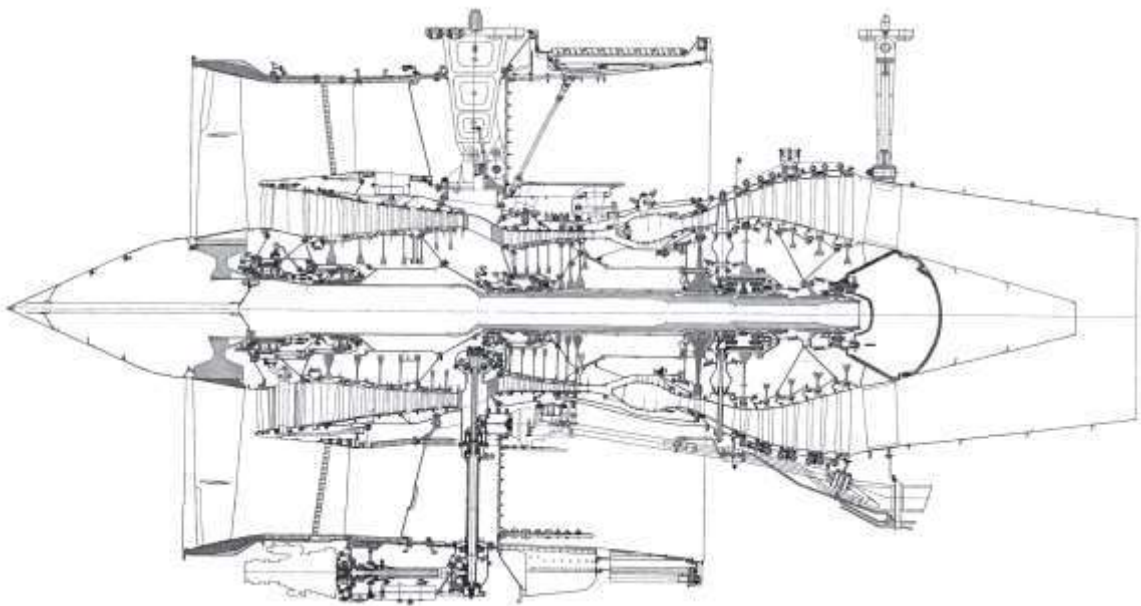
Межа міцності при розриві $\sigma_b$ (температура випробування $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ ), МПа	Межа тривалої міцності (при часу випробування не менше 100 г і температурі $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) $\sigma$ , МПа	Межа тривалої міцності (при часу випробування не менше 100 г і температурі $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ) $\sigma$ , МПа	Відносне подовження після розриву $\Delta$ ,%
830	230	475	18

Лопатка експлуатується в роторі турбіни (ТВ). Турбіна встановлена на двигуні Д-18Т (рисунок 2.2), що застосовується на транспортних літаках Ан-124, Ан-124-100 «Руслан» і Ан-225 «Мрія» [1]. Двигун обладнаний ефективним пристроєм реверсу тяги, які працюють в контурі вентилятора. Модульна конструкція двигуна в поєднанні з ефективними засобами діагностики стану вузлів забезпечує можливість експлуатації за технічним станом без капітальних ремонтів на заводі [2]. Схема двигуна розміщена на рисунку 2.3, огляд основних вузлів двигуна наведено в таблиці 2.3.



**Рисунок 2.2** – Двигун Д-18Т

Д-18Т — другий в СРСР реактивний авіадвигун з тягою більше 20 000 кгс (перший НК-32 з тягою 25 тон).



**Рисунок 2.3** – Схема двигуна Д-18Т

Основні переваги Д-18Т:

- велика злітна тяга;

- низька питома витрата палива;
- низька вартість обслуговування;
- низькі рівні шуму і емісії, що забруднюють повітря речовин (відповідає нормам ІСАО);
- простота обслуговування та висока ремонтпридатність.

**Таблиця 2.3** – Огляд основних вузлів двигуна Д-18Т

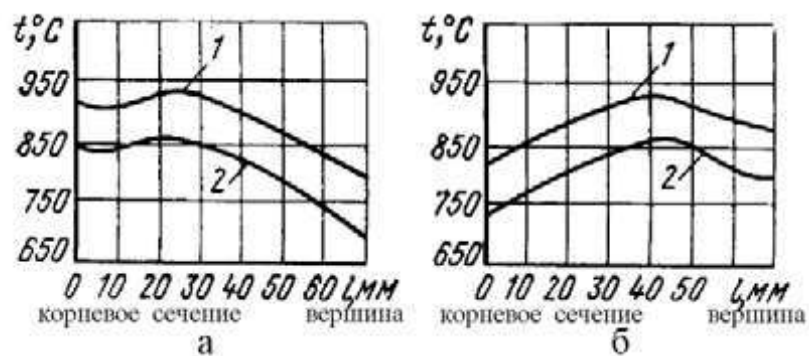
Тип	Турбореактивний двоконтурний двигун.
Вентилятор 1	Щабель, осьової.
Компресор ЦД	7 ступенів, осьової.
Компресор ВД	7 ступенів, осьової.
Камера згоряння	Кільцева, 22 форсунки і 2 запальника .
Турбіна ВД	1 щабель.
Турбіна СД	1 щабель.
Турбіна вентилятора	4 ступені.
Реактивне сопло	Роздільні потоки внутрішнього і зовнішнього контурів.
Реверсивний пристрій	Стулчастого типу з відхиляють ґратами. Встановлено в зовнішньому контурі.
Система управління	Електронно-гідропневмомеханічна.

Модульна конструкція двигунів і високорозвинена система контролю і діагностики забезпечує експлуатацію за технічним станом.

Робочі лопатки турбіни є найбільш навантаженими деталями, в основному визначають ефективність, надійність і, в кінцевому рахунку, ресурс газотурбінних двигунів. Ресурс роботи лопаток в двигунах для авіації становить від 500 год до 1000 год.

## 2.2 Умови експлуатації лопатки, проблеми зношування і механізм руйнування лопаток ТВ

Лопатки працюють в умовах високих температур досягають для турбіни від 1000 °С до 1100 °С і сильних знакозмінних циклічних загрузках. Ротор турбіни, на якому встановлені лопатки, обертається в середовищі розжарених газів.



- а – при рівномірному розташуванні отворів,
- б – при нерівномірному розташуванні отворів;
- 1 – температура газу перед сопловим вінцем;
- 2 – температура газу перед лопатками;

**Рисунок 2.4** – Приклад [3] зміни температури газу на виході з камери згоряння по довжині соплових (для порівняння) і робочих лопаток турбіни в залежності від місця підведення вторинного повітря

Більшість руйнувань робочих лопаток турбін, має втомний характер і пов'язані зі змінними напруженнями, що виникають при коливаннях по нижчих формах (які можуть бути викликані пульсаційним горінням палива в камері згоряння). При коливаннях по першій згинальній формі можливі також розтріскування і втомні руйнування хвостовиків лопаток.

У ряді випадків пошкодження лопаток турбін (особливо перших ступенів) можуть бути пояснені особливостями розподілу температури газу на виході з камери згоряння (рисунок 2.4).

Багаторазова зміна теплових режимів роботи двигуна - швидке нагрівання в момент запуску і швидке охолодження при зупинці двигуна - викликає циклічну зміну термічних напружень, що характеризується як теплова втома.

Жароміцність - здатність конструкційних матеріалів працювати в напруженому стані в умовах підвищених температур без помітної залишкової деформації і руйнування [4]. Для кількісної оцінки жароміцності проводяться механічні випробування на повзучість і тривалу міцність, з яких визначаються такі характеристики як:

а) межа тривалої міцності - найбільше механічне напруження, яке витримує матеріал без руйнування при заданих температурі, тривалості випробування і робочій атмосфері;

б) межа повзучості - напруга, яка викликає задану швидкість деформації за деякий прийнятий час при даній температурі;

в) час до руйнування при заданих параметрах напруги, температури і робочої атмосфери [5].

Значний вплив на пошкоджуваність робочих лопаток надає газова корозія, обумовлена наявністю в продуктах згоряння хімічно активних сполук. Наявність в паливі хімічно активних оксидів сірки та ін. Призводить до утворення пошкоджень в лопатках турбін у вигляді (сульфідної) корозії. Проблема окислення і корозії в ряді випадків не дозволяє використовувати повністю ресурс роботи лопатки по тривалій міцності. Навіть якщо середня температура охолоджувальної лопатки може бути досить низька, щоб забезпечити задовільну тривалу міцність, то внаслідок нерівномірності температури в перетині на деяких ділянках лопатки (зазвичай на вхідний і вихідний крайках) температура може перевищити рівень, допустимий за умовами окислення і корозії. Проблема може бути вирішена зміною в системі

внутрішнього охолодження і застосуванням захисного покриття, що забезпечує працездатність лопатки шляхом підняття жаростійкості.

Жаростійкість (окалиностійкість) - опір металу окисленню при високих температурах.

Початкова стадія окислення - чисто хімічний процес, проте, подальший перебіг окислення - вже складний процес, що полягає не тільки в хімічній сполучі кисню і металу, але і дифузії атомів кисню і металу через багатозначних окислений шар. При щільній плівці швидкість наростання окалини визначається швидкістю дифузії атомів крізь товщину окалини, що в свою чергу залежить від температури і будови окисної плівки.

Підвищення жаростійкості досягається головним чином введенням в сталь хрому, а також алюмінію і кремнію, тобто елементів, що знаходяться в твердому розчині і утворюють в процесі нагрівання захисні плівки оксидів.

Довговічність турбінних лопаток на робочих режимах визначається повзучістю (довготривалу міцність) і окисленням або ерозією поверхні лопаток. Повзучість викликає відмова в результаті руйнування або витяжки матеріалу понад допустимих меж. Окислення або ерозія викликає відмова внаслідок зносу покриттів і основного матеріалу лопатки.

Повзучість і корозійно-ерозійні явища на сталому режимі залежать від температури металу, величина якої визначається умовами експлуатації двигуна.

На рисунку 2.5 показана залежність довговічності від температури при різних величинах стаціонарних напружень. Підвищення температури металу на 17 °C призводить до зниження довговічності за умовою тривалого статичного руйнування в два рази. Довговічність за умовою ерозійного пошкодження змінюється в два рази при зміні температури металу на 39 °C.



**Рисунок 2.5** – Залежність довговічності лопатки турбіни від температури металу при різних рівнях напруги [5]

Термін служби неохолоджуваної лопатки з урахуванням повзучості є функцією матеріалу лопатки і рівнів температури і напруги лопатки.

Таким чином, при проектуванні лопатки необхідно забезпечити високу жароміцність, жаростійкість і високу опірність руйнуванню при термічній і малоцикловій втомі. Проблему можна вирішити, виготовляючи все тіло лопатки з жароміцного сплаву і наносячи на його поверхню жаростійке покриття.

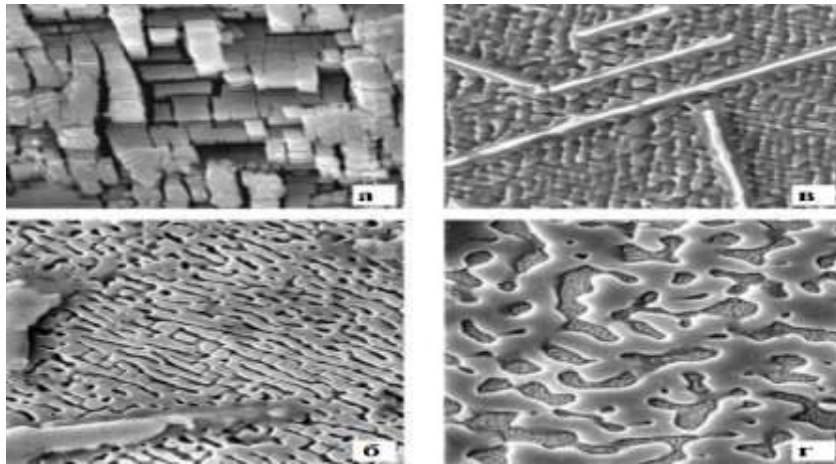
### 2.3 Аналіз необоротних структурних змін в монокристалічному сплаві ЖС6У-ВІ

Проблематичність підвищення ресурсу робочих лопаток ТВ з жароміцних сплавів ЖС6У-ВІ, обумовлена зерно граничної повзучістю сплавів в процесі експлуатації, пошкодженням границь зерен, а також ймовірністю оплавлення границь зерен (при відновлювальній термообробці, температура якої повинна бути вище температури серійної гомогенізації від 10 °С до 15 °С) [5].

В результаті виконаних досліджень встановлено, що характерною особливістю робочих лопаток ТВ після тривалої експлуатації є збереження вихідної структури жароміцного сплаву в тих частинах пера, де температура експлуатації менше (спинка і корито пера) [3] (рисунок 2.6 а). Необоротні структурні зміни у вигляді коагуляції зміцненню  $\gamma$ - фази і формуванні «рафт» - структури спостерігаються тільки в найбільш гарячих зонах - по вхідній і вихідній крайках пера (рисунок 2.6 б). В процесі роботи турбінних лопаток в умовах високого рівня температур, зміцнення  $\gamma$  '- фаза крім часткового розчинення, коагуляції і формування «рафт» - структури може також змінювати свій хімічний склад в результаті розвитку дифузійних процесів.

Дослідження зміни хімічного складу зміцнення  $\gamma$  '- фази жароміцного сплаву ЖС6У-ВІ після тривалої експлуатації робочої лопатки, виконане методом енергодисперсійного рентгеноспектрального мікроаналізу (РСМА), показало, що склад вихідної  $\gamma$  '- фази, що зберіглася в стінках охолоджуваних каналів, відрізняється від складу скоагульованого  $\gamma$ ' - фази в зоні вхідної крайки (таблиця 2.4).

Підвищення в процесі експлуатаційного нагріву вмісту в  $\gamma$  '- фазі алюмінію, танталу і ніобію, що утворюють алюмінієву підгратку в інтерметалідах  $Ni_3Al$ , свідчить про наближення її складу до рівноважного стану. Зниження вмісту в  $\gamma$  '- фазі вольфраму, ренію і хрому в загальній сумі на 1,3% означає підвищення концентрації цих елементів в нікелевої матриці в подвійній кількості (виходячи зі співвідношення 1: 2 об'ємних часток, фаз  $\gamma$  і  $\gamma'$  в структурі сплаву) . Зміна хімічного складу нікелевої матриці в сторону підвищення вмісту в ній вольфраму, ренію і хрому збільшує ймовірність виділення топологічних щільно упакованих (ТПУ) - фаз в жароміцних сплавах в процесі експлуатації двигуна.



- а – кубічна морфологія зміцнення;  $\gamma'$  – фази після стандартної термічної обробки,  $\times 10000$ ;
- б – формування «рафт» – Структури і взаємодія монокарбїду з металевою матрицею,  $\times 7500$ ;
- в – виділення  $\mu$  – фази в процесі тривалої експлуатації лопатки,  $\times 10000$ ;
- г – розчинення, коагуляція зміцненню  $\gamma'$  – фази і повторне її виділення у вигляді дрібної фракції в зоні вхідної крайки пера в результаті експлуатаційного перегріву,  $\times 7500$ .

**Рисунок 2.6** – Мікроструктура монокристалічного жароміцного сплаву ЖС6У-ВІ в складі робочої лопатки ТВ

Тривала експлуатація монокристалічних робочих лопаток ТВ зі сплаву ЖС6У-ВІ призводить до виділення  $\mu$  - фази в найбільш гарячих зонах пера вже після 1000 годин роботи (рисунок 2.6 в). Пластини  $\mu$  - фази, що має за даними роботи [2] ромбоєдричних кристалічну решітку, орієнтовані по площинах найбільш щільної упаковки нікелевої матриці. За результатами РСМА сумарний вміст ренію і вольфраму в  $\mu$  - фазі сплаву ЖС6У-ВІ досягає 50 % маси.

Причиною дострокового зняття двигуна з експлуатації може бути короткочасний закид температури газового потоку, що призводить до перегріву робочих лопаток ТВ.

Структурною ознакою експлуатаційного перегріву є коагуляція зміцнюючої  $\gamma'$ - фази, її часткове розчинення і повторне виділення у вигляді висипки (рисунок 2.6 г).

**Таблиця 2.4** – Хімічний склад зміцнюючої фази,% маси в сплаві ЖС6У-ВІ після тривалої експлуатації

Місце аналізу	Ni	Al	Ta	W	Re	Nb	Mo	Cr	Co
Спинка і корито пера	65,0	6,6	6,9	9,4	1,2	1,0	0,3	2,4	7,2
Вхідна кромка	64,8	7,4	7,2	9,2	0,8	1,5	0,6	1,7	6,8

Результати виконаних досліджень показують, що несучий каркас робочої лопатки ТВ, не схильний до процесів повзучості при експлуатації, а описані вище ознаки деградації структури жароміцного сплаву ЖС6У-ВІ притаманні тільки найбільш гарячим зонам пера. Це дає підставу для розробки технології виробництва і відновлення робочих лопаток ТВ шляхом нанесення жаростійкого захисного покриття.

2.4 Аналіз стану проблеми підвищення ресурсу лопаток турбіни середнього тиску і вибір способів покращення термостійкості робочих лопаток

Робочі лопатки турбіни є найбільш навантаженими деталями, в основному визначають ефективність, надійність і, в кінцевому рахунку, ресурс двигуна. Втомні руйнування лопаток турбін вентилятора складають до 23 %, руйнування від малоциклової втоми - близько 12 %, руйнування від поєднання малоциклової втоми, вібраційних напружень - близько 48 % і руйнування, пов'язані з вичерпанням тривалої міцності – 16 % [6].

Таким чином, в загальному випадку, причинами пошкоджуваності лопаток турбін високого тиску можуть бути:

- зниження межі витривалості через утворення мікротріщин в поверхневому шарі, пошкодженому нерегламентованої механічною обробкою;
- підвищення амплітуди вібраційних напружень через "роззасорювання" бандажних полиць внаслідок зносу площадок контакту;
- невідповідність натягу по бандажним полкам технічним умовам при складанні;
- перегрів через нерівномірність температурного поля перед турбіною;
- порушення умов експлуатації;
- недостатня ефективність системи охолодження;
- підвищення амплітуди вібраційних напружень внаслідок зміни умов збудження (прогар лопаток соплових апаратів, закоксованість паливних форсунок і т.п.);
- нерівномірність розподілу навантаження по зубах хвостовика;
- неоптимальні режими різання профілю хвостовика;
- недосконалість процесів штампування, термообробки або лиття лопаток.

Коли в кінці 70-х років ХХ століття перед моторобудівниками поставили завдання створити двигуни для літаків третього покоління МіГ-29 і Су-27, з'ясувалося, що при тих температурах, які розвивалися в камерах згорання потужних двигунів, ресурс лопаток не перевищував 50 годин. Для захисту лопаток потрібно було шукати нові матеріали і нові методи їх нанесення.

Перед творцями лопаток для турбін постало завдання: виготовити матеріал жароміцний і жаростійкий одночасно. Але виявилось, що легування металу лопатки елементами, що підвищують жаростійкість, знижує жароміцність, і навпаки. Вирішити цю проблему вдалося в такий спосіб: перо лопатки виробляти з жароміцного сплаву, на поверхню якого наносити спеціальне жаростійке покриття.

На Заході в дев'яностих роках жаростійкі конденсовані покриття наносили за допомогою електронно-променевого осадження з парового потоку.

Процес вели на установках, для яких потрібно будівлю заввишки в декілька поверхів. Внизу мали насоси, на другому поверсі - напилювальну камеру з декількома електронними гарматами. Одні гармати нагрівали лопатки, інші випарювали злиток зі сплаву нікелю або кобальту з хромом і алюмінієм. Коштувало таке обладнання більш 30 млн.

На території СНД електронно-променевими установками займалися в Києві в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона. Там розробили і випробували апарат УЕ-175. Був випущений наказ Міністерства авіаційної промисловості про виготовлення для моторобудівників ста таких установок. Всеросійський інститут авіаційних матеріалів (ВІАМ) вирішили йти іншим шляхом - застосувати метод іонно-плазмового напилення.

При електронно-променевому напиленні виникав ряд проблем, які принципово не можна було усунути.

Недоліки електронно-променевого напилення:

1) під час процесу електронно-променевого напилення було необхідно безперервно контролювати безліч параметрів в жорстких межах. це вимагало участі в процесі більш кваліфікованих працівників, а й створювало велику ймовірність браку отриманої деталі.

2) при електронно-променевої обробці доводилося ретельно підбирати склад матеріалу, який випаровується сплавом (в нього входять метали з різною температурою випаровування, а значить, і випаровуються вони з різною швидкістю). Щоб впровадити покриття нового складу, доводилося проробляти сотні експериментів по підборі вихідного сплаву.

3) перед напиленням лопатки потрібно було спеціально обробляти, механічно вигладжуючи поверхню до дзеркального блиску (до 9-10-го класу чистоти), а це досить трудомісткий процес.

Запропонований в ВІАМ процес вакуумно-плазмового напилення не тільки дозволяє позбутися від перерахованих вище недоліків, але і має ряд переваг.

Переваги вакуумно-плазмового напилення:

1) для напилення придатні деталі пройшли мінімальну обробку. Використовують обмивку в спирті, бензині, дистильованій воді, а також піскоструминну обдувку електрокорунду. Вакуумно-плазмова технологія сприяє виникненню металургійного зв'язку. Плівка і підкладка утворюють моноліт. Що було гарантією того що покриття не відшарується.

2) на відміну від електронно-променевого напилення, при вакуумно-плазмовому процесі потрібно контролювати всього три параметри - струм дуги, напруга на лопатках і час процесу. Це не викликає труднощів у операторів установок, тому вдалося домогтися високої повторюваності результатів.

3) через високі точності і легкості в управлінні основними робочими параметрами склад покриття завжди той же, що і у матеріалі катода, і, отже, освоєння нових покриттів не становить труднощів - якщо катод виготовлений якісно. Це дозволяє швидко і без додаткових витрат відчувати і вводити нові матеріали у виробництво.

Таким чином, можна сказати, що вакуумно-плазмові процеси дуже гнучкі. Всього лише змінюючи напругу на деталі, можна брати в осад на ній різні матеріали, проводити дифузію або насичення, а також іонне травлення.

Все це є на новій комп'ютеризованій установці МАП-2. На ній напилюють чисті метали, сплави, нітриди, карбіди, карбонітриди, оксікарбонітриди. Зробивши складовою катод з двох різних матеріалів, можна отримувати багатошарові структури. Це відкриває нові перспективи.

## 2.5 Технічне завдання на дипломний проєкт

В даному дипломному проєкті необхідно розробити технологію підвищення термостійкості робочих лопаток турбін методом вакуумно-плазмового осадження, спроектувати спеціальне устаткування і оснащення для

виробництва лопаток турбін середнього тиску спроектувати ділянку напилення лопаток.

