

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

РЕЦЕНЗІЯ  
на дипломний проект (роботу)

Формування отворів малого діаметру та підвищення продуктивності їх отримання на лопатках турбін електроерозійним методом

Студент (ка) Мельниченко Микола Миколайович

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Обсяг проекту повний

Кількість аркушів креслень – 36 аркушів презентації

Кількість сторінок пояснювальної записки 98

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень

1.Формування отворів малого діаметру 2.Загальна методика досліджень  
3.Експериментальні дослідження 4.Практичне застосування отриманих  
результатів 5.Оцінка очікуваної економічної ефективності 6.Охорона праці та  
безпека у надзвичайних ситуаціях.

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню

Виконана робота повністю відповідає поставленому завданню

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

Виконана робота на достатньому рівні відповідає останнім досягненням науки та техніки

г) негативні особливості виконання проекту (роботи)

При перевірці виконаної роботи негативних особливостей не виявлено

д) позитивні особливості

Запропонований варіант технології електроерозійного прожигу малих отворів підвищує продуктивність за рахунок скорочення часу операції.

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи) Презінтація та пояснювальна записка виконані у відповідності до діючих стандартів

є) відгук про проект (роботу) загалом \_\_\_\_\_


В цілому магістерська робота студента групи Мз-118м Мельниченка Миколи Миколайовича відповідає вимогам вищої школи.

ж) інші зауваження 1 - В розрахунку економічної ефективності не розшифровано, які два варіанта технології отримання отворів порівнюються.  
2 - Незрозуміло яким чином отримано  $t_0$  прожигу отворів

з) оцінка проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
В цілому дипломний проект студента групи Мз-118м Мельниченка Миколи Миколайовича заслуговує оцінку «добре»

Рецензію склав

доцент кафедри ТМБ, к.т.н. Гончар Н.В.  
*(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)*

  
*(підпис)*

« 10 » 12 2019 р.

[11:32:11] ██████████ Найдено 1% совпадений по адресу: <http://tekhnosfera.com/razrabotka-tehnologii-i-oborudovaniya-dlya-elektroerozionnoy-proshivki-kapillyarnyh-otverstiy-v-atravmaticheskikh-iglah>

[11:32:29] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №437 [3] (200047 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:32:56] ██████████ Найдено 1% совпадений по адресу: [http://www.zntu.edu.ua/uploads/dept\\_s&r/2019/conf/1/TN\\_2019\\_FSN.pdf](http://www.zntu.edu.ua/uploads/dept_s&r/2019/conf/1/TN_2019_FSN.pdf)

[11:34:40] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №442 [3] (200025 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:36:32] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №447 [3] (200040 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:37:36] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №457 [3] (200024 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:37:44] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №452 [3] (200024 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:38:10] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №462 [3] (200056 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:38:26] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №467 [3] (200071 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:39:02] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №472 [3] (200056 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:39:18] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №477 [3] (200056 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:39:33] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №482 [3] (200040 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:39:46] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №487 [3] (200040 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:40:50] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №492 [3] (200056 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:41:12] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №497 [3] (200056 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:42:08] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №502 [3] (200056 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:42:47] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №507 [3] (200056 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:43:00] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №512 [3] (200040 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[11:43:00] Тип проверки: *Стандартная*

[11:43:00] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 29%)**

[11:43:00] **Уникальность текста 93%<sup>©</sup> (Проигнорировано подстановок: 0%)**

---

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи  
Мельниченко М.М., провів зав. навч. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

02.12.2019р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технології машинобудування

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

ступінь вищої освіти(освітній ступінь)

на тему Формування отворів малого діаметру та підвищення продуктивності їх отримання на лопатках турбін електроерозійним методом

Виконав: студент II курсу, групи Мз-118м  
напряму підготовки (спеціальності)

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Технології машинобудування»

Мельниченко М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кононов В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Гончар Н.В.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут, факультет \_\_\_\_\_ Машинобудівний  
Кафедра \_\_\_\_\_ Технології машинобудування  
Ступінь вищої освіти \_\_\_\_\_ Другий (магістерський)  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 131 «Прикладна механіка»  
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) \_\_\_\_\_ «Технології машинобудування»  
(назва освітньої програми і спеціалізації)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ ТМБ  
\_\_\_\_\_ С.І. Дядя

« 09 » \_\_\_\_\_ 