Розроблений техпроцес повинен бути механізований, має бути зменшена частка людського фактора. В результаті лопаток ТВ необхідно забезпечити високу жароміцність, жаростійкість і високу опірність руйнуванню при термічній і мало цикловій втомі.

Необхідно спроектувати оснащення, яке забезпечує надійне закріплення в установці, а також захищає певні частини лопатки від напилення. Для вакуумно-плазмового напилення необхідно вибрати параметри, які будуть забезпечувати високу точність напилення захисного жаростійкого покриття.

### 3 ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ВИГОТОВЛЕННЯ І ПРИЙОМУ ДЕТАЛІ

#### 3.1 Вакуумна плазмова технологія високих енергій

У розділі 2.3 розглянуто, що найкращим способом нанесення покриття на перо лопатки є вакуумно-плазмова технологія осадження покриття (також відома як вакуумна плазмова технологія високих енергій).

Іntenсивно займатися вакуумно-плазмовими процесами почали з 1975. Нова технологія розроблялася з метою отримання багатокomпонентних покриттів із сплавів системи Me-Cr-Al-Y, як альтернатива відомому процесу електронно-променевого напилення. При цьому малося на увазі, що на відміну від процесу осадження у вакуумі з парової фази, де енергія частинок визначається температурою випаровування і становить частки еВ, іоне осадження з плазмового потоку забезпечить повністю керований процес конденсації завдяки можливості управління енергіями частинок, взаємодіючих з підкладкою.

Для нанесення керамічного шару була розроблена установка УОКС-2 на базі магнетронних розпилювачів підвищеної частоти. Установка забезпечує нанесення керамічних шарів з металевих мішеней плазмохімічним методом. Основний напрямок робіт - це створення керамічних шарів на основі оксидів рідкісноземельних металів.

Суть методу в тому, що у вакуумній камері з залишковим тиском  $2 \times 10^{-4}$  мм рт. ст. (Майже на два порядки вище, ніж необхідно для електронно-променевого напилення) запалюється дуга між знаходяться в центрі циліндричним катодом і розташованим по периферії кільцевим анодом. Струм дуги нагріває локально (в катодній плямі) катод настільки, що його матеріал випаровується і іонізується. У проміжку між катодом і анодом розташовані лопатки, на які теж подається електрична напруга, і іони потрапляють не тільки на анод, а й на лопатки, прискорюючись електричним полем [7].

Спочатку іонами з високою енергією від 300 еВ до 600 еВ протягом від 3 хв до 5 хв очищається поверхню травленням. Одночасно за рахунок бомбардування іонами лопатка нагрівалася від 700 °С до 800 °С. Потім починався процес осадження. Перед цим напруга на лопатках знижували, щоб енергія іонів не перевищувала від 50 еВ до 100 еВ.

### 3.2 Вимоги до установки і матеріалами для ВПТВЕ

Установка для напилення лопаток повинна відповідати наступним вимогам

1) надійне створення і підтримання вакууму на рівні  $6,65 \times 10^{-2}$  Па ( $5 \times 10^{-4}$  мм рт. ст.) і нижче.

2) всі параметри процесу повинні управлятися автоматично за допомогою шафи управління.

3) Натікання в вакуумну камеру повітря не повинно перевищувати  $Q = 24$  мкм рт. ст. · л/с.

4) час збільшення тиску в робочій камері від  $P = 1,33 \times 10^{-1}$  Па ( $1 \times 10^{-3}$  мм рт. ст.) До  $P = 1,33$  Па ( $1 \times 10^{-2}$  мм рт. ст.) має бути не менше 5 хвилин.

5) установка і джерела живлення, пульти управління установки повинні бути надійно заземлені.

б) установка повинна бути надійною і безпечною.

Для напилення методом ВПТВЕ використовуються катоди (рисунок 3.1).



**Рисунок 3.1** – Катоди для напилення

Вимоги, що пред'являються до катодам:

1) хімічний склад і технічні умови на литі трубні заготовки катодів повинні відповідати документам виробника.

2) катод може бути складовою:

- катод типу ВСДП складається з циліндричної обичайки і оправлення зі сплаву Д16, спаяних між собою олов'яним припоєм;

- катод типу СДП - порожній циліндр, що встановлюється на мідну оправлення.

3) на верхньому неробочому торці катода виробляється маркування марки матеріалу і індивідуального номера.

4) у процесі роботи установки спостерігається нерівномірна вироблення катода, приймаюча форму кільцевих канавок, що призводить до нестабільного горіння дуги. По досягненню глибини канавок від 3мм до 4 мм катод необхідно зняти і проточити.

5) при повній виробленні катода (мінімальна товщина стінки катода від 4 мм до 5 мм), катод замінити.

6) після установки нового або проточеного катода необхідно протерти випаровувану поверхню спиртом, а потім провести «тренування» випаровувальні поверхні шляхом включення установки і роботи на ній протягом від 10 хв до 20 хв в режимі напилення. При цьому забороняється наносити покриття на деталі.

### 3.3 Вимоги до попереднього очищення деталей

Технологічний процес очищення деталей повинен враховувати можливий склад виробничих забруднень, отриманих в процесі їх виготовлення, а також особливості застосовуваних методів і засобів:

а) всі розчинники, миючі розчини та вода, в тому числі і дистильована, висихаючи на поверхні деталей, залишають свої власні важко прибираємі забруднення - залишки органіки і мінеральні солі, помітні у вигляді білястих розлучень. Тому деталі повинні бути повністю занурені в зазначені рідини, а очищення з виїмкою і огляд виконувати швидко, не дозволяючи рідин висихати на поверхні деталей.

б) обдування деталей, промитих в ЛЗР, струменем чистого сухого стисненого повітря не допускається через високу небезпеку вибуху і / або пожежі при виконанні операції, а природна сушка поверхні деталей не рекомендується через осідання на поверхні власних забруднень ЛЗР. Тому завершальній операцією знежирення поверхні деталі повинна бути промивка в дистильованій воді з подальшою її обдуванням струменем сухого чистого стисненого повітря. Здувати воду необхідно з кожної деталі окремо, виймаючи їх по черзі з бачка або ванни з дистильованою водою. Очікувати обдувку деталі повинні бути повністю занурені в воду. Вилежування і висихання деталей на повітрі не допускається.

в) ультразвукова промивка в лужному миючому розчині застосовується для видалення шліфувальних і полірувальних паст, жирових і інших забруднень. Ця обробка застосовується при необхідності як додаткова операція технологічного процесу підготовки поверхні деталей і оснастки.

Для промивання рекомендується використовувати 3 окремих бачка, в які заливаються відповідно бензин-розчинник, ацетон і дистильована вода.

Після промивання плями, розводи, сліди забруднень не допускаються. Деталі, що не відповідають наведеним вимогам, піддаються повторній обробці по очищенню поверхні.

Після промивання забороняється брати деталі руками за напилюванні поверхні.

### 3.4 Вимоги до вхідного і вихідного контролю

Деталі на ділянку напилення надходять із супровідним документом встановленої форми, в спеціальній чистій закривається тарі, в якій виключається можливість забруднення і пошкодження деталей при транспортуванні і зберіганні.

Поверхні деталей, що надійшли на операцію нанесення іонно-плазмового покриття, повинні бути:

- а) без механічних пошкоджень (врізів, забоїн, рисок, вм'ятин, задирок);
- б) без слідів масел, мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) та інших забруднень;
- в) шорсткість поверхні, що підлягає покриттю повинна відповідати вимогам креслення або контрольному зразку.

Деталі поділяються на партії-садки по числу одночасно оброблюваних деталей. Наступні операції з деталями виробляються по партіях-садка. При неповному завантаженні допускається використання баласту - забраковані деталі, підготовлені згідно з вимогами заводської інструкції.

Зразком-свідком є остаточно оброблена і забракована деталь або спеціально підготовлений імітатор деталі, що пройшла всі операції механічної, термічної обробки та підготовки поверхні.

### 3.5 Підготовка деталей перед нанесенням покриття

Підготовка деталей один з відповідальних етапів технологічного процесу нанесення вакуумно-плазмового покриття методом ВПТВЕ. Підготовчі операції проводяться з метою очищення всіх поверхонь деталей від забруднень органічного та неорганічного характеру.

Від якості проведення підготовчих операцій залежить адгезія (зчеплення) покриття з матеріалом основи, відсутність домішок в шарі покриття, стабільність технологічного процесу нанесення покриття, що, в кінцевому рахунку, відбивається на працездатності деталі з покриттям в експлуатації [9].

Крім того, різного роду забруднення, задирки і ворсинки в процесі іонної очистки є ініціаторами виникнення мікродугових розрядів, що може призвести до браку деталей.

При підготовці деталей під нанесення іонно-плазмового покриття особливу увагу слід звернути на дотримання умов вакуумної гігієни на всіх стадіях виробництва і точне виконання вимог технологічного процесу, що гарантує високу якість нанесення покриття на поверхні деталей.

### 3.6 Вимоги до допоміжних матеріалів

Допоміжні матеріали, що застосовуються для напилення лопаток турбін авіадвигуна методом ВПТВЕ:

1) бензин-розчинник нафтовий ТУ України застосовується для промивання деталей, що мають жирові і масляні забруднення.

2) ацетон ЧДА ГОСТ 2603 або ацетон технічний ГОСТ 2768-84, не володіючи знежирюючий здатністю, але розчиняючи бензин і сам,

розчиняючись у воді, застосовується в якості буферного розчинника. Крім того, ацетон застосовується для видалення з поверхні деталей проявника, використовуваного при контролі методом ЛЮМ1-ОВ.

3) електрокорунд білий 25А або електрокорунд нормальний 14А з величиною зерна від F400 до F500.

4) спирт етиловий ректифікований ДСТУ 4181: 2003.

5) спирт етиловий ректифікований технічний ДСТУ 4221: 2003.

Якість допоміжних матеріалів повинна бути підтверджена сертифікатами якості.

### 3.7 Вимоги до оснащення

Оснащення служить для надійної установки в установку, а також для закриття частини лопатки від напилення.

Вимоги до оснащення:

1) забезпечити надійний захист поверхонь деталі, що не підлягають покриттю;

2) забезпечити надійне кріплення деталі в діапазоні температур від 20 °С до 500 °С;

3) забезпечити надійний електричний контакт покриваємих деталей з пристроєм обертання деталей у вакуумній камері;

4) мати мінімальну металоємність і поверхню;

5) шорсткість поверхні елементів оснащення не більше 3,2;

6) елементи оснащення не повинні екранувати оброблювану поверхню від плазмового потоку;

7) виготовлення оснащення повинно здійснюватися з немагнітних, нержавіючих матеріалів;

8) забезпечити демонтаж деталей після напилення без пошкодження напиляного шару.

Стиснене повітря, що подається для обдування деталей і повітряно-абразивної обробки, повинен бути очищений і осушений. Перевірка стисненого повітря на відсутність вологи і масла проводиться шляхом обдування дзеркала протягом від 2 хв до 3 хв з відстані від 150 мм до 200 мм. Сліди вологи і масла не допускаються.

## 4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБА

### 4.1 Установа МАП-2 загальні відомості, призначення

Установа МАП-2 призначена для:

а) нанесення захисних, жаростійких, ерозійно-стійких, зносостійких і інших видів покриттів, переважно на лопатки ГТД і інші деталі, що мають поперечний розмір не більше 125 мм і висоту зони покриття до 200 мм;

б) іонного («сухого») травлення поверхні деталей ГТД з метою контролю макроструктури литих лопаток турбін, видалення рекристалізованого шару з поверхні монокристалічних деталей, підвищення малоциклової втоми відповідальних деталей ГТД, підготовки поверхні деталі до покриття;

в) іонного насичення поверхні деталі чистими металами і сплавами з метою зміни структурно-фазового стану поверхні деталі і багаторазового підвищення її службових характеристик (корозійної стійкості, жаростійкості, втомної міцності та ін.);

г) ремонту покриття на лопатках турбін шляхом повторного нанесення покриття за умови видалення з поверхні, що покривається відпрацьованого ресурс покриття;

д) нанесення багатокомпонентних жароміцних припоїв на поверхні паяються деталей (складових лопаток турбіни, елементів теплообмінника і інших деталей).

В установці МАП-2 для управління процесом необхідно контролювати всього 3 або 4 параметра: струм вакуумної дуги, напруга на підкладці, тривалість процесу, а для плазмохімічних процесів отримання керметних покриттів - і тиск реактивного газу.

Основні характеристики установки в таблицях 4.1, 4.2, 4.3.

**Таблиця 4.1 – Характеристика вакуумної камери**

Характеристика	Значення
Обсяг камери	600 л;
Внутрішній діаметр	1000 мм
Висота	700 мм

**Таблиця 4.2 – Характеристика відкачної системи (швидкість відкачки)**

Характеристика	Значення
Агрегат АВЗ-20	л/с - 20;
Агрегат вакуумний струменевий АВП-400/1600	л/с - 1600

**Таблиця 4.3 – Характеристика приводу власника виробів**

Характеристика	Значення
Швидкість обертання виробу навколо катода	2 об/хв
Швидкість обертання виробу навколо своєї осі	16 об/хв
Висота	180 Вт
Редуктор черв'ячний	пер. число - 46

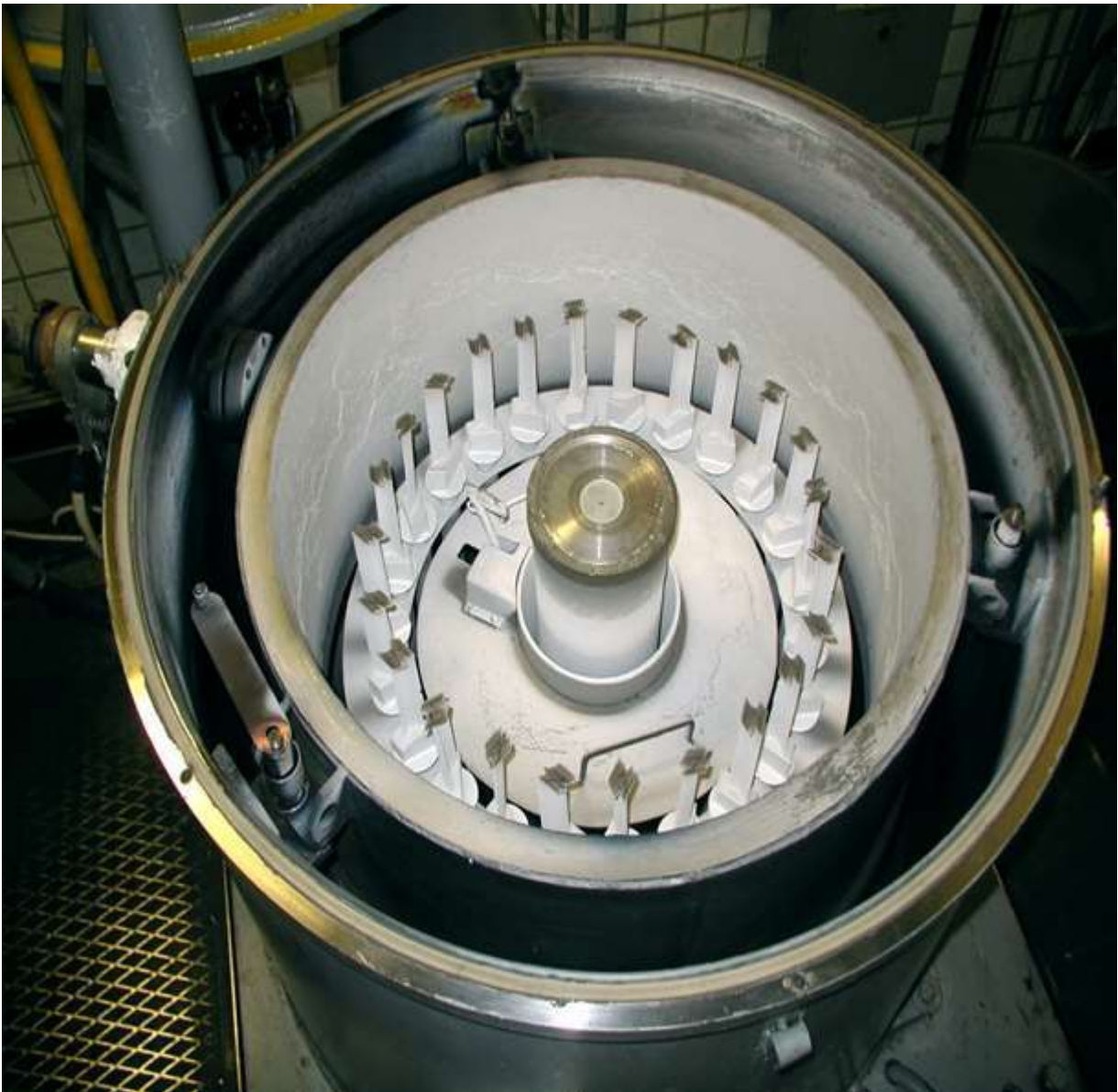
## 4.2 Склад і пристрій установки МАП-2

Установка «МАП-2» (рисунок 4.1) є однокамерною установкою періодичної дії з циліндричним трубним катодом, випаровувемим під дією вакуумної дуги. Управління установкою - автоматизоване (промисловий комп'ютер, контролери, програмне забезпечення). Комп'ютерна система управління забезпечує запис і зберігання інформації по проведеним технологічним процесам.



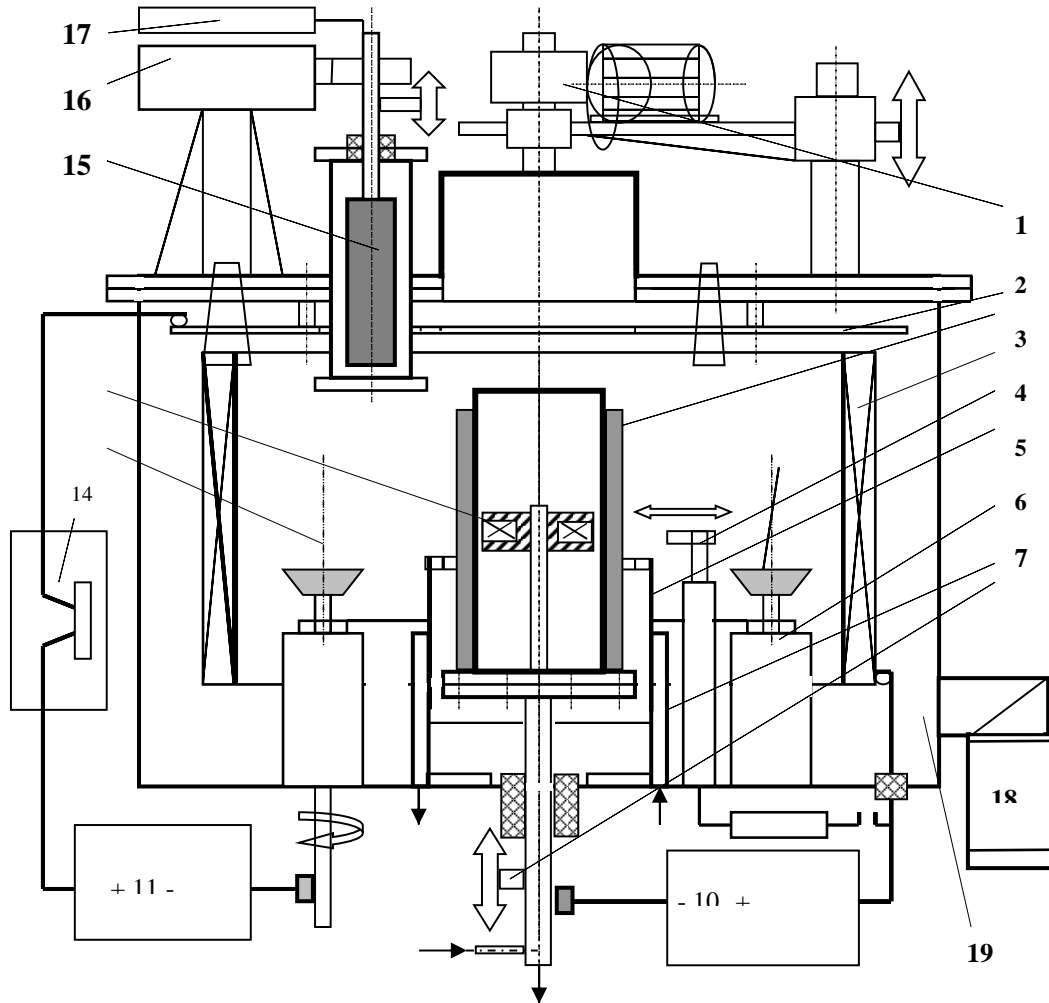
**Рисунок 4.1** – Установка МАП-2 для нанесення іонно-плазмових багатокомпонентних захисних і зміцнюючих покриттів

Лопатки турбіни вентилятора напильються партією по 24 шт. Лопатки встановлюються по колу (показано на рисунку 4.2)



**Рисунок 4.2** – Розташування напилювальних лопаток в камері МАП-2

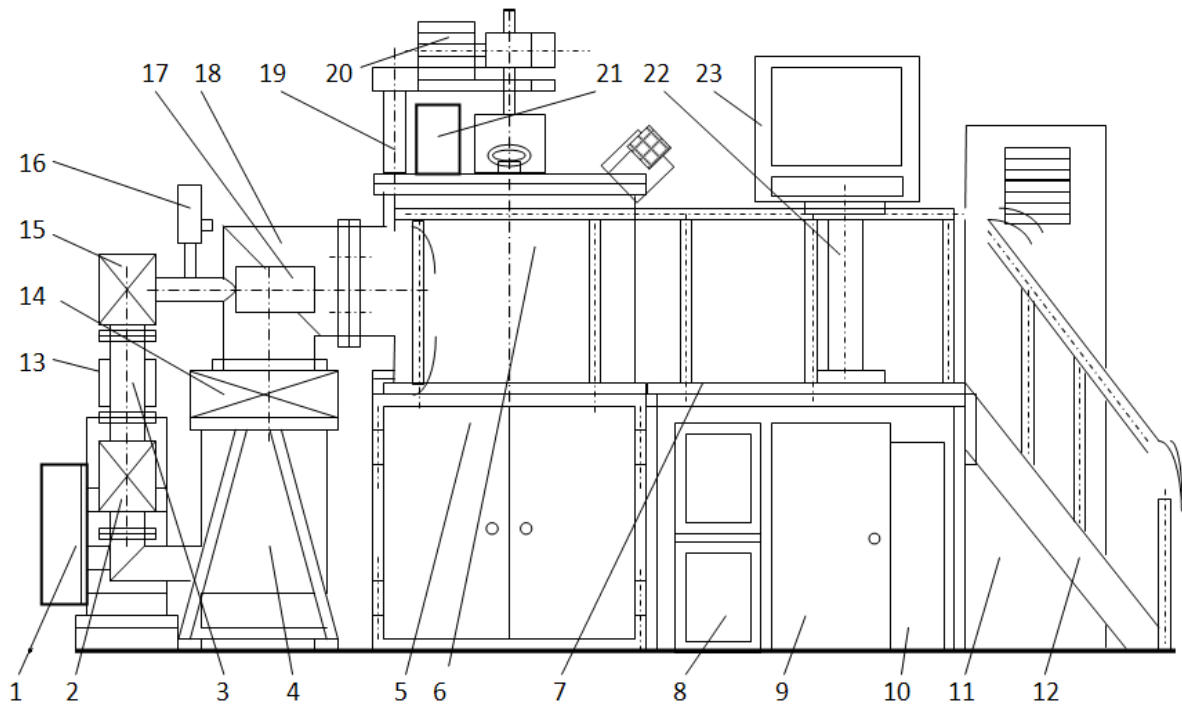
Приводи установки одночасно обертають лопатки навколо своєї осі і навколо катода. А також катод рухається у вертикальній площині для того що б рівномірно нагріватися і витратитися відповідно.



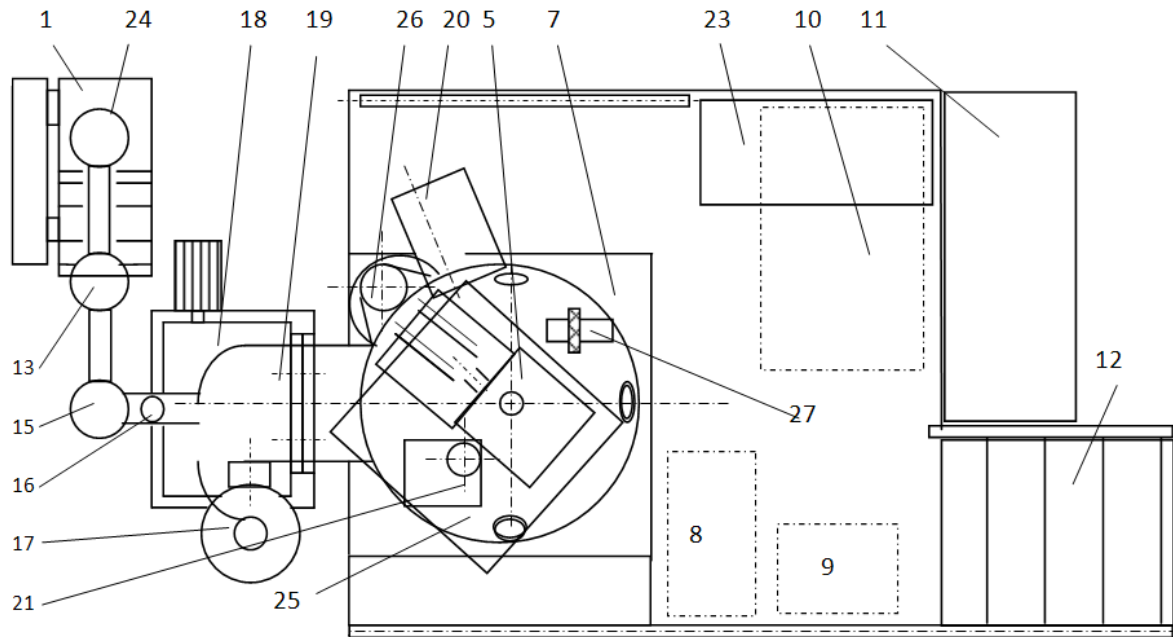
1 - механізм переміщення кришки вакуумної камери; 2 - верхній екран; 3 - катод з матеріалу, який випаровується; 4 - анод; 5 - вузол запалювання дуги; 6 - екран катода; 7 - планетарний привід обертання оброблюваних виробів; 8 - охолоджуване підставу екрану катода; 9 - привід переміщення катода; 10 - джерело живлення вакуумної дуги; 11 - джерело зміщення; 12 - переривник струму; 13 - оброблюваний виріб; 14 - електромагнітний фіксатор катодних плям; 15 - газорозрядне джерело іонів; 16 - механізм переміщення газорозрядного джерела іонів; 17 - система подачі і регулювання Ar або реактивного газу ( $N_2$ ,  $C_2H_2$  та ін.); 18 - система створення вакууму; 19 - вакуумна камера установки.

**Рисунок 4.3** – Принципова схема вакуумно-плазмового установки МАП-

Установка МАП-2 розташовується на ділянці площа 3 м на 4.2 м, разом з камерою розташовані вакуумний насос шафа управління джерела живлення, газовий блок робочий майданчик та інше обладнання(рисунок 4.4 - вид збоку, рисунок 4.5 - вид зверху).



**Рисунок 4.4** – Вакуумно-плазмова установка МАП-2 (вид збоку)



**Рисунок 4.5** – Вакуумно-плазмова установка МАП-2 (вид зверху)

Перелік елементів і вузлів установки відповідно до рисунків 4.4, 4.5:

1. Форвакуумного насос (Агрегат вакуумний типу АВЗ-20)
2. Вентиль з електроприводом типу (ЗЕП-63)
3. Вакуумна магістраль (кутник)
4. Насос вакуумний дифузійний
5. Рама установки
6. Вакуумна камера
7. Робоча площадка
8. Джерело вакуумної дуги інверторного типу
9. Газовий блок
10. Джерело зміщення (високовольтний блок подачі напруги на виробі)
11. Стійка живлення і управління, шафа управління
12. Сходовий марш
13. Аварійний клапан (високовакуумний кутовий вентиль)
14. Затвор (ДУ-400)
15. Вентиль з електроприводом типу ЗЕП-63
16. Клапана електромагнітні
17. Клапан аварійний
18. Косинець
19. Штанга кріплення поворотного пристрою
20. Поворотний пристрій
21. Газорозрядне джерело іонів з механізмом переміщення
22. Стійка центрального поста управління (пульт управління)
23. Центральний пост управління (ЦПУ) (пульт управління)
24. Маслоотстойник
25. Кришка вакуумної камери
26. Струмopрoвід анода з кожухом
27. Пірометр.

При нанесенні жаростійкого покриття на поверхню деталей необхідно враховувати такі особливості технологічного процесу:

а) товщина шару покриття, нанесеного на поверхню, розташовану паралельно потоку плазми (горизонтальна поверхня) становить від 30 % до 80 % товщини шару, нанесеного на поверхню, розташовану перпендикулярно потоку плазми (вертикальна поверхня);

б) можливе зменшення товщини шару покриття на нижній горизонтальній поверхні деталі в зонах, прилеглих до пристосування;

в) можливе попадання покриття на не напилюванні поверхні в технологічних зазорах деталей і пристосувань;

г) можлива відсутність або зменшення товщини шару покриття в зонах, які знаходяться в «тіні» розташованих поруч поверхонь деталі або елементів пристосування;

д) покриття внутрішніх поверхонь отворів відбувається нерівномірно: товщина покриття зменшується від краю в глибину отвору; нерівномірність товщини покриття збільшується з зменшенням діаметра отвору;

е) покриття типу СДП після стабілізуючого відпалу має величину дифузійної зони від 5 % до 10 % від товщини загального шару.

#### 4.3 Вимоги до обслуговування установки вакуумно-плазмового напилення

1. Камера вакуумна, джерела живлення, пульти управління установки повинні бути надійно заземлені. Дверцята електричних шаф і джерел живлення - закриті.

2. Граничний тиск в камері перед початком процесу нанесення покриття повинно бути  $6,65 \times 10^{-2}$  Па ( $5 \times 10^{-4}$  мм рт. ст.) і нижче.

3. Натікання в вакуумну камеру не повинно перевищувати  $Q = 24$  мм рт. ст. · л/с, тобто час збільшення тиску в робочій камері від  $P = 1,33 \times 10^{-1}$  Па ( $1 \times 10^{-3}$  мм рт. ст.) до  $P = 1,33$  Па ( $1 \times 10^{-2}$  мм рт. ст.) має бути не менше 5 хвилин. Контроль натікання виробляти при холодній камері.

4. Під час перебування камери в розгерметизованому стані (завантаження - вивантаження деталей, чистка камери) камера повинна прогріватися гарячою водою ( $t^{\circ} =$  від  $35^{\circ}\text{C}$  до  $60^{\circ}\text{C}$ ), щоб уникнути утворення конденсату.

Час перебування вакуумної камери в розгерметизованому стані повинно бути, по можливості, мінімальним.

5. На кожну установку повинен бути заведений журнал технічного стану, в якому проводиться запис відмов систем установки, проведення профілактичних і ремонтних робіт.

6. Регулярно проводити регламентні роботи на установці відповідно до вимог паспорта на установку і цієї інструкції.

Перед кожною садкою необхідно:

1) видалити з внутрішніх поверхонь камери спучені і відшаровуються залишки покриття за допомогою шабера і пілососа;

2) видалити з підпалює електрода нашарувалися покриття;

3) протерти бавовняної серветкою, змоченою послідовно в бензині або ацетоні, ізолятори верхнього і нижнього екрану-електрода, анода і кріплення анода, катода, кріплення нижнього екрану-електрода, приводу, підпалює пристрою, струмопроводів верхнього і нижнього екрану-електрода.

Для очищення ізоляторів необхідно зняти верхній і нижній екрани-електроди. Якщо нагар не видаляється серветкою, зачистити місця ізоляторів з нагаром мікронною шліфувальної папером.

Примітка - Необхідно пам'ятати, що наявність нагару і залишків покриття на ізоляторах може привести до короткого замикання елементів конструкції установки, що знаходяться під різними потенціалами, і, як наслідок, - прогару елементів конструкції.

4) перевірити авометром опір ізоляції:

- «катод - камера» і «анод - камера» - не менше 15 кОм;

- «виріб - екран приводу» - не менше 100 кОм;

- «нижній екран - камера» і «виріб - камера» - не менше 30 кОм;

- «нижній екран - катод» і «верхній екран - камера» - не менше 50 кОм;

5) чи не включаючи джерела живлення дуги перевірити роботу підпалює пристрою. Розпалювання електрод повинен без заїдання і зупинок переміщатися до торкання з катодом на протязі не менше двох циклів переміщення катода;

б) перевірити плавність переміщення катода і обертання приводу. Ривки і зупинки не допускаються;

7) протерти гумове ущільнення кришки камери серветкою, змоченою спиртом.

Після десяти технологічних садок провести наступні роботи:

1) провести чистку внутрішньої поверхні камери (кришка камери, анод, нижній і верхній екран-електрод, елементи приводу підкладки, деталі підпалює електрода) з повним видаленням покриття;

2) провести огляд приводу обертання, при наявності задирів - труться пари полірувати;

3) провести очистку оглядового скла ;

4) провести огляд деталей підпалює електрода:

- при наявності задирів на поверхні зубчастої рейки і соленоїда - пошкожене місце полірувати;

- перевірити справність штифтових з'єднань тяги приводу підпалює електрода;

- протерти поверхні соленоїда, корпусу електромагніту зубчастої рейки бавовняної серветкою, змоченою бензином або ацетоном;

5) провести очистку ізоляторів:

- корпусу підпалює електрода;

- кріплення корпусу підпалює електрода;

- власників виробів;

- штанги власника котушки підмагнічування катода;

- промивання ізоляторів бавовняної серветкою, змоченою в бензині або ацетоні.

При необхідності ізолятори очистити мікронною шліфувальної папером.

Пошкожені ізолятори замінити на нові.

б) перевірити час спрацьовування блокувань:

- підпалу дуги - 15 с;
- переміщення катода - 35 с;
- обертання виробу - 35 с.

7) провести зовнішній огляд варіатора напруги і баластного реостата підпалу дуги. При необхідності зачистити струмознімальні елементи.

Один раз в шість місяців провести повне розбирання вузлів механізму для очищення місць камери, які не були доступні при виконанні перерахованих вище пунктів регламентних робіт.

#### 4.4 Вибір матеріалу для напилення

Випробування двигунів показали, що порошкове алітування (покриття шаром алюмінієм для захисту від окислення при високих температурах) робочих лопаток турбіни вентилятора не забезпечує їх захист, ресурс двигуна обмежувався 50 год, що було пов'язано з підвищенням на 150 °С робочої температури газів в двигунах, а також зрослим рівнем теплової напруженості лопаток ТВ.

Виникла гостра необхідність в розробці і створенні принципово нових покриттів, здатних захистити робочі лопатки турбін від високотемпературної (від 1100 °С до 1150 °С) газової корозії, забезпечити необхідний рівень опору до утворення на поверхні лопаток тріщин термічної втоми, також підвищити їх ресурс. В якості нових покриттів були обрані конденсовані багатокомпонентні електронно-променеві покриття системи Me-Cr-Al-Y.

Порівняльні випробування лопаток ТВ з покриттями системи Me-Cr-Al-Y, отриманими за електронно-променевої і нової вакуумно-плазмової технології високих енергій (ВПТВЕ), показали переваги нової технології і покриттів зі сплаву СДП-2 (Ni-Cr-Al-Y). Покриття зі сплаву СДП-2 дозволили в 4 рази підвищити ресурс лопаток ТВ двигуна.

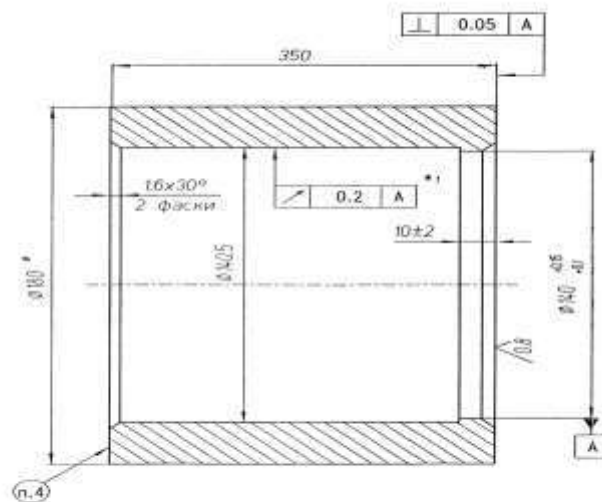
Дослідження проводили на зразках з монокристалічною структурою з жароміцного нікелевого сплаву ЖС6У-ВІ. Для нанесення покриттів використовувалися серійні сплави для іонно-плазмових покриттів СДП-2 (склад сплавів представлений в таблиці 4.4).

**Таблиця 4.4** - Хімічний склад сплавів

Сплав	Зміст елемента,% маси			
	Cr	Al	Y	Ni
СДП-2	20	12	0.3	основа

Всі покриття, досліджені в роботі, були отримані на промислової іонно-плазмової установки МАП-2 по серійної технології. Катод зі сплаву СДП-2 (рисунок 4.5) випаровувався при струмі вакуумного дугового розряду 600 А при тиску від 0,03 Па до 0,1 Па. Товщина покриття 70 мкм.

Випробування на ізотермічну жаростійкість проводили відповідно до вимог ГОСТ 6130-71 [Методи визначення жаростійкості] на циліндричних зразках діаметром 10 мм і довжиною 30 мм при 1100 °С протягом 1000 год.



**Рисунок 4.6** – Катод СДП-2

Металографічні дослідження покриттів, аналіз локального хімічного складу покриттів і топологічно щільно упакованих фаз (ТПУ-фаз) і їх кількості на кордоні сплаву, проводили на приладі JСМА-733 фірми JEOL з використанням енергодисперсійного мікроаналізатора «Inca Energy». Для визначення об'ємної частки ТПУ-фаз була використана стандартна програма, яка входить в комплект програмного забезпечення мікроаналізатора «Inca Energy» [8].

Програма дозволяє визначити на електронному зображенні мікроструктури об'єкта, відсоток площі ділянок однакового кольору і, відповідно, одного і того ж елементного складу.

Мікротвердість визначали на приладі ПМТ-3 при навантаженні 0,5 Н (властивості в таблиці 4.5).

Характеристики тривалої міцності визначали на установці ZST2 / 3-ВІЕТ відповідно до вимог ГОСТ 10145-81 [Метод випробування на тривалу міцність] при 1000 °С на базах випробувань до 500 год, а втомі на випробувальній машині МВВ-611М по ГОСТ 25.502-79 [Методи випробування на втому] при 900 °С на базах випробувань  $2 \times 10^7$  циклів.

**Таблиця 4.5** – Властивості сплаву з покриттям з СДП-2

Фазовий склад	Швидкість осадження, мкм / год	Мікротвердість, кг / мм <sup>2</sup>
$\gamma, \gamma'$	20	496

Основні труднощі, що виникають при розробці сплавів з підвищеним вмістом ренію, пов'язані зі створенням сплавів, збалансованих по відношенню до виділення несприятливих фаз, що відносяться до розряду топологічно щільно упакованим фазам (ТПУ-фази), які, з одного боку, розкрихчується сплав, з іншого різко зменшується міцність твердий розчин в результаті видалення з твердого розчину елементів, його зміцнюючих.

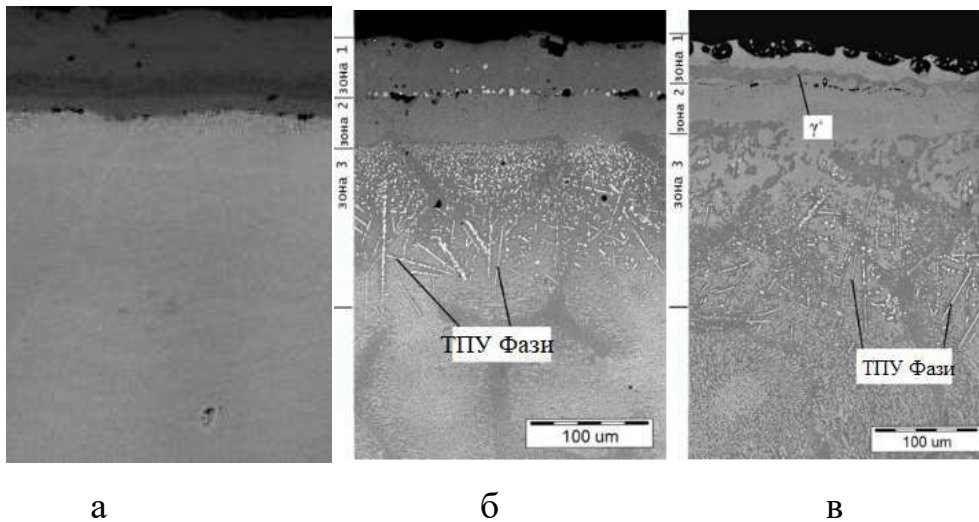
ТПУ-фази утворюються, як правило, в осях дендритів і являють собою пластини, що виділяються паралельно площинах октаедра [11]. Виділення такого типу можуть утворюватися як після спрямованої кристалізації і термічної обробки, так і при тривалому впливі температури і напружень.

Мікроструктура покриттів в початковому стані після вакуумної термообробки має будову, представлену на рисунку 4.7 а. Шари, що входять в структуру покриття формуються в процесі зустрічної дифузії нікелю зі сплавом СДП-2 від неї. В результаті утворюється зовнішній шар покриття на основі моноалюмініда нікелю ( $\beta$ -фази), легованого хромом і ітрієм в межах розчинності цих елементів в  $\beta$ -фазі при температурі відпалу покриття (1050 °С) і не містить інших тугоплавких елементів, які, як правило, потрапляють в жаростійке покриття при відпалі з підкладки. Потім слід двох фазний шар на основі  $\beta$ -фази з включеннями частинок твердого розчину  $\alpha$ -хрому.

При відпалі зі збільшенням вмісту алюмінію в поверхні шару зі сплаву СДП-2 мають місце фазові перетворення і перехід від структури  $\gamma + \gamma'$ , до структури  $\beta + \alpha$ . Розподіл хрому в шарі сплаву СДП-2 набуває нерівномірний характер і досягає максимуму від 26 % до 28 % в центральній частині покриття.

На кордоні жароміцного сплаву зберігається шар за складом і структурі відповідний складу сплаву СДП-2. Також починає формуватися зона дифузійного взаємодії (ЗДВ) покриття з ЖС на глибину до 10 мкм.

Після тривалої високотемпературної витримки структура покриттів зазнає значних змін, пов'язані в основному зі зниженням вмісту алюмінію і хрому в його шарі. Причому дифузія цих елементів, що забезпечують жаростійкі властивості покриттів, відбувається як до поверхні, так і в підкладку.



а - до роботи;

б - після 500 годин;

в - після 1000 годин роботи при  $t = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Рисунок 4.7** - Мікроструктура покриттів до і після роботи.

Видно, що після 500 г випробувань у зовнішній зоні покриття починається формування оксидних включень всередині шару покриття (рисунок 4.7 б). Зі збільшенням тривалості випробувань до 1000 год кількість цих включень значно зростає, що призводить до руйнування поверхні і зменшення товщини шару (рисунок 4.7 в). Процентний вміст ТПУ-фаз представлено в таблиці 4.6.

**Таблиця 4.6** – Процентний вміст ТПУ-фаз і ширина вторинної реакційної зони (ВРЗ) після випробувань на жаростійкість при  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Глибина поширення, мкм	Частка ТПУ-фаз в мікроструктурі ВРЗ, %
150	8,3
200	5,4

Працездатність структури становить до 1000 годин. А так як ресурс всього двигуна теж становить 1000 год, то відпадає необхідність у подальшому збільшенні ресурсу лопаток.

Таким чином, сплав СДП-2 є оптимальним сплавом для напилення лопаток ТВ.

#### 4.5 Оптимальні режими роботи

Одна з переваг методу вакуумно-плазмового напилення є простота використання. Для управління процесом необхідно контролювати всього 3 параметри: струм вакуумної дуги, напруга на підкладці, час процесу. Наше завдання отримати напилений шар товщиною 0,06 мм, що відповідає масі 3 г. Всі параметри мають лінійну залежність від напиляного шару. Параметри найбільш підходящі для напилення лопаток ТВ розроблені на базовому підприємстві. Дані параметри дозволяють отримати стабільний процес осадження покриття і забезпечити високу точність і прогнозованість за хімічним складом і механічними властивостями покриття.

1. Струм вакуумної дуги -  $600 \pm 25$  А.
2. Напруга на підкладці - 240 В.
3. Час напилення - 180 хв.

#### 4.6 Технологія напилення лопаток

##### 4.6.1 Провести контроль надійшли деталей після відпалу заготовки

1. Перевірити в супровідних документах номера деталей.

2. Виміряти розміри деталей під напилання із записом в журналі.
3. Перевірити деталі візуально на предмет виявлення раковин, зварювальних бризок, механічних пошкоджень, тріщин.
4. Розділити лопатки на партії-садки.
5. Транспортувати і зберігати деталі в тарі згідно з картами узгодження.

#### 4.6.2 Промивання розчинниками

Устаткування: шаф витяжний.

Матеріали: Бензин - розчинник нафтовий; ацетон, ацетон технічний, дистильована вода, щітка волосяна, рукавички гумові кислотостійкі.

1. Протерти гумові рукавички серветкою, змоченою в бензині.
2. Протерти кошик і внутрішню поверхню бачків серветкою, змоченою в бензині.
3. Залити в бачки бензин, ацетон, дистильовану воду.
4. Укласти деталі і зразки в кошик в один ряд по висоті спинкою вгору і промити їх методом неодноразового занурення, повністю занурюючи в бензин.
5. Потім, не даючи висохнути, струсити бензин і помістити деталі і зразки в ацетон.
6. Промити деталі і зразки в ацетоні методом неодноразового занурення, повністю занурюючи в ацетон.
7. Помістити деталі і зразки в бачок з дистильованою водою. Потім, виймаючи по одній просушити шляхом обдування чистим стисненим повітрям. Стиснене повітря перевірити на відсутність вологи і масла, для чого встановити дзеркало на відстані від 150 мм до 200 мм від зрізу сопла (визначається візуально). Обдути протягом від 3 до 4 хвилин. На дзеркалі не допускаються сліди масла, вологи. Роботу проводити в чистих гумових рукавичках.
8. Візуальний огляд – 100 %. На деталях і зразках не допускаються

забруднення.

#### Примітки

1. Після мийки забороняється брати деталі і зразки незахищеними руками (без рукавичок) за напилювану поверхню.

2. Зміну бензину, ацетону та дистильованої води виробляти після промивання двох садок деталей. Занести до журналу кількість промитих деталей. Облік заміни бензину, ацетону та дистильованої води.

#### 4.6.3 Піскоструминна обдувка

Устаткування: камера для обдування.

Матеріал: електрокорунд нормальний 14 А зерно від F400 до F500.

1. Перевірити стиснене повітря на відсутність масла, вологи. Встановити навпаки сопла на відстані від 150 мм до 200 мм, наявність слідів масла, вологи на фільтрувальної папері не допускаються. При необхідності продути повітропровід протягом однієї хвилини до повного видалення вологи. Роботу виконувати в чистих знежирених гумових рукавичках.

2. Обдути перо, проточні поверхні полки хвостовика і всі поверхні бандажної полиці зразка з покриттям ДЦП до появи однорідної матовою поверхні, попередньо затиснувши замок лопатки рукою, одягненої в гумову рукавичку. Роботу виконувати в чистих знежирених гумових рукавичках.

Режим обдування: - тиск повітря від  $2,0 \text{ кгс/см}^2$  до  $2,5 \text{ кгс/см}^2$ .

3. Обдути зразок сухим стисненим повітрям для видалення електрокорунду.

#### 4.6.4 Контроль якості перед напиленням

Матеріал: Спирт етиловий ректифікат, х/б рукавички.

1. Роботу виконувати в чистих х/б рукавичках.
2. Візуальний огляд – 100 %. Перевірити якість обдування поверхонь деталей і зразків. Напилювана поверхня повинна бути рівномірно матовою, без плям. Залишки мікропорошку на деталях і зразках не допускаються. Перевірити повноту видалення мікропорошку з внутрішніх порожнин лопаток поперемінним постукуванням верхньої бандажної полиці і замком про чорну серветку на гумовій підкладці для 100 % деталей.
3. Протерти шальки терезів, важки спиртом.
4. Зважити з точністю до 0,0001 г (попереднє зважування до 0,1 г) дві лопатки і два контрольних зразка. Брати лопатки в чистих х/б рукавичках за замок.

#### 4.6.5 Підготовка до напилювання

Обладнання: Установа МАП-2.

1. Включити установку.
2. Відкрити ручні вентиля подачі води на установку.
3. Вибрати необхідну операцію на панелі управління.
4. У разі необхідності відкрити газові балони і відрегулювати редуктори на вихідний тиск від 1 атм. до 1,5 атм. Редукторами шафи газонапуска виставити вихідний тиск від 0,7 атм. до 0,8 атм. і відкрити ручні вентиля.

5. Щоб уникнути осадження конденсату на внутрішніх поверхнях камери подати в систему охолодження установки (камери, катода, анода) гарячу воду і прогріти до температури (від 35 °С до 60 °С) (забезпечується технологічно).

6. Розгерметизувати камеру.

7. Після установки нового (або проточеного) катода необхідно:

- протерти випаровується поверхню катода серветкою, змоченою в спирті;
- "пропалити" катод протягом від 15 хв до 30 хв, підібрати оптимальний режим (струм дуги в межах  $I_d =$  від 500 А до 600 А) роботи установки. Міняти режими напilenня протягом одного процесу не допускається.

8. При зменшенні діаметра катода відбувається зменшення швидкості осадження покриття при незмінних параметрах тих. процесу.

$$T_f = (T_p / \Delta M_p) \cdot \Delta M_n, \quad (4.1)$$

де  $T_f$  - фактичний час напilenня, хв .;

$T_p$  - час напilenня попередньої садки, хв .;

$\Delta M_n$  - нормативний приріст покриття, г;

$\Delta M_p$  - приріст покриття попередньої садки, м

9. Підготовка нового пристосування для нанесення покриття СДП-2.

#### 4.6.6 Створення вакууму

Відзначити час початку вакуумування в журналі. Розрив часу між початком промивання і вакуумування не більше чотирьох годин за умови зберігання деталей в чистій закритій тарі.

- виконати процес "Відкачування камери";

- провести перевірку рівня натікання в камері, натиснувши у вікні "сервіс" "Перевірити натікання". В результаті перевірки видається повідомлення "натікання нормальне" (натікання в вакуумну камеру повітря повинне бути не більше  $24 \times 10^{-3}$  мм рт. ст. л·с<sup>-1</sup>). При перевищенні допустимого рівня натікання видається повідомлення "натікання ненормально".

#### 4.6.7 Нанесення покриття на установці МАП-2

Обладнання: Установка МАП-2, катод.

1. Провести тест катода.
2. Викликати вікно паспорта процесу.
3. Вибрати процес.
4. Ввести дані паспорта процесу: П.І.Б. оператора, номер садки, ручне управління.
5. Запустити тех. процес, стежити за ходом тех. процесу на екрані монітора. При проведенні стадії "Іонна очистка металами" контроль величини напруги за параметрами "інвертор". При проведенні стадії "напилення" напруга зсуву повинно бути відмінним від нуля.

#### 4.6.8 Вивантаження деталей

Обладнання: Установка МАП-2, вакуумне сушило.

1. Роботу виконувати в чистих х/б рукавичках.

2. Демонтувати пристрій з деталями і зразками з камери.
3. Демонтувати деталі і зразки з пристосування.
4. Укласти деталі і зразки в чисту тару.
5. Подати деталі на контроль.

#### 4.6.9 Вихідний контроль

1. Візуальний огляд – 100 %. Покриття на лопатках після відпалу має бути без вибоїн, відколів, здуття, розтріскувань, лущення, місцевої відсутності шару, налиплого лускатих частинок покриття. Допускається наявність покриття СДП-2. Не допускається крапельне Набризкування на напилені поверхні, що перевищує норми.

При наявності крапельної фази перевищує норми виконувати зачистку окремих крапель механічним способом без врізання в основний матеріал покриття.

1. Провести контроль розмірів.
2. При негативному результаті металографічного контролю виконати повторний контроль на лопатці.

#### 4.7 Технічне нормування технологічних операцій

Нормування операцій для напилення робочих лопаток турбіни середнього тиску проводиться шляхом технічного розрахунку норм часу за нормативами. Так як багато операцій виконуються для садки деталей (24 лопатки) то прийнято вважати штучний час для садіння.

Штучний час на напилювання садки з 24 лопаток ТВ розраховується за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{шт1}} + T_{\text{шт2}} + T_{\text{шт3}} + T_{\text{шт4}} + T_{\text{шт5}} + T_{\text{шт6}} + T_{\text{шт7}} + T_{\text{шт8}} + T_{\text{шт9}} \quad (4.2)$$

де  $T_{\text{шт1}}$  – штучний час на вхідний контроль ( хв );

$T_{\text{шт2}}$  – штучний час на мийку ( хв );

$T_{\text{шт3}}$  – штучний час на піскоструминну обдувку ( хв );

$T_{\text{шт4}}$  – штучний час на контроль якості перед напиленням ( хв );

$T_{\text{шт5}}$  – штучний час на підготовку до напилювання ( хв );

$T_{\text{шт6}}$  – штучний час на створення вакууму в камері установки МАП-2 ( хв );

$T_{\text{шт7}}$  – штучний час на осадження покриття в установці МАП-2 ( хв );

$T_{\text{шт8}}$  – штучний час на охолодження в камері ( хв );

$T_{\text{шт9}}$  – штучний час на вихідний контроль ( хв );

Штучний час на вхідний контроль розраховується за формулою:

$$T_{\text{шт1}} = t_1 + t_2 + t_3$$

де  $t_1$  – час на укладку лопаток на стенд вхідного контролю (5 хв);

$t_2$  – час на візуальний огляд лопаток (15 хв);

$t_3$  – час на вивантаження лопаток в транспортну візок (5 хв).

$$T_{\text{шт1}} = 5 + 15 + 5 = 25 \text{ хв}$$

Штучний час на мийку лопаток розраховується за формулою

$$T_{\text{шт2}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$$

де  $t_1$  - час на укладку лопаток в ванну з ацетоном (3 хв);

$t_2$  – час на мийку лопаток в ацетоні (10 хв);

$t_3$  – час укладання лопаток в ванну з дистильованою водою (3 хв);

$t_4$  – час на мийку лопаток в дистильованій воді (10 хв);

$t_5$  – час на укладку лопаток в ванну з бензином (3 хв);

$t_6$  – час на мийку лопаток в бензині (10 хв);

$$T_{шт2} = 3 + 10 + 3 + 10 + 3 + 10 = 40 \text{ хв}$$

Штучний час на пікоструминну обдувку розраховується за формулою:

$$T_{шт3} = t_1 + t_2 + t_3$$

де  $t_1$  – час на укладку лопаток на стенд для пікоструминної обробки (4 хв);

$t_2$  – час на пікоструминну обробку лопаток (36 хв);

$$T_{шт} = 4 + 36 = 40 \text{ хв}$$

Штучний час контроль перед напиленням розраховується за формулою:

$$T_{шт4} = t_1 + t_2 + t_3$$

де  $t_1$  – час на укладку лопаток на стенд вхідного контролю (5 хв);

$t_2$  – час на візуальний огляд лопаток (15 хв);

$t_3$  – час на вивантаження лопаток в транспортну візок (5 хв);

Штучний час на підготовку установки МАП-2 розраховується за формулою:

$$T_{шт5} = t_1 + t_2$$

де  $t_1$  – час на перевірку робочих режимів установки (5 хв);

$t_2$  – час на монтаж лопаток в оснастку і монтаж оснащення в установку (15 хв);

$$T_{шт5} = 5 + 15 = 20 \text{ хв}$$

штучний час на створення вакууму розраховується за формулою:

$$T_{шт6} = t_1 + t_2$$

де  $t_1$  – час на процес «Відкачування в камері» (35 хв);

$t_2$  – час перевірки рівня натікання в камері (5 хв);

$$T_{шт6} = 5 + 35 = 40 \text{ хв}$$

штучний час на нанесення покриття в установці МАП-2 розраховується за формулою:

$$T_{шт7} = m \cdot k_n$$

де  $m$  – необхідна маса напиленням покриттям кг;

$k_n$  – коефіцієнт напилення

$$T_{шт7} = 3 \times 60 = 180 \text{ хв}$$

Штучний час охолодження  $T_{шт8} = 80 \text{ хв}$

Штучний час на вихідний контроль розраховується за формулою:

$$T_{шт9} = t_1 + t_2 + t_3$$

де  $t_1$  – час на укладку лопаток на стенд вхідного контролю (5 хв);

$t_2$  – час на візуальний огляд лопаток (15 хв);

$t_3$  – час на вивантаження лопаток в транспортну візок (5 хв);

$$T_{шт9} = 5 + 15 + 5 = 25 \text{ хв}$$

Штучний час на напилювання садки з 24 лопаток ТВ розраховується за формулою:

$$T_{шт} = 25 + 40 + 40 + 25 + 20 + 40 + 180 + 60 + 20 + 25 = 475 \text{ хв}$$

#### 4.8 Аналіз базового тех. процесу і пропозиції щодо його вдосконалення

Базовий тех. процес, описаний в 4.6, розроблений на підприємстві «Мотор Січ». Цим тех. процесом користуються більше 10 років. Всі процеси стабільні, мають більшу точність виконання за рахунок мінімізації людського фактора. Вакуумно-плазмової технології високих енергій почали вивчати в 1975 році на заводі «Мотор Січ» вона впроваджена в 1986 році. Величезний досвід роботи допоміг розробити технологію забезпечує безперебійну роботу.

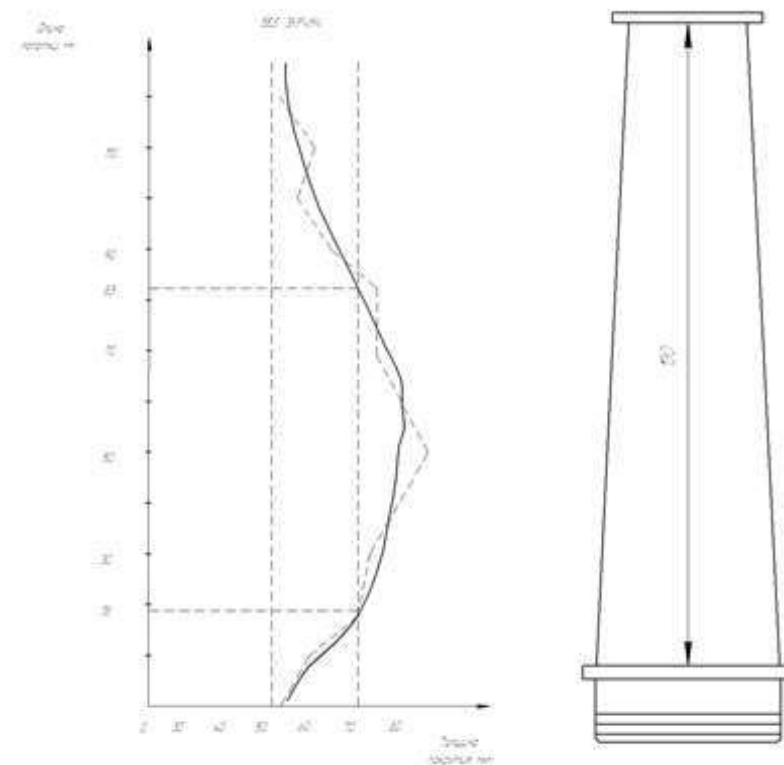
Процес забезпечує високу прогнозованість за хімічним складом і товщині покриття, але тільки якщо напилюванні лопатки в довжину не перевищують 100 мм. Якщо деталь має довжину понад 100 мм, то у верхній і нижній частині пера осідає менший шар, ніж в середній частині.

Таким чином, головним недоліком процесу є нерівномірність нанесення покриття. Для подолання цього недоліку в дипломному проєкті пропонується захисний екран для МАП-2 (розділ 5.1).

## 5 ПРОЄКТНО – КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРОБКИ

### 5.1 Захисні екрани для МАП-2

При застосуванні установки МАП-2 для напилення лопаток турбін виникла технологічна проблема: напилення по всій поверхні йде нерівномірно. Ті деталі, які по вертикалі перевищують 100 мм, в середній частині пера лопатки отримували жаростійке покриття, яке по товщині перевищувало норму (норма - від 50 мкм до 70 мкм). В верхній і в нижній частині пера лопатки напилюється шар меншої товщини (рисунок 5.1), в середній частині лопатки, - відповідно більшою.

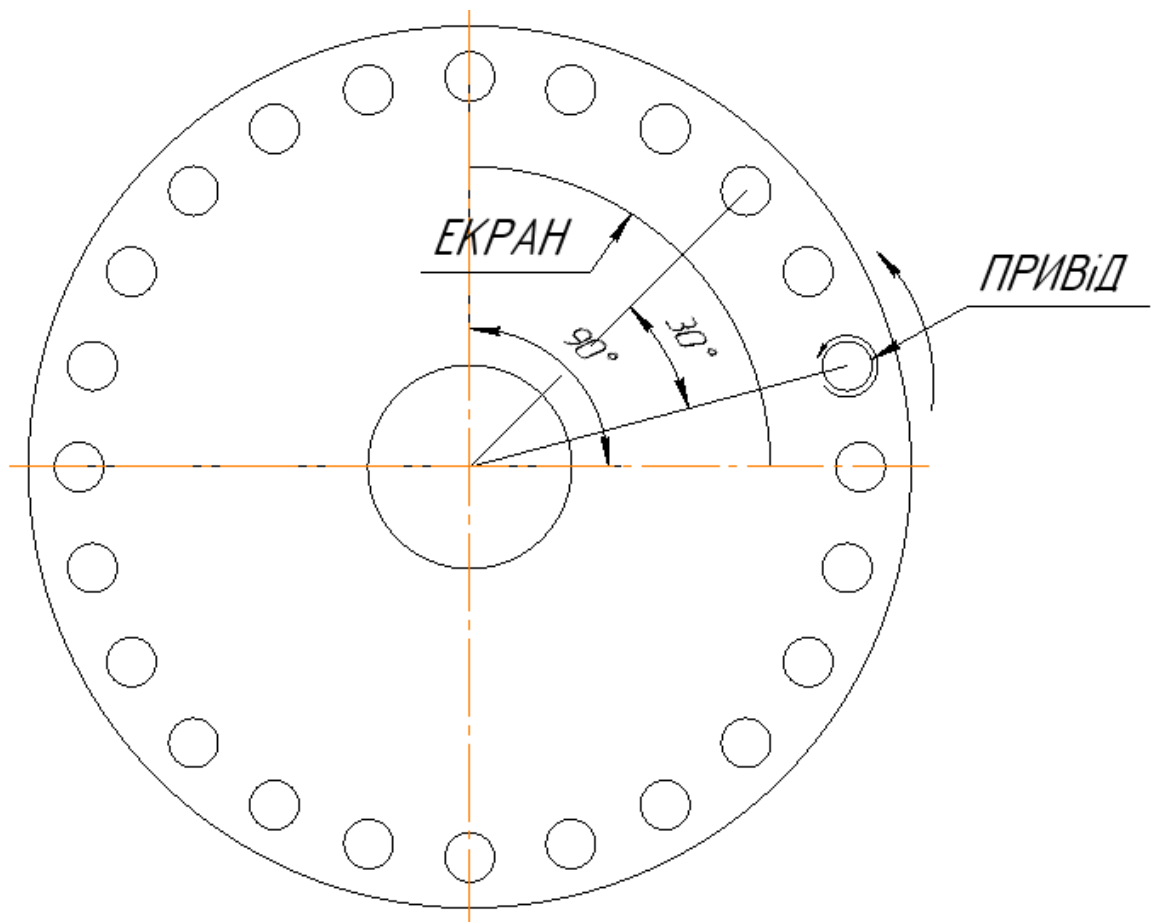


**Рисунок 5.1** – Графік розподілу по товщині покриття СДП 2 на пера лопатки (по базовій технології)

Допустима величина напилюваного шару пера лопатки повинна знаходитися в межах від 50 мкм до 70 мкм. З цієї залежності (рисунок 5.1)

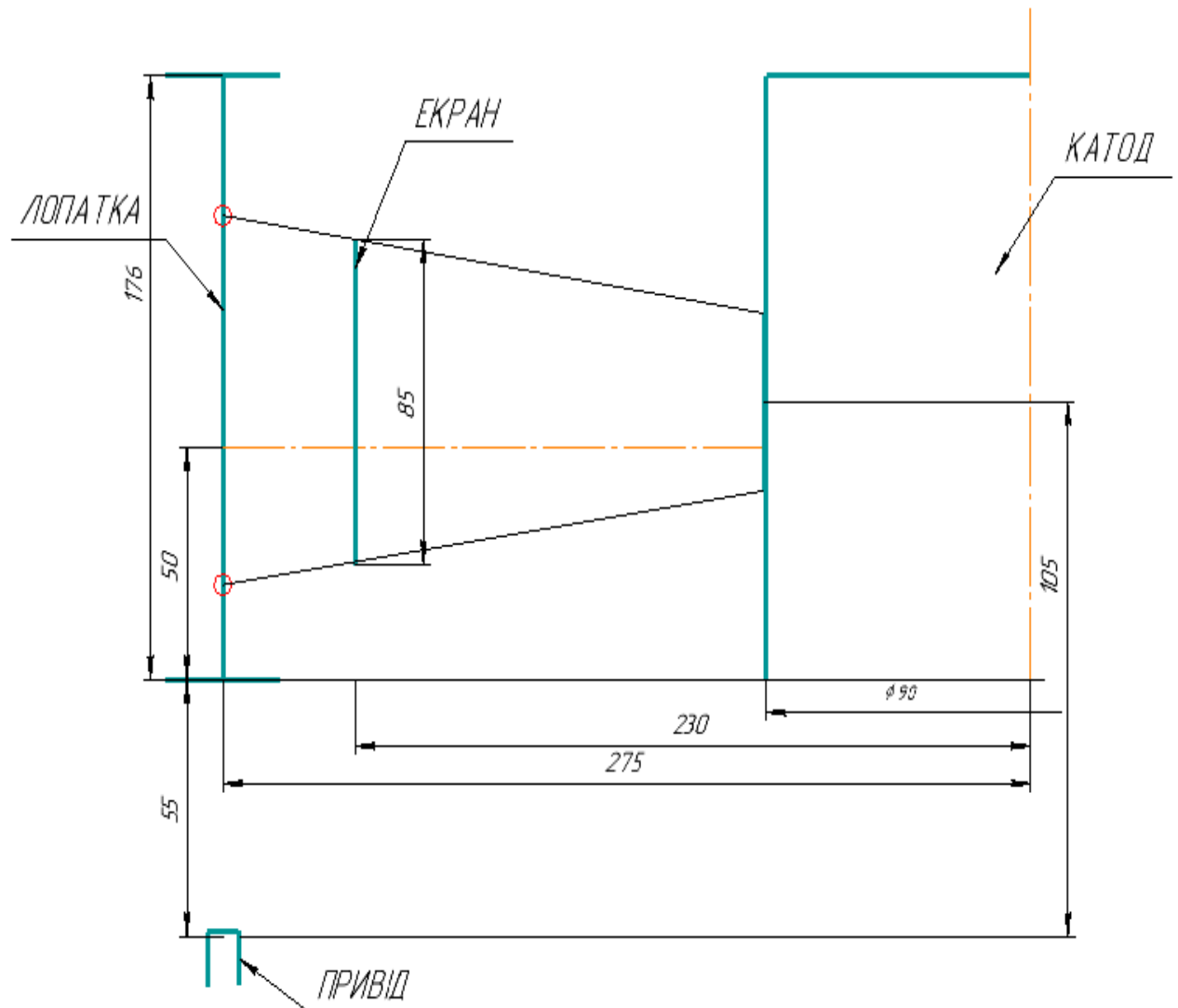
видно, що лопатки після напилення вимагають механічної обробки, в тих місцях, де обложений шар вище допустимих 70 мкм. У зв'язку з цим пропонується змінити технологію напилення лопатки.

Для зменшення нерівномірності товщини шару розроблений захисний екран з нержавіючої сталі, встановлений в сегменті на чверть кола (90 градусів). Екран нерухомий і захищає середню частину пера лопаток, що обертаються за ним, від попадання на них напилюваного матеріалу (рисунок 5.2).



**Рисунок 5.2** – Розташування захисного екрану вид зверху

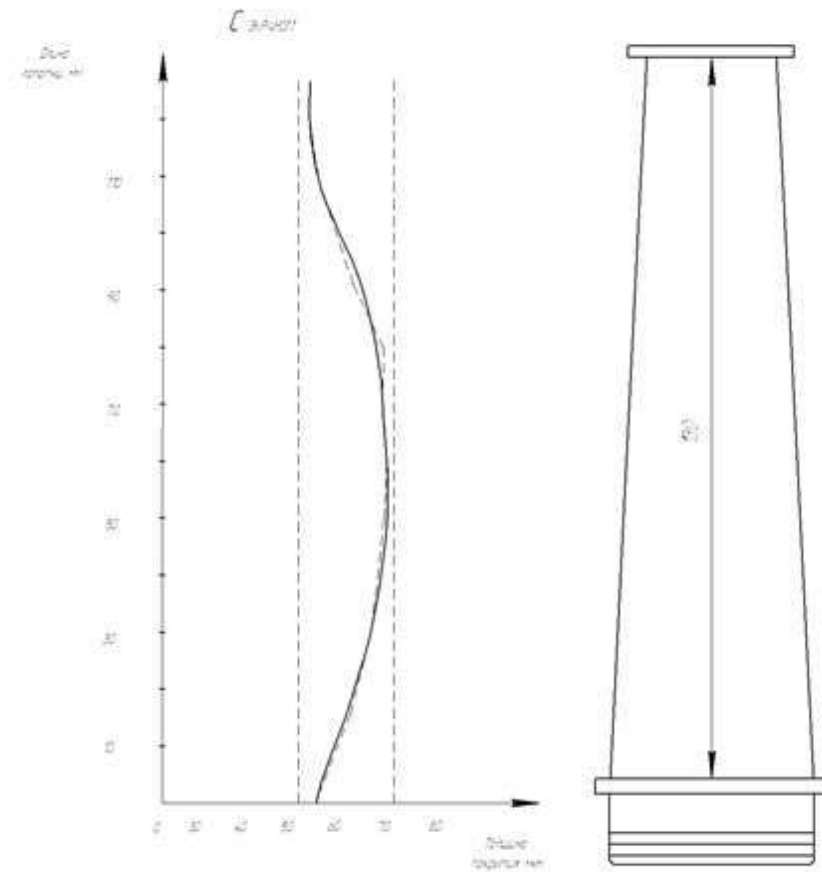
Екран розміщений навпроти ділянок, які найбільше схильні до напилювання на висоті від 15 см до 85 см в довжину (рисунок 5.3). На відстані від катода 230 мм і від напилюємої лопатки 45 мм.



**Рисунок 5.3** – Схематичне розташування екрану

В результаті чверть матеріалу не досягає поверхні лопатки, а осідає на екрані. Дана технологія дозволяє отримати більш рівномірний розподіл жаростійкого покриття. Також лопатки не наражати на механічній обробці після напилення.

Графік товщини жаростійкого покриття за технологією із захисним екраном на рисунку 5.4.



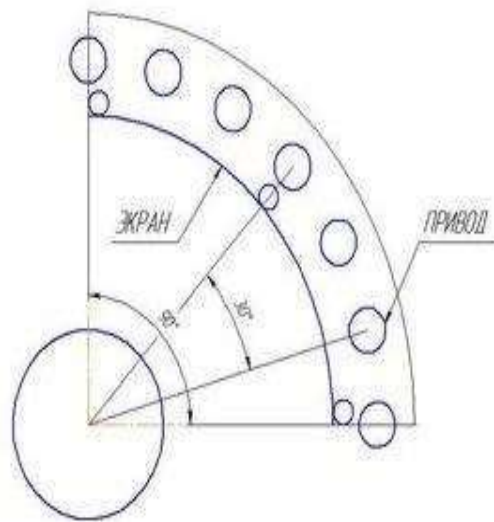
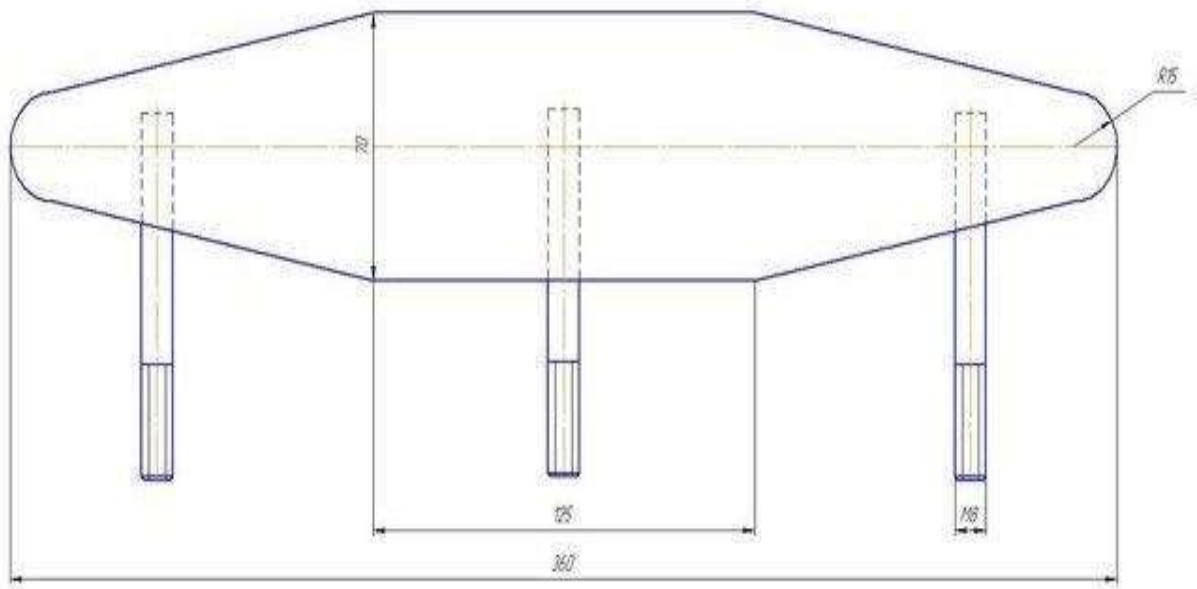
**Рисунок 5.4** – Розподіл товщини покриття СДП-2 при обробці лопаток з захисним екраном

Екран необхідно створити з матеріалу, який з одного боку забезпечить осадження захисного покриття, з іншого буде легко зчищатися і піддаватися хутро обробці.

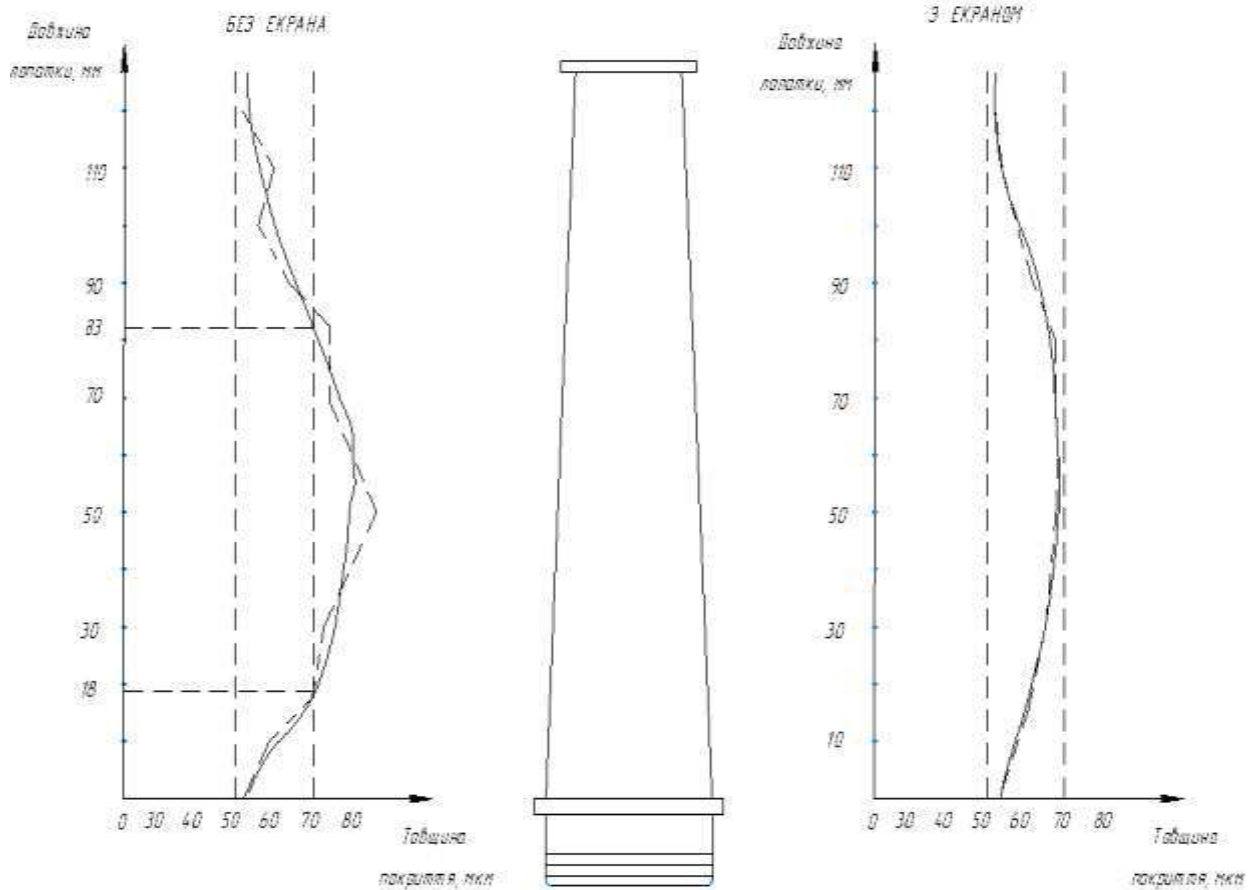
Таким вимогам відповідає нержавіюча сталь 08Х18Н10 (хімічний склад наведено в таблиці 5.1) Під час роботи установки на екран осідає покриття (з'єднання німіцні); після роботи вона зчищається декількома ударами молотка. Креслення екрану на рисунку 5.5.

**Таблиця 5.1** – Хімічний склад сталі 08X18H10

Сталь	Зміст елемента, % маси								
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu
08X18H10	0,07	0,07	0,15	10	0,01	0,035	18	0,4	0,2

**Рисунок 5.5** – Креслення захисного екрану

Таким чином екран для МАП - 2 дозволяє отримувати рівномірне покриття; крім того він простий у використанні і експлуатації. На рисунку 5.6 графік показує порівняння товщини покриття із застосуванням екрану і без його застосування.



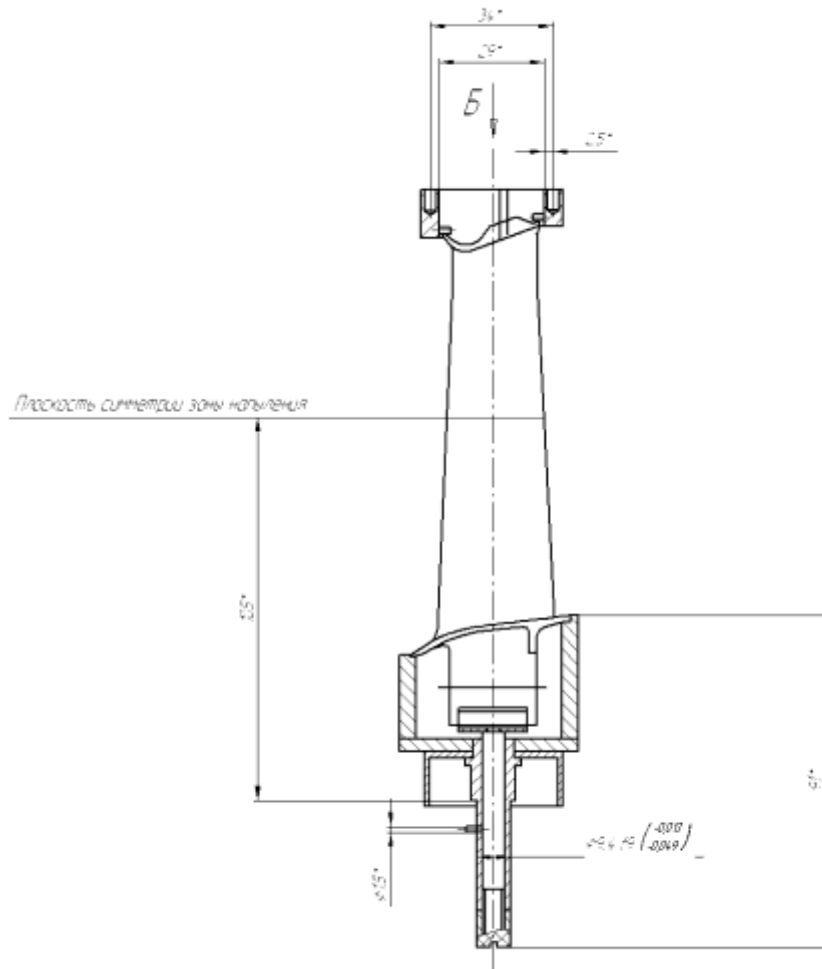
**Рисунок 5.6** – Графік розподілу жаростійкого захисного покриття СДП-2 на пере лопатки по базовій технології та із застосуванням захисного екрану.

## 5.2 Опис оснащення для напилення лопаток ТВ

Оснащення для лопаток повинна відповідати двом основним вимогам:

- 1) забезпечити надійне кріплення в установку МАП-2.
- 2) захистити від напилення ті частини лопатки, які не підлягають покриттю.

На основі цих вимог була розроблена оснащення (рисунок 5.7).

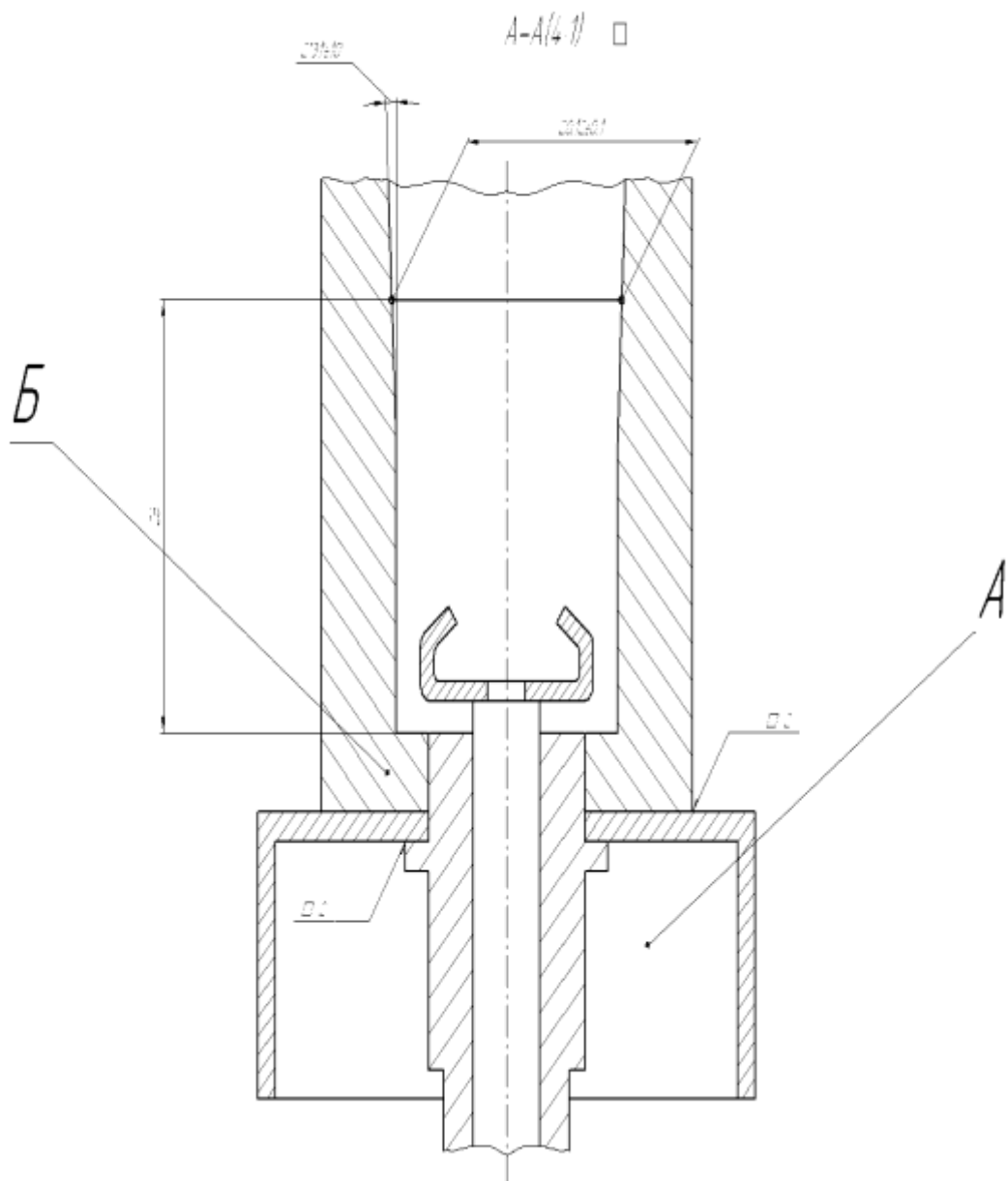


**Рисунок 5.7** – Оснащення для лопаток ТВ

Оснащення складається з трьох основних частин, кожна з яких відповідає за певні функції.

1. Кріплення в установку МАП-2 (рисунок 5.8 А). Забезпечує надійне кріплення деталі в діапазоні температур від 20 °С до 500 °С.

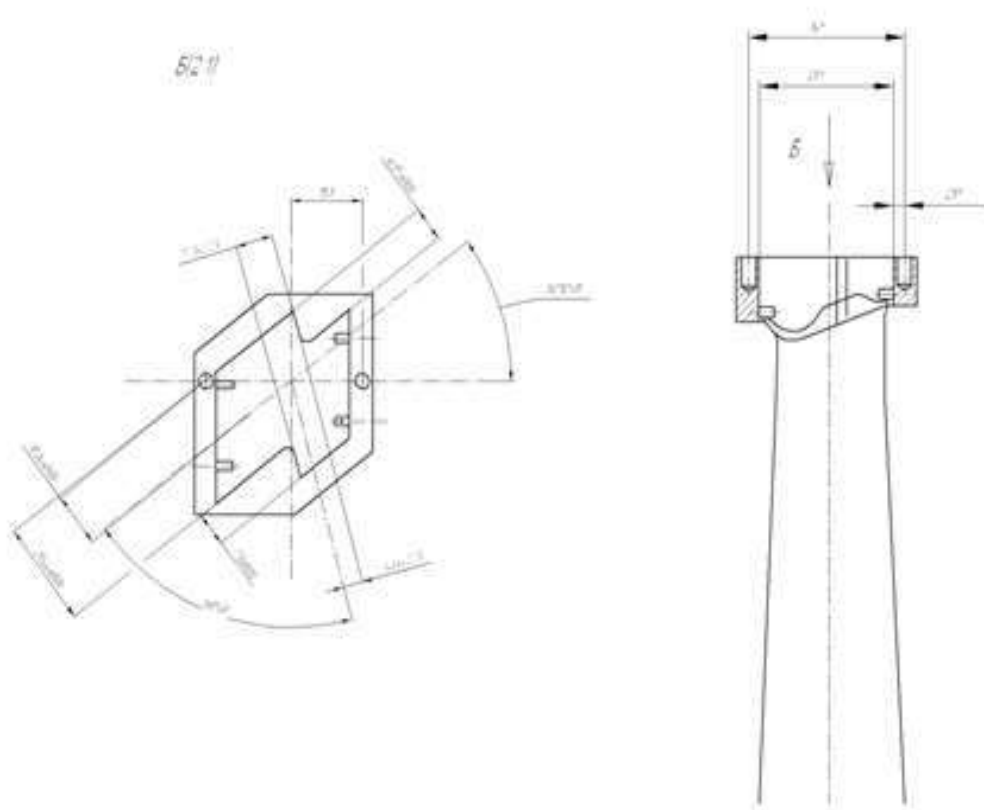
2. Кріплення лопатки. Розроблено спеціально для кожного виду лопатки. Забезпечує надійний електричний контакт покриваються деталей з пристроєм обертання деталей у вакуумній камері.



А - кріплення в установку МАП-2; Б - кріплення лопатки

**Рисунок 5.8** – Кріплення оснастки до установки МАП-2

3. Захисна кришка (рисунок 5.9) забезпечує надійний захист поверхні деталі, що не підлягають покриттю;



**Рисунок 5.9** –Захисна кришка оснащення для лопаток ТВ

Оснащення забезпечує надійний електричний контакт. Має мінімальну металоємність і поверхню. Шорсткість поверхні елементів оснащення не більше 3,2. Оснащення виготовлена з немагнітних, нержавіючих матеріалів; Виготовлена, так щоб забезпечити демонтаж деталей після напилення без пошкодження напиляного шару.

## 6 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ ПО НАПИЛЕНЮ ЛОПАТОК

### 6.1 Нормування технологічних операцій, створення карти стейкхолдерів

Отже, одним із перспективних напрямків розвитку підприємства та позбавлення залежності від російського ринку є співпраця з іноземними партнерами. Спільна розробка та виробництво транспортних і військовотранспортних літаків є гарним досвідом світового авіабудування. На сьогоднішній день більшість авіабудівних компаній об'єднуються задля спільної діяльності. ПАТ «Мотор Січ» має всі шанси зміцнитися на європейському ринку, використовуючи досвід провідних компаній.

**Таблиця 6.1** – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Технологія підвищення жаростійкості та жароміцності робочих лопаток першої ступені турбіни вентилятора (ТВ)	1. Транспортні літаки Ан-124, Ан-124-100 «Руслан» і Ан-225 «Мрія»	Підвищення ресурсу роботи лопаток в двигунах для авіації 500-1000 годин
	2. Реактивний авіадвигун з тягою більше 20 000 кгс	Підвищення ресурсу роботи лопаток

Отже, на сьогоднішній день основним завданням підприємства є пошук нових ринків збуту, які замінять російський ринок. Для досягнення цього ПАТ «Мотор Січ» має покращити свою діяльність через використання європейського досвіду авіабудування.

Високі бар'єри входу на європейський ринок змушують підприємство прийняти вимоги світової спільноти. ПАТ «Мотор Січ» має звернути увагу на розвиток інноваційного сектору, що значно допоможе при скороченні витрат,

удосконалення виробництва, залучення нових покупців, а також збільшення частки ринку.

Україні необхідно в найближчі роки мати на меті інтегрування зі світовими авіабудівними підприємствами світу для обміну досвідом, розробками, технологією, завдяки чому з'явиться можливість залучити в країну нових іноземних інвесторів, нових покупців авіаційної техніки.

**Таблиця 6.2** – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	General Electric (США)
		Snecma / Turbomeca(Франція)
		«ОДК-Сатурн»
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	не існує
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація системи якості виробництва авіаційної техніки (АТ)

Втілення запропонованих напрямків підвищення рівня конкурентоспроможності в діяльність АТ «Мотор Січ» забезпечить збільшення випуску продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках, освоєння економічно ефективних високотехнологічних виробництв і модернізацію виробничої бази, що безпосередньо впливатиме на розвиток потенціалу підприємства загалом.

Таблиця 6.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	Підвищення якості продукції та послуг;	Росія		Модернізація виробництва
2	Підвищення ефективності стратегії маркетингу та збуту	Індія	Потенційні і діючі поставки в країни далекого зарубіжжя поки занадто малі і не можна порівнювати з можливою повною втратою російського ринку	Підвищити ефективність системи сертифікації
3	Розвиток виробничо-технологічної, конструкторської та випробувальної бази	Китай		Сертифікація системи якості, виробництва авіаційної техніки
4	Підвищення рівня кваліфікації персоналу та менеджменту	Алжир		Достатньо довгі терміни створення виробництва

Одним з основних інструментів стратегічного управління, що впливають на розвиток компанії, є SWOT-аналіз. SWOT-аналіз – це процес встановлення зв'язків між найхарактернішими для підприємства можливостями, загрозами, сильними сторонами (перевагами), слабкостями, результати якого в подальшому можуть бути використані для формулювання і вибору стратегій підприємства.

Таблиця 6.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1) виробництво двигунів з унікальними характеристиками; 2) тривалі історичні зв'язки з великими клієнтами, міцні позиції на ринку СНД; 3) повний цикл створення авіадвигунів, партнерство з КБ «Івченко-Прогрес»; 4) досвідчений персонал;	1) висока частка продажу в Росії; 2) недостатня ємність внутрішнього ринку;
Можливості:	Загрози:
1) держзамовлення на поставку вертольотів; 2) зростання потреб у авіатехніці; 3) проникнення на ринок Китаю і країн ПівденноСхідної Азії 4) високий ступінь зносу авіаційних парків країн СНД	1) політична нестабільність; 2) недостатня законодавча забезпеченість галузі; 3) загострення стосунків між Україною та Росією; 4) подорожчання імпортованих комплектуючих та сировини; 5) низький рівень витрат на НДДКР

Виходячи з результатів проведеного стратегічного аналізу зовнішнього середовища ПАТ «Мотор Січ» за допомогою інструментів SWOT-аналізу (Таблиця 6.4), можна сказати, що існує необхідність перегляду та заміни стратегічних планів підприємства його керівництвом. Стратегічне планування має здійснюватись таким чином, щоб використовувати власні сильні сторони та ринкові можливості для максимального розвитку та реалізації потенціалу підприємства, одночасно з подоланням слабких сторін та уникненням загроз.

Таблиця 6.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Для Індії – поставка двигунів «AI-20Д»	Середня готовність	Високий попит на власному ринку	Велика конкуренція	Важко
2	Для Китаю – поставка двигунів AI-222К-25	Висока	Високий попит	Відносно не велика конкуренція	Легко
№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
3	Для Алжиру – ремонт двигунів ТВ3-117 різних модифікацій	Середня готовність	Середній попит	Досить велика конкуренція	Важко
Які цільові групи обрано: Індія, Китай					

У серпні-грудні 2020 року МОТОР СІЧ провела аудит якості своєї взаємодії з ключовими групами стейкхолдерів: співробітниками, міжнародними громадськими та експертними організаціями, представниками регіональної та місцевої влади.

В рамках проекту ми вивчили кращий міжнародний досвід з налагодження діалогу зі стейкхолдерами в провідних міжнародних компаніях,

провели публічні зустрічі зі стейкхолдерами, де обговорили пріоритетні напрямки групи Мотор Січ у галузі КСВ, а також визначили підходи до взаємодії з ними сьогодні та в майбутньому.

Консультантами проєкту виступали експерти у галузі КСВ «Спільнота «Соціально відповідальний бізнес» – громадської організації, активного учасника національної та міжнародної КСВ-спільнот. Проєкт сприяв налагодженню якісного діалогу між Компанією і стейкхолдерами та включав такі кроки:

Визначення цілей і вибір істотних питань для взаємодії.

На цьому етапі Мотор Січ проаналізувала поточну ситуацію в Компанії щодо взаємодії зі стейкхолдерами та визначила цілі проєкту. Було окреслено ключові групи стейкхолдерів й істотні питання для кожної з груп. Істотність визначалась через аналіз кожного питання за трьома критеріями:

1. ступінь важливості для стейкхолдерів;
2. нагальність;
3. можливість Мотор Січ позитивно вплинути на вирішення питання.

Це створило фундамент для того, щоб взаємодія дійсно наповнилася змістом і стала частиною бізнес-стратегії.

Дослідження успішних світових практик (benchmarking review).

Експерти зі Спільноти Мотор Січ провели аналіз найкращого світового досвіду для того, щоб визначити, які з цих практик будуть найефективнішими для багатогалузевої групи та актуальними в українському контексті.

Загалом було проаналізовано більш ніж 80 провідних міжнародних організацій, серед яких такі компанії, як Rio Tinto, Arcelor Mittal, Suez, TATA, Anglo American, BHP Billiton, POSCO, Novo Nordisk, General Electric, міжнародні організації ПРООН, ЄБРР, Світовий Банк, МОТ, громадські організації AccountAbility, CSR Europe та інші.

У результаті компанія отримала рекомендації щодо підходів та інструментів, які Компанія може використовувати в процесі визначення власних підходів до взаємодії зі стейкхолдерами.

Створення карти стейкхолдерів Мотор Січ.

Створення карти стейкхолдерів полягає у визначенні ключових груп, організацій, людей, що можуть впливати на успішну діяльність компанії або на яких впливає діяльність компанії. Створення карти відбувалося у 4 етапи:

1. Ідентифікація – окреслення актуальних груп стейкхолдерів, організацій, активістів;

2. Аналіз – дослідження інтересів, поглядів і діяльності;

3. Візуалізація – візуальна ілюстрація стейкхолдерів і їхнього зв'язку з істотними питаннями та цілями Компанії;

4. Пріоритезація – вибір ключових стейкхолдерів, які найкраще відповідали б істотним питанням, визначеним на попередньому етапі.

У результаті карта стейкхолдерів Компанії Мотор Січ включає 12 груп і налічує понад 400 організацій, приблизно 100 із яких були залучені до проєкту Мотор Січ.

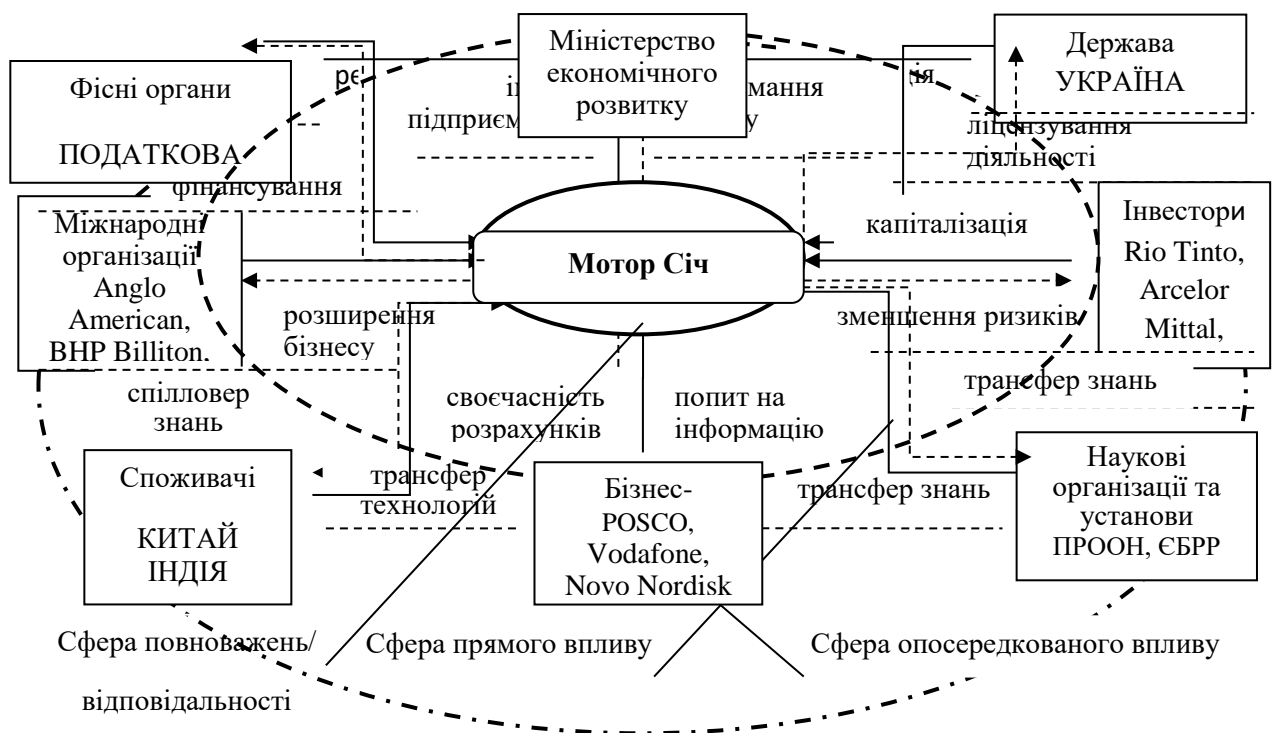


Рисунок 6.1 – Карта стейкхолдерів

Проект допоміг Мотор Січ краще зрозуміти, хто є нашими ключовими стейкхолдерами, які в них очікування та пріоритети, а також визначити ефективні механізми для співпраці. Проект сприяв налагодженню партнерських відносин зі стейкхолдерами та підвищив довіру стейкхолдерів до діяльності Мотор Січ.

Проект допоміг Мотор Січ краще зрозуміти, хто є нашими ключовими стейкхолдерами, які в них очікування та пріоритети, а також визначити ефективні механізми для співпраці. Проект сприяв налагодженню партнерських відносин зі стейкхолдерами та підвищив довіру стейкхолдерів до діяльності Мотор Січ.

В рамках проекту Мотор Січ визначила карту ключових стейкхолдерів, що включає 12 груп та налічує понад 400 організацій, приблизно 100 з яких були залучені до проекту Мотор Січ у 2020 році.

1. Вхідний і вихідний контроль проводиться на спеціально обладнаному стенді для контролю. Для того що б проконтролювати одну партію лопаток (24 штуки) необхідно 25 хвилин. Контроль проводиться три рази: вхідний, вихідний і безпосередньо перед напиланням.

2. Мийка лопатки. Мийка виробляється в спеціальному висувному шафі, промивка лопаток ведеться в трьох ваннах: ацетон, дистильована вода і бензин. На одну партію в 24 лопатки необхідно 40 хвилин.

3. Піскоструйна обдувка. Здійснюється в камері для обдування на одну партію необхідно 40 хвилин.

4. Напилення лопаток на установці МАП-2. Відбувається в кілька етапів: підготовка (монтаж садки), вакуумація, нанесення покриття, охолодження у вакуумній камері. На всі операції необхідно 320 хвилин.

Нормування операцій занесено в таблицю 6.6.

**Таблиця 6.6** – Нормування операції

№	Назва операції	Норма часу, годин.
1	Вхідний і вихідний контроль	0,052
2	Мийка лопатки	0,027
3	Піскоструминна обдувка	0,027
4	Напилення лопатки в МАП-2	0,22
	$T_{шт}$	0,326

## 6.2 Техніко-економічне обґрунтування дільниці

### 6. 2.1 Виробнича програма та її матеріальне забезпечення

Основою для розрахунку дільниці з виробництва лопаток турбін середнього тиску є виробнича програма в штуках.

В даному дипломному проєкті проводиться напилення на установці МАП -2 покриття СДП-2 річна програма = 50 000 шт. Розрахунок вартості виробничої програми проведений (Таблиця 6.2).

**Таблиця 6.7** – Виробнича програма виробів на рік

Найменування виробів	Норма часу на одиницю виробу нормо-годин	виробнича програма	
		Одиниць	Нормо-годин
Лопатка ТВ	0,32	50000	16300

### 6.2.2 Розрахунок кількості обладнання, площі дільниці

Розрахунок необхідної кількості обладнання по кожному типу обладнання ведеться за формулою (6.1)

$$G_p = \frac{t \cdot N}{F_{до}}, \quad (6.1)$$

де  $G_p$  - кількість обладнання за розрахунком, одиниць;

$t$  - норма часу операції, нормо-год;

$N$  - річна виробнича програма, шт;

$F_{до}$  - дійсний річний фонд часу роботи обладнання визначається за формулою (6.2).

$$F_{до} = F_{ном}(1 - K_в) \quad (6.2)$$

де  $F_{до}$  - дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$K_в$  - коефіцієнт втрат часу на ремонт і обслуговування устаткування (0,07-0,1);

$F_{ном}$  - номінальний річний фонд роботи обладнання для двозмінній роботи становить 4160 годин згідно з формулою (6.2).

$$F_{до} = F_{ном}(1 - K_в) = 4160(1 - 0,1) = 3744 \text{ години}$$

Відповідно до формули (6.1) розраховуємо необхідну кількість стендів для вхідного і вихідного контролю:

$$G_p = \frac{t \cdot N}{F_{до}} = \frac{0,052 \times 50000}{3744} = 0,69 \text{ шт}$$

Прийняте кількість стендів для вхідного і вихідного контролю встановлюється шляхом округлення до цілої величини  $G_{ор} = 1$  шт. Коефіцієнт завантаження розраховуємо за формулою (6.3):

$$K_з = \frac{G_p}{G_{пр}} = \frac{0,69}{1} = 0,69 \quad (6.3)$$

Відповідно до формули (6.1) розраховуємо кількість шаф витяжних для мийки:

$$G_p = \frac{t \cdot N}{F_{до}} = \frac{0,027 \times 50000}{3744} = 0,35 \text{ шт}$$

Прийняте кількість обладнання встановлюється шляхом округлення до цілої величини  $G_p = 1$  шт. Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання згідно з формулою (6.3):

$$K_3 = \frac{G_p}{G_{пр}} = \frac{0,35}{1} = 0,35$$

Відповідно до формули (6.1) розраховуємо кількість камер для обдування:

$$G_p = \frac{t \cdot N}{F_{до}} = \frac{0,027 \times 50000}{3744} = 0,35 \text{ шт}$$

Прийняте кількість обладнання встановлюється шляхом округлення до цілої величини  $G_{ор} = 1$  шт.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання згідно з формулою (6.3):

$$K_3 = \frac{G_p}{G_{пр}} = \frac{0,35}{1} = 0,35$$

Відповідно до формули (6.1) розраховуємо необхідну кількість установок для вакуумно плазмового напилення МАП-2:

$$G_p = \frac{t \cdot N}{F_{до}} = \frac{0,022 \times 50000}{3744} = 2,91 \text{ шт}$$

Прийняте кількість установок для вакуумно-плазмового напилення МАП-2 встановлюється шляхом округлення до цілої величини  $G_{ор} = 3$  шт.

Розраховуємо коефіцієнт завантаження обладнання згідно з формулою (6.3):

$$K_3 = \frac{G_p}{G_{пр}} = \frac{2,91}{3} = 0,97$$

Розрахунок кількості обладнання, його потужності і коефіцієнт завантаженості занесені в таблицю 6.3

**Таблиця 6.8** – Розрахунковий кількість устаткування

Найменування обладнання	Кількість обладнання		Коефіцієнт завантаження	Потужність, кВт	
	За розрахунок	Прийняте		Одиниці	Всього обладнання
Стенд для вхідного і вихідного контролю	0,69	1	0,69		
Висувною шафа для мийки	0,35	1	0,35		
Камера для обдування	0,35	1	0,35	5	5
Установка МАП-2	2,91	3	0,97	75 *	225
Разом	4,3	6	0,72	-	230

\* - створення вакууму для 1 партії протягом 1 години.

Виробнича площа дільниці розраховується виходячи з кількості обладнання, робочих місць зі збільшенням на 20% на підставі даних таблиці 6.4.

**Таблиця 6.9** – Розрахунок кількості площі для обладнання

Найменування устаткування	Кількість одиниць обладнання	Виробнича площа, м <sup>2</sup>	
		На одиницю обладнання	Загальна
Стенд для вхідного і вихідного контролю	1	5	5
Висувною шафа для мийки	1	5	5
Камера для обдування	1	15	15
Установка МАП-2	3	30	90
Разом	6		110

Загальна площа повинна включати наявність обов'язкових технологічних проходів, проїздів і складських місць.

З урахуванням вимог до планування складально-зварювальних ділянок машинобудування обрані уніфіковані типові секції 12 x 18 м. Таким чином, приймаємо площа дільниці дорівнює 216 м<sup>2</sup>.

### 6.2.3 Розрахунок чисельності персоналу дільниці

Розрахунок чисельності персоналу на нормованих роботах розраховується кількість працівників на установці для наплення МАП-2 за формулою:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^m t \cdot N}{F_{др} \cdot K_{в.н}} = \frac{0,22 \cdot 50000}{1830 \cdot 1,05} = 5,76 \approx 6 \text{ чол.} \quad (6.5)$$

де  $R_0$  - чисельність основних виробничих робітників, чол. ;

$m$  - кількість видів робіт;

$t_i$  - норма часу  $i$ -тій операції, нормо-годин;

$F_{др}$  - дійсний річний фонд часу роботи одного робітника;

$K_{в.н.}$  - коефіцієнт виконання норм виробітку ( $K_{ВН} = 1,05$ ).

Дійсний річний фонд часу роботи робочого визначається за формулою:

$$F_{др} = F_{ном} (1 - h) \quad (6.6)$$

де  $F_{ном}$  - номінальний фонд робочого часу для двозмінній роботи 4160 год.

$h$  - плановий коефіцієнт не виходів робітників на роботу в межах (0,12-0,15)

Відповідно до формули (6.6):

$$F_{др} = F_{ном} (1 - h) = 4160 \times (1 - 0,12) = 3660,8 \text{ годин}$$

Відповідно до формули (6.5) кількість працівників для столу контролю:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^m t \cdot N}{F_{др} \cdot K_{в.н}} = \frac{0,052 \times 50000}{3660,8 \times 1,05} = 1,35 \approx 2 \text{ чол.}$$

Відповідно до формули (6.5) кількість мийників:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^m t \cdot N}{F_{др} \cdot K_{в.н}} = \frac{0,027 \times 50000}{3660,8 \times 1,05} = 0,7 \approx 1 \text{ чол.}$$



#### 6.2.4 Розрахунок матеріальних витрат

Вартість основних і допоміжних матеріалів розраховуються на підставі норм використання і цін. На ділянку з напилування лопаток ТВ надходять такі основні і допоміжні матеріали: Катод витрачається, електрокорунд

**Таблиця 6.11** – Розрахунок вартості основних допоміжних матеріалів

Найменування матеріалу, марка, ГОСТ, розмір	Норма витрат		Ціна на 4 садки (96лопаток) матеріалу, тис грн.	Вартість на програмі тис. Грн.	Вартість на програму за мінусом відходів, тис.грн.	
	На виріб кг	на програму, кг			за преіскурantom	з урахуванням транспортно-заготівельних витрат
Катод СДП-2	0,06	3000	40	20800	20800	21840
Електрокорунд	0,2	10000	0,02	5	5	5,25
Всього					20805	21845,25

Вартість основних пристосувань передбачає наступні розрахунки:

- вартість будівель визначається на основі розрахункової загальної площі ділянки , яка складає 216 м2. При вартість одного квадратного метра 2000,00 грн; - 432000,00 грн;

- вартість споруд становить 5% від вартості будівель; - 21600,00 грн;

- вартість обладнання приведена в (таблиці 6.7) з урахуванням транспортно-заготівельних витрат на монтаж в межах 10-15%;

- вартість цінних інструментів, обладнання, інвентарю 3-5% балансової вартості обладнання;

- вартість транспортних засобів - 3% балансової вартості обладнання.

**Таблиця 6.12** – Розрахунок вартості обладнання

Найменування устаткування	Ціна за одиницю, грн.	Кількість одиниць	Балансова вартість, грн.
Стенд для вхідного і вихідного контролю	12500	1	13750
Установка для напилання МАП - 2	182000	3	600600
Камера для обдування	14000	1	15400
Висувною шафа для мийки	8000	1	8800
Всього			638550

Розрахунок вартості основних засобів, амортизаційних відрахувань і структури основних засобів наведено в (таблиці 6.8).

Норма амортизації встановлюється відповідно до документації і складає:

Для будівель – 5 %

Для споруд – 6,6 7 %

Для обладнання – 20 %

Для цінних інструментів – 40 %

Таблиця 6.13 – Вартість основних засобів

Найменування основних засобів	Балансова вартість, грн.	Структура, %	Срок експлуатації	Амортизаційні відрахування, грн.
Будинки	432000	38,43	45	21600
Споруди	21600	1,92	25	1440
Устаткування	638550	56,8	15	127700
Цінні інструменти, прилади, транспортна візок	31925	2,8	5	12770
Всього	1124075	100	-	163510

#### 6.2.5 Розрахунок фондів заробітної плати працівників

Сума заробітної плати, яка виплачується працівникам підприємства, створює фонд оплати праці. Фонд розраховується за прийнятими формами і системами оплати праці.

Оплата праці основних робітників здійснюється за відрядною формою оплати праці; допоміжних робітників за погодинною формою оплати. Керівники фахівці оплачуються по окладній системі.

Плановані доплати і премії приймаються в розмірі 50-60% від основної заробітної плати. Премії від прибутку становить для робітників 15% до основної заробітної плати, для керівників і фахівців - 40%.

Основний фонд заробітної плати основних робітників розраховується за формулою:

$$Z_{\text{тар}} = N \cdot \sum_{i=1}^b P_i \quad (6.7)$$

де  $b$  - кількість операцій технологічного процесу;

$P_i$  - розцінка на  $i$ -ту операцію, грн .;

$N$  - річна виробнича програма виробів, шт.

Розцінка на операцію розраховується за формулою;

$$P_i = C_i t_i, \quad (6.8)$$

$$P_i = 0.052 \times 50 = 2,6$$

$$P_i = 0.027 \times 45 = 1,22$$

$$P_i = 0.22 \times 55 = 1,21$$

де  $C_i$  - годинна тарифна ставка розряду, грн .;

$t_i$  - нормо-час на операцію, нормо-год.

**Таблиця 6.14** – Розрахунок розцінок за операціями

Назва операції	Нормо час, ч	Розряд	Годинна тарифна частина	Розцінка, грн.
Вхідний і вихідний контроль	0,052	4	50	2,6
Мийка	0,027	2	45	1,22
Піскоструминна обдування	0,027	2	50	1,23
Напилення на МАП-2	0,22	6	55	1,21
Всього				6,26

Відповідно до формули (6.7) основний фонд заробітної плати основних робітників дорівнює:

$$Z_{\text{осн}} = N \cdot \sum_{i=1}^b P_i = 50000 \times 6,26 = 313000 \text{ грн.}$$

Основний фонд заробітної плати допоміжних працівників, які перебувають на погодинній оплаті праці розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = C_i F_{\text{др}} K_{\text{тар.ср}} R_{\text{доп}} \quad (6.9)$$

де  $C_i$ - годинна тарифна ставка  $i$ -того разряда;

$K_{\text{тар.ср}}$ - середній тарифний коефіцієнт;

$F_{\text{др}}$  - дійсний річний фонд часу робітників, ч;

$R_{\text{доп}}$  - число допоміжних працівників.

Відповідно до формули (6.9) тарифний фонд заробітної плати буде дорівнює:

$$Z_{\text{осн}} = C_i F_{\text{др}} K_{\text{тар.ср}} R_{\text{доп}} = 45 \times 3660,8 \times 1,35 \times 4 = 889575 \text{ грн.}$$

**Таблиця 6.15** – Фонд оплати праці

Категорії персоналу	Чисельність персоналу	Фонд заробітної платні			Премія з прибутку, грн	Середня з/п, грн	Фонд оплати праці,	Соц-страх. грн.
		Основна з/п	Додаткова з/п	Всього				
I. Основні виробничі робітники	12	313000	156000	469000	36000	2750	396000	146500
II. Допоміжні	4	78849	39424,5	118273	11830	2710	130103	48138
III. Керівники	2	52800	26400	79200	7920	3630	87120	32234,4
Всього	18	444649	185824,5	557473	55750	9090	613223	226892

Складаємо зведену відомість по праці і заробітної плати всіх категорій робітників, чисельність працівників і їх середня заробітна плата наведені в таблиці (6.10).

Додаткова зарплата розраховується як 50% від основної заробітної плати.

Премії з прибутку як 30% від основної заробітної плати.

Відрахування на соцстрахування як 37% від фонду оплати праці.

### 6.3 Собівартість виробу

Собівартість виробу визначається усіма витратами дільниці за такими статтями прямих і непрямих витрат.

1. Основні і допоміжні матеріали (таблиця 6.5); 21845,25 тис. Грн.
2. Закупівельні комплектуючі вироби і напівфабрикати; 7500 тис. Грн.
3. Основна заробітна плата основних робітників, 313000 грн.
4. Допоміжна заробітна плата основних 40 % від основної заробітної плати основних робітників,  $313000 \times 0.4 = 125200$  грн
5. Відрахування на соціальні заходи (таблиця 6.9); 103500 грн.
6. Паливо і енергія на технологічні цілі. Витрата енергії визначається за формулою:

$$C_{\text{эт}} = P \cdot t \cdot K_{\text{тар.ср}} \cdot R_{\text{доп}} \quad (6.10)$$

де  $P$  - потужність, що витрачається на 1 годину роботи; = 230 кВт.  $P$

$t_{\text{шт}}$  - штучний час на створення вакууму на один виріб (на 24 лопатки - 1 година).

$\text{Ц}$  - ціна за 1 кВт;  $\text{Ц} = 2.68$  грн./кВт год).

$N$  - програма випуску виробів;  $N = 50000$  шт. / Рік.

$$C_{\text{эт}} = 0,04 \times 16300 \times 2,68 = 1747 \text{ грн.}$$

7. Витрати по утриманню та експлуатації обладнання, (за заводськими даними складають 400 % від основної заробітної плати основних робочих)  
 $313000 \cdot 4 = 1252\ 000$  грн.

**Таблиця 6.16** – Калькуляція собівартості продукції

№	Статті витрат	Витрати	
		Всього на програм, тис. грн.	На одиницю, грн.
1	Основні і допоміжні матеріали	21845,25	4,36
2	Закупівельні комплектуючі та напівфабрикати	7500	1,5
3	Основна заробітна плата основних робітників	313000	62,6
4	Додаткова заробітна плата основних робітників	125200	25,04
5	Відрахування на соц.страх	194060	38,82
6	Паливо і енергія на технологічні цілі	1747	0,35
7	Витрати по утриманню та експлуатації обладнання -400%	1252 000	250,4
8	Загальновиробничі витрати - 150%	469500	94
Виробнича собівартість		2384852,25	476,97
9	Адміністративні витрати 150%	469500	94
Повна собівартість		2854352,25	570,85

8. Загальновиробничі витрати.

Загальновиробничі витрати становлять 150 % від основної заробітної платні виробничих робітників.

$$ЗВ_i = \frac{L}{100} \cdot З_{oi},$$

$$L = 3 \%$$

$$ЗВ = 313000 \times 1.5 = 469500 \text{ грн.}$$

9. Адміністративні витрати (за заводськими даними складають 150 % від основної заробітної плати основних робочих)  $313000 \times 1,5 = 469500$  грн.

Собівартість одиниці продукції розраховується на підставі складання калькуляції собівартості продукції (таблиця 6.16).

Повна собівартість прийнята 570,85 грн. 2854352,25 грн. - на програму.

#### 6.4 Розрахунок економічного ефекту

Розраховується економічна ефективність інноваційного проєкту за такими показниками за такими показниками:

- економія витрат в виробництві;
- економія експлуатаційних витрат.

$$E = (C_б \cdot K_e - C_н) \cdot N \quad (6.11)$$

де  $C_б$  – собівартість базового виробу , грн;

$C_н$ - собівартість нового виробу , грн;

$K_e$  – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу.

Відповідно до формули:

$$E = (460,2 \times 1,27 - 570,85) \times 50000 = 680200 \text{ грн.}$$

Економічний ефект досягається через поліпшення якості напилення, за рахунок, якого зменшується час напилення і упускається операція зачистки на яку потрібно основний робочий і спеціальне обладнання.

## 6.5 Аналіз показників і висновки

Фондовіддача розраховується за формулою:

$$\Phi_{\text{отд}} = \frac{2854352.25 - 7500}{1124075} = 2,53 \text{ грн. / грн.},$$

Показники економічної ефективності наведені в таблиці 6.17

Фондомісткість розраховується за формулою:

$$\Phi_{\text{эмк}} = \frac{\sum \text{ОФ}}{\sum \text{ПС}} \quad (6.13)$$

$$\Phi_{\text{эмк}} = \frac{1124075}{2854352.25 - 7500} = 0,39 \text{ грн. / грн.},$$

Продуктивність праці одного робітника визначається за формулою:

$$\text{ПП} = 3_2 \frac{C_n}{R}, \quad (6.14)$$

де  $C_n$  - Повна собівартість товару в, грн;

$R$  - Чисельність людей.

$$\text{ПП} = \frac{2854352.25 - 7500}{18} = 158158,45 \frac{\text{грн.}}{\text{грн.}}$$

**Таблиця 6.17 – Економічні показники**

Найменування показника	Значення показника
1. Річний випуск продукції	
за кількістю, шт	50000
по трудомісткості, нормо-годин	16300
в грошовому вираженні тис. грн.	4025645
2. Виробнича площа ділянки , м2	216
3. Вартість основних фондів, тис. Грн.	1124075
4. Кількість працівників, чол:	18
- основних працівників	12
- допоміжних працівників	4
- керівників	2
5. Фонд оплати праці, тис. Грн.	613,3
6. Середня заробітна плата працюючих грн.	2838
7. Продуктивність роботи працівника, тис грн. / Чол.	124,7
8. Фондовіддача грн. / Грн.	2,53
9. Коефіцієнт завантаженості устаткування	0,71
10. Фондомісткість грн. / Грн.	0,39
11. Собівартість одиниці продукції грн.	570,85
12. Економічний ефект на рік, тис. Грн.	680200

## 6.6 Планування дільниці

Розміщення цеху і всіх його виробничих і допоміжних відділень, адміністративно-конторських і побутових приміщень повинно по можливості повністю задовольняти всі вимоги. У розрахунок також необхідно брати специфіку виробництва.

Для проєктування дільниці вибираємо загальноприйнятту на підприємствах схему постановки з поздовжнім напрямком виробничого потоку (рисунок 6.2).

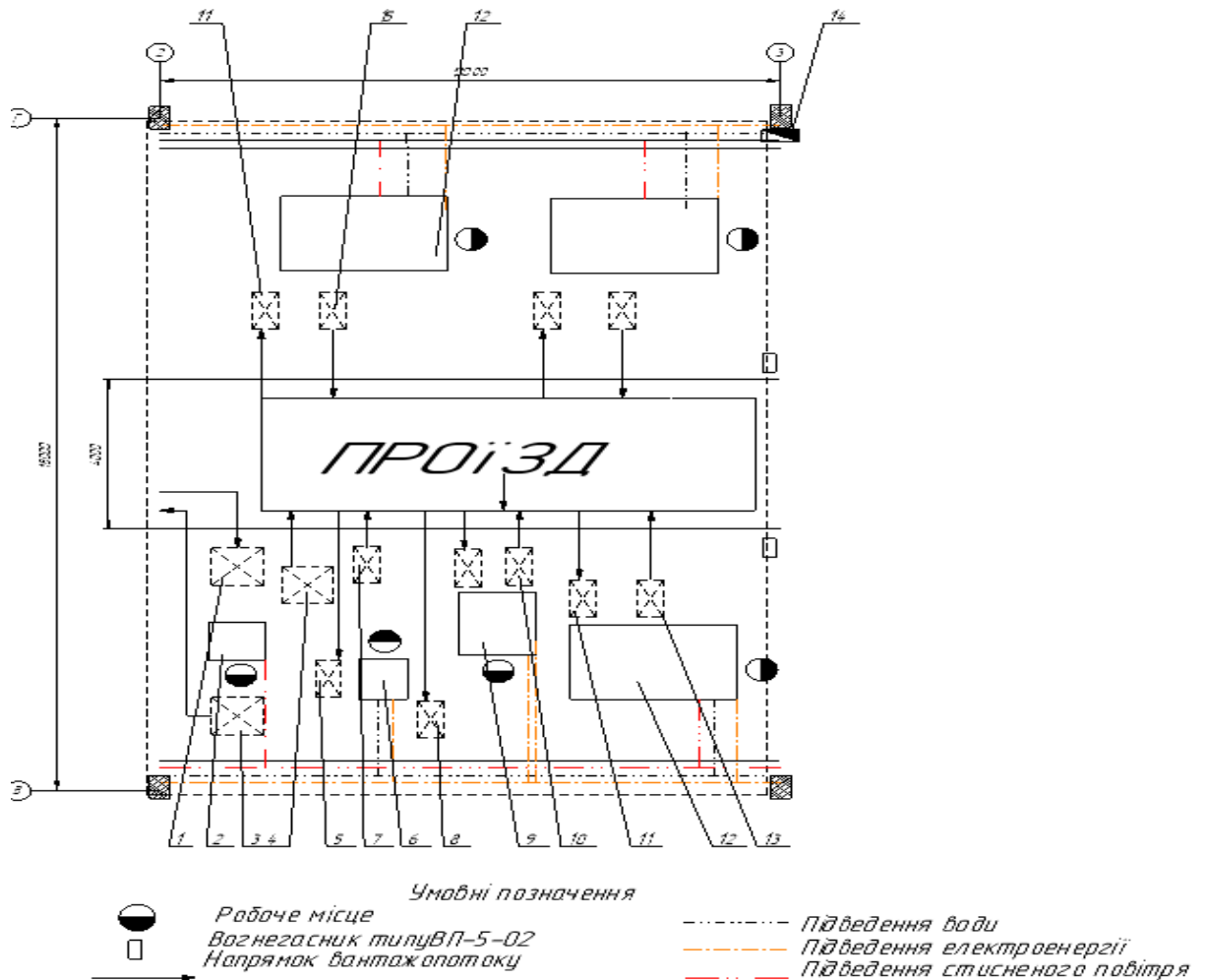


Рисунок 6.2 – Планування дільниці

1. Складське місце для лопаток що надійшли з цеху №3 2. Стіл вхідного контролю 3. Складське місце для лопаток , що не пройшли вхідний контроль 4.Складське місце для лопаток, що пройшли вхідний контроль 5.Складські місця для немитих лопаток 6. Мийна машина 7.Складські місця для помитий лопаток 8.Складські місця для неочищених лопаток 9. Камера для обдування 10. Складські місця для очищених лопаток 11. Складські місця для ненапиленних лопаток 12. Установка для напилення МАП-2 13. Складські місця для напиляним лопаток 14. Пожежний щит

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі наданні основні заходи з охорони праці при вакуумному напыленні робочих лопаток турбін ГТД.

### 7.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», [ 31] а саме:

- вимог щодо організації та забезпечення безпеки на робочих місцях, що може бути пов'язано з не проведенням організаційних заходів щодо навчання та перевірки знань з охорони праці, інструктажів, не наданням інформації про можливі небезпеки;

- вимог щодо облаштування робочих зон, що може бути пов'язано з незадовільним станом устаткування, захисних пристроїв, відсутності схем евакуації, захаращеність аварійних виходів.

б) можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

в) небезпеки, пов'язані з раптовим руйнуванням судин для зберігання робочих газів під тиском через використання балонів термін придатності яких минув; необережне поводження з балонами; неправильного їх зберігання;

порушення правил експлуатації балонів. Це може стати причиною серйозних руйнувань, важким механічним травмам або до летального результату.

г) можливість отруєння захисними робочими газами в слідстві втрати герметичності трубопроводів, які подають робочі газы (аргон). Причинами можуть бути: механічне пошкодження трубопроводів, неправильне їх з'єднання або використання не відповідають гнучких шлангів.

г) небезпеки які пов'язанні з підготовкою лопаток під іонно плазмово напилення , а саме:

- ушкодження органів дихання та зору при потраплянні мікро порошку МП500;

- отруєння випаровуванням ацетону.

д) можливість отримання механічних травм при зборці і установці садки в робочу камеру МАП2.

е) небезпеки які пов'язанні з дослідженням мікроструктури, з метою визначення щільності покриття , а саме:

- небезпеки які пов'язанні з підготовкою зразків;

- небезпеки які притаманні роботі з оптичними мікроскопами.

є) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань .

ж) незадовільний рівень освітлення в приміщенні дослідницької ділянки в наслідок хибного розрахунку системи загального штучного освітлення.

з) небезпеки які пов'язані з можливим виникненням НС , а саме:

- можливість загорання;

- порушення порядку утримання захисних споруд по цивільному захисту;

- порушення норм санітарної гігієни.

## 7.2 Заходи забезпечення безпеки

а) згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [ 31] передбачено:

- усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15.

Роботодавець повинен забезпечити повну і вичерпну інформацію працівників з питань охорони праці як відносно підприємства в цілому так і відносно специфіки виконуваних робіт на робочих місцях, де зазначені можливі небезпечні ситуації та заходи для їх запобігання. Найбільш ефективним є проведення відповідних інструктажів (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий) .

- вимоги до облаштування робочих зон передбачають справний робочий стан устаткування і захисних пристроїв, сприяння безпечних умов для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників, можливість регулярного контролю і перевірок здатності функціонування захисних засобів і пристроїв, призначених для запобігання небезпеці або їх усунення.

Шляхи пересування в робочій зоні, включаючи сходи, стаціонарні переходи, аварійні виходи повинні бути позначені відповідними знаками, мати дороговкази, бути так розташовані і мати такі розміри, щоб прохід або проїзд був легким і безпечним. Наприклад: підлоги приміщень не повинні мати нерівностей, отворів або небезпечних ухилів, двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись, так, щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів, захаращеність робочих зон, шляхів пересування, аварійних виходів категорично забороняється. - виробниче приміщення повинні мати достатню площу і висоту,

для раціонального планування робочих місць відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания»[32].

б) згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [ 33] для безпечного проведення робіт необхідно виконати наступні організаційні заходи:

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- видати наряд або розпорядження;
- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;
- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;
- забезпечити нагляд при виконанні робіт;
- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;
- забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення.

До основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустановки, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;

- організація безпечної експлуатації електроустановок.

в) для попередження руйнування судин під тиском слід виконувати наступні вимоги ДНАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском» [ 33]

Недопуск балонів без відповідного маркування або з нечітким маркуванням: на верхній сферичній частині горловини марковані: номер, ємність балону, робочий та випробувальний тиск, дата випробування та дата наступного випробування, наявність паперового сертифікату. Важливим є забарвлення балонів;

Балони повинні зберігатися в спеціальних приміщеннях, які є легкоруйнуючимися. Допускаються зберігання балонів під навісом. Зберігання в одному приміщенні кисневих та ацетиленових балонів неприпустимо;

Зберігання в вертикальному положенні на спеціальних пристосуваннях з кріпленням хомутами;

Переміщення балонів допускається тільки в спеціальних візках. При транспортуванні наявність запобіжного ковпака є обов'язковою;

Експлуатація балонів потребує певного часу витримки в умовах ділянки для вирівнювання температури;

Для з'єднання вентиля балона з технологічним обладнанням використовують гнучкі шланги. З'єднання виконуються обмідненим гайковим ключем для уникнення іскроутворення. Особливу увагу слід приділяти усуненню жирових та масляних забруднень. Перед комутацією слід продути вентиль, відкривши його на  $\frac{1}{4}$  оберту;

Відстань від будь-якого джерела тепловипромінення  $\geq 5$  м. Відкриття вентиля має бути плавним. Тиск на манометрі редуктора не має перевищувати технологічний. Протікання газу неприпустиме (перевірити пробою на омилування);

Випрацьовувати повністю газ не можна (залишковий тиск має складати 1...2 атм). Для виключення надмірного підвищення тиску внаслідок надмірного нагріву балонів (40 °C) необхідно передбачати спреєрне охолодження.

При зварюванні в середовищі захисних газів можна застосовувати тільки редуктори згідно ГОСТ Р 54791-2011 «Обладнання для газового зварювання, різання та споріднених процесів» з справними манометрами.

При експлуатації редуктора можуть виникнути наступні несправності:

Самоплив – поступання газу при закритому вентилі, – такий редуктор має бути заміненим;

Замерзання редуктора – відігрівання відкритим полум'ям заборонено, лиш гарячою водою;

Спрацьовуваність різьби на штуцерній або відкидній гайці – потребує негайної заміни.

г) Для забезпечення безпечної експлуатації трубопроводів роботодавець повинен вжити заходів у відповідності з НПАОП0.00-1.11-98 «Правила побудови та безпечної експлуатації технологічних трубопроводів» [ 34] щодо:

- первинного технічного огляду перед введенням нового трубопроводу в експлуатацію;

- постійного контролю за технологічними параметрами середовища в трубопроводах і щоденного огляду трубопроводів;

- випробування трубопроводів на міцність та щільність з визначенням місць пошкоджень трубопроводу перед періодичним технічним оглядом;

- пневматичного випробування трубопроводів на щільність з визначенням падіння тиску та місць пошкодження після ремонту або модернізації трубопроводів, а також після періодичного технічного огляду або експертного обстеження, якщо під час періодичного технічного огляду та експертного обстеження трубопроводи піддавалися зварюванню або розбиранню;

- періодичного технічного огляду трубопроводів;

- позачерговий технічних оглядів після ремонту, консервації, модернізації трубопроводів, а також у разі виявлення під час зовнішнього візуально-оптичного огляду пошкоджень;

- експертного обстеження (технічного діагностування) разом з позачерговим технічним оглядом трубопроводів згідно з вимогами Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження і ДСТУ 4046-2001 «Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги» (далі - ДСТУ 4046-2001) у разі виникнення аварій на трубопроводах та після ліквідації наслідків аварії або незадовільного технічного стану трубопроводу, визначеного під час періодичного технічного огляду трубопроводу, а також для визначення технічних характеристик та параметрів трубопроводів, у тому числі граничного строку експлуатації трубопроводів (якщо вони відсутні в паспорті трубопроводу) або досягнення граничного строку експлуатації трубопроводів, визначеного в паспорті трубопроводу;

- дотримання вимог безпечної експлуатації трубопроводів, визначених під час технічних оглядів або експертних обстежень (технічних діагностувань);

- своєчасного усунення нещільностей;

Особи, які здійснюють технічне обслуговування трубопроводів на виробничих дільницях, повинні забезпечити:

- щоденний зовнішній візуально-оптичний огляд трубопроводів і запис його результатів в експлуатаційний журнал;

- усунення несправностей, визначених під час щоденного зовнішнього візуально-оптичного огляду;

- виконання приписів відповідальної особи в експлуатаційному журналі;

- підготовку трубопроводів до і після ремонту, технічного огляду, експертного обстеження або відключення ділянок трубопроводу;

- зберігання експлуатаційного журналу трубопроводів.

г) захист від шкідливих газів, паро- та пило-виділень передбачає обладнання місцевої витяжної вентиляції які виготовлені в відповідності до ГОСТ 32548-2013 для відсосу отруйних речовин безпосередньо від місць їх утворення. Місцеві відсоси влаштовують конструктивно вбудованими та зблокованими з обладнанням так, що агрегат не можна запустити при виключеному відсосі.

- при роботі з отруйними і забруднюючими речовинами використовують спецодяг – комбінезони, халати і фартухи;

- для захисту від лугів і кислот – гумове взуття і рукавички ГОСТ 5375-79;

- для захисту шкіри рук, обличчя та шиї застосовують захисні пасти: антитоксичні, маслостійкі та водостійкі;

- очі від можливих опіків і подразнень захищають окулярами з герметичною оправою, масками та шоломами;

- для захисту органів дихання використовують фільтруючі та ізолюючі прилади (протигази і респіратори).

д) для виключення механічного травмування передбачається ряд заходів:

- наявність знаків безпеки;

- проведення навчання і перевірки знань з охорони праці;

- забезпечення працівників спеціальним одягом і спеціальними засобами індивідуального захисту.

Робітники дільниці повинні забезпечуватись захисним спецодягом та індивідуальними захисними засобами згідно ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук.

Классификация», брезентові захисні костюми згідно ГОСТ 12.4.221-2002 «ССБТ Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты. Общие технические требования», рукавиці брезентові згідно ГОСТ 12.4.010-75 «ССБТ Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия», спеціальне взуття (ботинки, напівсапоги) із захисними носками згідно ДСТУ 10998-74 «ССБП Взуття спеціальне шкіряне для захисту від механічних пошкоджень», спеціальні окуляри захисні - ГОСТ 12.4.038-83.

Перед початком роботи необхідно: оглянути робоче місце, привести його в порядок, звільнити проходи і не захаращувати їх, оглянути, привести в порядок і надіти засоби індивідуального захисту, переконатися в тому, що підлога суха;

е) правильне використання мікроскопа виходить тільки за умови раціональної комбінації об'єктів, окулярів. При вживанні їх треба враховувати, тому що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур.

Крім правильної комбінації об'єктів і окулярів, не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило, при роботі з об'єктивами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри, а з апохроматами можна працювати і без них.

Об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не чіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

\

### 7.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці визначаються відповідно до вимог Державних санітарних норм і правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», зареєстрованих МЮ України 06.05.2014 р. за № 472/25249, з урахуванням виявлених, в процесі аналізу потенційних небезпек, небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Санітарний клас виробництва і розміри його санітарно-захисної зони визначаються з урахуванням наявних шкідливих виробничих факторів, згідно вимог ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів».

Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних).

Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона.

Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна від

40 % до 60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;

- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: від 15 °С до 24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;

- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна від 21 °С до 23 °С, допустима від 18 °С до 27 °С; відносна вологість: оптимальна від 40 % до 60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше від 0,2 м/с до 0,4 м/с;

- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура від 17 °С до 29 °С; допустима відносна вологість: 65 % при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: від 0,2 м/с до 0,4 м/с.

Далі, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», визначається оптимальний склад і тип систем вентиляції, кондиціонування та опалення, які забезпечують підтримку передбачених параметрів мікроклімату і чистоти повітря.

Ці параметри забезпечуються системами загальнообмінної й місцевої вентиляції та опалення, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Для опалення виробничих приміщень в холодну пору року, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» передбачена система центрального опалення, за допомогою повітряних опалювальних установок.

При необхідності, передбачається колективний та індивідуальний захист від впливу шкідливих речовин, які знаходяться в повітрі.

з) для організації достатнього освітлення робочої зони в проєкті передбачено:

- перевірка освітленості робочої зони і справність освітлювальних ламп по ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампи електричні. Вимоги безпеки »,

передбачено влаштування системи загального штучного рівномірного освітлення в поєднанні з природним, і має бути не менше 300 люкс ДБН. В. 2.5-28-2006 Збірник 28. «Природньо и штучне освітлення».

- Вибір типу ламп і необхідної їх кількості для рівномірного освітлення поверхонь відповідно до СНиП 11-4-79 «Природне і штучне освітлення. Норми проєктування» [ 35]

Алгоритм вибору типу і кількості ламп:

- 1) Вибираємо систему освітлення - загальне і комбіноване;
- 2) Визначаємо рівень нормованої освітленості (найменша освітленість залежить від розряду зорових робіт, фону, системи освітлення - 300 люкс;
- 3) Вибір джерела світла - газорозрядні лампи ДРІ 125, світловий потік лампи  $\Phi = 6500$  лм;
- 4) Вибираємо тип світильника для ламп ДРІ 125 - РПП;
- 5) Розраховуємо сумарний світловий потік на ділянці.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot Z}{\eta}, \text{ лм} \quad (7.1)$$

де  $E_n$  - нормоване значення освітленості, лк;

$S$  - площа поверхні, що освітлюється, м<sup>2</sup>;

$k_z$  - коефіцієнт запасу;

$Z$  - коефіцієнт нерівномірності освітленості;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{300 \times 30 \times 1,6 \times 1,15}{0,43} = 38511,62 \text{ лм}$$

- 1) Визначаємо кількість ламп:

$$N_{л} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{\Phi}, \text{ Шт.} \quad 7.2)$$

$$N_{л} = \frac{38511,62}{6500} = 5,92 \text{ шт.} \sim 6$$

Для рівномірної освітленості світильники розміщуємо в 2 ряди по 3 лампи в кожному ряду.

#### 7.4 Заходи забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях

-Заходи з пожежної безпеки

Засоби виявлення займань та пожеж передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».

В даний час можуть використовуватися:

- охоронно-пожежна сигналізація (ОПС) неадресного типу;
- порогова охоронно-пожежна сигналізація;
- адресно-порогова охоронно-пожежна сигналізація.

Порядок створення і утримання фонду захисних споруд цивільного захисту та ведення його обліку визначається Кабінетом Міністрів України.

Проектування, будівництво, пристосування і розміщення захисних споруд та об'єктів подвійного призначення здійснюються згідно з нормами, які розробляються відповідно до Закону України «Про будівельні норми».

Вимоги щодо утримання та експлуатації захисних споруд визначаються Державною службою України з надзвичайних ситуацій.

Утримання захисних споруд цивільного захисту у готовності до використання за призначенням здійснюється суб'єктами господарювання, на балансі яких вони перебувають [у тому числі споруд, що не увійшли до їх статутних капіталів у процесі приватизації (корпоратизації)], за рахунок власних коштів.

У разі використання однієї захисної споруди кількома суб'єктами господарювання вони беруть участь в утриманні споруди відповідно до укладених між ними договорів.

З моменту виключення захисної споруди із фонду споруд цивільного захисту вона втрачає статус захисної споруди цивільного захисту.

Захисні споруди цивільного захисту державної та комунальної власності не підлягають приватизації або відчуженню.

Захисні споруди у мирний час можуть використатися для задоволення господарських, культурних та побутових потреб у порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України.

Тому вони можуть передаватися в оренду із збереженням цільового призначення таких споруд, крім тих, що перебувають у постійній готовності до використання за призначенням, а саме:

- в яких розташовані пункти управління;
- призначених для укриття працівників суб'єктів господарювання, що мають об'єкти підвищеної небезпеки;
- розташованих у зонах спостереження атомних електростанцій та призначених для укриття населення під час радіаційних аварій.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною

небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «СигналВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м<sup>2</sup>, тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м<sup>2</sup> площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

- Заходи захисту у надзвичайних ситуаціях.

Порушення вимог цивільного захисту при проектуванні та будівництві промислових об'єктів, що може призвести до катастрофи.

Стійкість роботи промислових об'єктів в умовах надзвичайної ситуації значною мірою залежить від того, у якому об'ємі були виконані вимоги норм проектування інженерно-технічних заходів цивільного захисту до розміщення об'єктів, плануванню міст, до будівництва виробничих будівель і споруд, систем постачання водою, газом і електроенергією.

Вимоги норм проєктування спрямовані на зниження можливого збитку, втрат серед населення та створення кращих умов для проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відбудовних робіт у можливих осередках ураження, а отже, сприяють підвищенню стійкості об'єктів.

Об'єкти господарчої діяльності, які мають важливе значення для національної економіки і оборони держави, належать до відповідних категорій цивільного захисту – особливої важливості, першій або другій категоріям.

Норми інженерно-технічних заходів цивільного захисту поширюються:

- на категоровані по цивільному захисту міста та окремо розташовані об'єкти особливої важливості і першої категорії (1 кат. – Запоріжжя і АЕС, 3 кат. – Мелітополь);

- на об'єкти, розташовані в категорованих містах, а також на території, де можливі руйнування та ураження людей (місця затоплення);

- на всю територію України, якщо це стосується захисту населення від радіоактивного, хімічного або бактеріологічного зараження місцевості.

Контроль виконання вимог норм інженерно-технічних заходів цивільного захисту здійснюють штаби цивільного захисту.

Інженерний захист територій включає:

- проведення районування територій за наявністю потенційно небезпечних об'єктів і небезпечних геологічних, гідрогеологічних та метеорологічних явищ і процесів, а також ризику виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ними;

- віднесення міст до відповідних груп цивільного захисту та віднесення суб'єктів господарювання до відповідних категорій цивільного захисту;

- розроблення та включення вимог інженерно-технічних заходів цивільного захисту до відповідних видів містобудівної і проєктної документації та реалізація їх під час будівництва і експлуатації;

- урахування можливих проявів небезпечних геологічних, гідрогеологічних та метеорологічних явищ і процесів та негативних наслідків

аварій під час розроблення генеральних планів населених пунктів і ведення містобудування;

- розміщення об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням наслідків аварій, що можуть статися на таких об'єктах;

- розроблення і здійснення заходів щодо безаварійного функціонування об'єктів підвищеної небезпеки;

- будівництво споруд, будівель, інженерних мереж і транспортних комунікацій із заданими рівнями безпеки та надійності;

- будівництво протизсувних, протиповіневих, протиселевих, протилавинних, протиерозійних та інших інженерних споруд спеціального призначення, їх утримання у функціональному стані;

- обстеження будівель, споруд, інженерних мереж і транспортних комунікацій, розроблення та здійснення заходів щодо їх безпечної експлуатації.

Здійснення заходів інженерного захисту територій покладається на суб'єктів забезпечення цивільного захисту.

За результатами визначення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій внаслідок небезпечних геологічних, гідрогеологічних та метеорологічних явищ і процесів, а також на об'єктах підвищеної небезпеки, ведеться Державний реєстр небезпечних територій. [36]

Вимоги інженерно-технічних заходів цивільного захисту, дотримання яких обов'язкове під час розроблення містобудівної та проєктної документації, визначаються відповідно до Закону України «Про будівельні норми».

Радіаційний і хімічний захист населення і територій включає:

- виявлення та оцінку радіаційної і хімічної обстановки;

- організацію та здійснення дозиметричного і хімічного контролю;

- розроблення та впровадження типових режимів радіаційного захисту;

- використання засобів колективного захисту;

- використання засобів індивідуального захисту, приладів радіаційної та хімічної розвідки, дозиметричного і хімічного контролю аварійно-рятувальними службами, формуваннями та спеціалізованими службами

цивільного захисту, які беруть участь у проведенні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, гасінні пожеж в осередках ураження радіаційно і хімічно небезпечних об'єктів та населення, яке проживає у зонах небезпечного забруднення;

- проведення йодної профілактики рятувальників, які залучаються до ліквідації радіаційної аварії, персоналу радіаційно небезпечних об'єктів та населення, яке проживає в зонах можливого забруднення, радіоактивними ізотопами йоду з метою запобігання опроміненню щитоподібної залози;

- надання населенню можливості придбання в особисте користування засобів індивідуального захисту, приладів дозиметричного та хімічного контролю;

- проведення санітарної обробки населення та спеціальної обробки одягу, майна і транспорту;

- розроблення загальних критеріїв, методів та методик спостережень щодо оцінки радіаційної і хімічної обстановки.

Радіаційний і хімічний захист населення і територій забезпечується:

- визначенням суб'єктів господарювання, на яких обладнуються місця для проведення санітарної обробки населення та спеціальної обробки одягу, майна і транспорту;

- завчасним накопиченням і підтриманням у готовності:

- а) засобів колективного та індивідуального захисту;

- б) приладів радіаційної та хімічної розвідки, дозиметричного і хімічного контролю;

- в) засобів фармакологічного протирадіаційного захисту для йодної профілактики населення, рятувальників та персоналу радіаційно небезпечних об'єктів радіоактивними ізотопами йоду з метою запобігання опроміненню щитоподібної залози.

Здійснення заходів радіаційного і хімічного захисту та його забезпечення покладається на суб'єктів забезпечення цивільного захисту.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання даного дипломного проєкту можна зробити наступні висновки:

- дано аналіз конструктивно-технологічними особливостями і умовами експлуатації лопаток турбін. Складено технічні вимоги на виготовлення і випробування виробу;

- проведено аналіз впливу умов експлуатації на механічні властивості сплаву (ЖС6У-ВІ) з якого виготовлено виріб.

- розроблений більш сучасний технологічний процес напилення в порівнянні з технологічним процесом базового підприємства. Розроблена технологія дозволяє вести напилення більш рівномірно, знизити трудомісткість виготовлення виробу, зменшити його собівартість, поліпшити якість покриття, що наноситься.

- вибрано обладнання та режими роботи.

- спроектовано діляницю для напилення лопаток турбіни середнього тиску.

- розраховані техніко-економічні показники запропонованих розробок, отриманий річний економічний ефект в сумі 680200 грн.

Передбачені заходи з охорони праці для забезпечення безпеки робітників.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Богуслаев, В. А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД [Текст] / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко. – К. : Издательская фирма «Манускрипт», 1993. – 332 с.
2. Дриггс, И. Г. Авиационные газовые турбины [Текст] / И. Г. Дриггс, Панкастер О. Е, Г. Г. Миронова. – М. : Оборонгиз, 1957. – 265 с.
3. Жирицкий, Г. С. Авиационные газовые турбины [Текст] / Г. С. Жирицкий. – М. : Оборонгиз, 1950. – 511 с
4. Сулима, А. М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин [Текст] / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 240 с.
5. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник для студентов вузов [Текст] / А. А. Маталин. – М. : Машиностроение, 1985. – 512 с.
6. Богуслаев, В. А. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД [Текст] / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, П. Д. Жеманюк, Г. В. Пухальская, Д. В. Павленко, В. П. Бень. – Запорожье. : ОАО «МоторСич», 2005 г. – 559 с.
7. Доронин, Ю. В. Причины образования дефектов на профиле пера титановых лопаток при полировании [Текст] / Ю. В. Доронин, В. Ф. Макаров // МиТОМ. – 1991. – №12. – С. 17 – 19.
8. Будиновский, С. А. Жаростойкие ионо-плазменные покрытия для лопаток турбин из никелевых сплавов [Текст] / С. А. Будиновский, С. А. Мобояджан, А. М. Гаямов, А. А. Косьмин // МиТОМ. – 2008. – №6. – С. 31 – 36.
9. Маталин, А. А. Технология машиностроения [Текст] : Учебник для студентов вузов / А. А. Маталин. – М. : Машиностроение, 1985. – 512 с.

10. Биковський, О. Г. Довідник зварника [Текст] / О. Г. Биковський, І. В. Пінковський. – К. : Техніка, 2002. – 336 с.
11. Быковский, О. Г. Справочник сварщика [Текст] / О. Г. Биковський, В. Р. Петренко, В. В. Пешков. – М. : Машиностроение, 2011 – 336 с.
12. Красовский, А. И. Основы проектирования сварочных цехов [Текст] / А. И. Красовский. – М. : Машиностроение, 1980. – 319 с.
13. Савинов, А. И. Курсовое и дипломное проектирование по организации и планированию предприятий. Нормативные и справочные материалы [Текст] / А.И. Савинов. – М. : Металлургия, 1970. – 144 с.
14. Зорин, Ю. М. Сварка в машиностроении. Справочник [Текст] / Ю. М. Зорин. – М. : Машиностроение, 1979. – 512 с.
15. Акулов, А. И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки [Текст] / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков, Г. В. Полевой, А. М. Рыбачук, Г. Г. Чернышов, Б. Ф. Якушин. – М. : Машиностроение, 2003. – 560 с.
16. Биковський, О. Г. Зварювання та різання кольорових металів [Текст] : Довідковий посібник / О. Г. Биковський. – К. : Основа, 2011. – 392с.
17. Мубояджян, С. А. Нанесение защитных покрытий на детали ионно-плазменным методом [Текст] / С.А. Мубояджян, Е. Н. Каблов, С. А. Будиновский, Я. А. Помелов // Авиационная промышленность. – 1997. №3. – С. 65 – 70
18. Мубояджян, С. А. Конденсированные и конденсационно-диффузионные покрытия для лопаток турбин из жаропрочных сплавов с направленной кристаллической структурой [Текст] / С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский // МиТОМ. – 1996. №3. – С. 15 – 18
19. Скубачевский, Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели [Текст] : Учебник для студентов авиационных вузов / Г. С. Скубачевский. – М. : Машиностроение, 1969 – 544 с.

20. Покропивний, С. Ф. Економіка підприємства. Збірник практичних задач і конкретних ситуацій [Текст]: навчальний посібник / С. Ф. Покропивний, Г. О. Швиданенко, О. С. Федонін. – К. : КНЕУ, 2009. – 328 с.
21. Демин, Ф. И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей [Текст] : Учеб. Пособие / Ф. И. Демин, Н. Д. Проничев, И. Л. Шитарев. – М. : Машиностроение, 2002. – 328 с.
22. Колощук, Э. М. Объемная виброабразивная обработка деталей ГТД [Текст] / Э. М. Колощук, А. Г. Шаботенко, С. В. Хазанович // Авиаци. пром. – 1973. – №6. – С. 13 – 16
23. Бойчик, І. М. Економіка підприємств [Текст] : навч посібник / І. М. Бойчик, П. С. Харів, М. І. Хопчан. – Львів. : В-во «Сполом». – 2009. – 212 с.
24. Вовчак, О. Д. Інвестування [Текст] : навчальний посібник / О. Д. Вовчак. – Львів. : Новий Світ – 2000, 2008. -544 с.
25. Єрмошенко, М. М. Аналіз і оцінка інвестиційних проєктів [Текст] : навчальний посібник / М. М. Єрмошенко, І. О. Плужніков. – К. : Нац. акад. управл., 2006. –156 с.
26. Кириченко, О. А. Інвестування [Текст] : навчальний посібник / О. А. Кириченко, С. А. Єрохін. – К. : Знання, 2009. – 573 с.
27. Семернікова, І. О. Економіка підприємства [Текст] / І. О. Семернікова. – Харків. : ОЛДУ-плюс, 2003. – 312 с.
28. Цигилик, І. І. Економіка й організація виробництва [Текст] / І. І. Цигилик, О. І. Мозіль. – К. : Центр навчальної літератури, 2009. – 176 с.
29. Малюк, Л. П. Організація виробництва на підприємствах [Текст] / Л. П. Малюк, Т. П. Кононенко. – К. : ПУСКУ, 2009. – 254 с.
30. Онищенко, В. О. Організація виробництва [Текст] / В. О. Онищенко, О. В. Редкін. – К. : Лібра, 2012. – 672 с.
31. НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників»

32. СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания»
33. ДНАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском
34. НПАОП0.00-1.11-98 «Правила побудови та безпечної експлуатації технологічних трубопроводів»
35. СНиП 11-4-79 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування »

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документація</u>		
				Установка МАП-2	1	
A1				<u>Складальні одиниці</u>		
б/к	1			Форвакуумного насос		
б/к	2			Вентиль з електроприводом типу (ЗЕП-63)	1	
б/к	3			Вакуумна магістраль	1	
б/к	4			Насос вакуумний дифузійний	1	
б/к	5			Рама установки	1	
б/к	6			Вакуумна камера	1	
б/к	7			Робоча площа	1	
б/к	8			Джерело вакуумної дуги інверторного типу	1	
б/к	9			Газовий блок	1	
б/к	10			Джерело зміщення	1	
б/к	11			Стійка живлення і управління, шафа управління	1	
б/к	12			Сходовий марш	1	
б/к	13			Аварійний клапан	1	
б/к	14			Затвор (ДУ-400 )	1	
б/к	15			Вентиль з електроприводом типу ЗЕП-63	1	
б/к	16			Клапана електромагнітні	1	
б/к	17			Клапан аварійний	1	
б/к	18			Косинець	1	
б/к	19			Штанга кріплення поворотного пристрою	1	
б/к	20			Поворотний пристрій	1	
б/к	21			Газорозрядне джерело іонів з механізмом переміщення	1	
б/к	22			Стійка центрального поста управління (панель управління)	1	
б/к	23			Центральний пост управління (ЦПУ)	1	
б/к	24			Маслоотстойник	1	
б/к	25			Кришка вакуумної камери	1	
б/к	26			Струмопровід анода з кожухом	1	

ГКІЮ 107620.

Зм.	Арк	№ док.м.	Підп.	Дата
Разроб.		Ніколаїчку Д.С.		
Перев.		Петрик І.А.		
Н.контр.		Щумікін С.О.		
Утв.		Обчинніков О.В.		

Установка МАП-2

Літ.	Аркуш	Аркушів
Д П	1	1

НУ "Запорізька Політехніка"  
кафедра ІТЗВ  
зр. ІР-319М

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документація</u>		
A1			ГКІЮ	Схема камери установки МАП-2 1		
				<u>Складальні одиниці</u>		
б/к		1		Механізм переміщення кришки вакуумної камери	1	
б/к		2		Верхній екран	1	
б/к		3		Катод із випаровуваного матеріалу	1	
б/к		4		Анод	1	
б/к		5		Вузол запалювання дуги	1	
б/к		6		Екран катода	1	
б/к		7		Планетарний привід обертання оброблюваних виробів	1	
б/к		8		Охлюджуюча основа екрана катода	1	
б/к		9		Привід переміщення катода	1	
б/к		10		Джерело підпитки вакуумної дуги	1	
б/к		11		Джерело зміщення	1	
б/к		12		Переривник струму	1	
б/к		13		Оброблюваний виріб	1	
б/к		14		Електромагнітний фіксатор катодних плям	1	
б/к		15		Газорозрядне джерело іонів	1	
б/к		16		Механізм переміщення газорозрядного джерела іонів	1	
б/к		17		Система подачі і регулювання газу	1	
б/к		18		Система створення вакууму	1	
б/к		19		Ввакуумна камера установки	1	
б/к		20		Захисний екран	1	

ГКІЮ 107620

Зм. Арк. № док. Підп. Дата

Розроб. Ніколайчук Д.С.

Перев. Петрик І.А.

Н.контр. Шумікін С.О.

Утв. Овчинников О.В.

Схема камери установки

для напilenня МАП-2

Літ.

Аркш

Аркшів

Л



П

1

1

НУ "Запорізька Політехніка"  
кафедра ДТЗВ  
зр. КР-318м

Дубл.						
Взам.						
Подл.						
			ГКІЮ 107620			
				ДП		

Розроб.	Ніколайчук Д. С.	
Перевір.	Петрик І. А.	
Н.контр.	Шумикін С. О.	
	Аркушів 4	Арк. 1

**МАРШРУТНА КАРТА**

Технологічного процесу  
 Розробка технології нанесення жаростійкого  
 іонно плазмового покриття на великогабаритні  
 лопатки ГТД



Дубл.										Аркушів 4		Аркуш 3						
Взам.																		
Подл.																		
Розроб.			Ніколайчук Д. С.															
Перевір.			Петрик І. А.															
Н. контр.			Шумикін С.О.															
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, найменування операції			СМ	Проф.	Р	УП	КОВД	ОН	ОП	ОН	Кшт	Тшт	Тшт
Б	Код, найменування обладнання			Позначення документа														
К/М	Найменування деталі, скл. одиниці або матеріалу			Позначення, код														
Б 22	Стіл для вхідного контролю			Контролер ІV														
23																		
24																		
А 25	Підготовка до напilenня																	
26																		
Б 27	Установка МАП- 2																	
Р 28	Вихідний тиск 1...1,5атм																	
29	Тиск газонапуску 0,7...0,8 атм																	
А 30	Монтаж деталей в оснащення																	
О 31	Надійно встановити лопатки в спец.оснаску																	
Б 32	Установка МАП- 2																	
33																		
34																		
А 35	Створення вакууму																	
О 36	Виконати процес «Відкачка камери»																	
37	Провести перевірку рівня натікання в камері																	
Б 38	Установка МАП- 2																	
39																		
А 40	Напilenня																	
О 41	Нанесення покриття на установці МАП-2																	
Б 42	Установка МАП- 2																	
Дубл.																		

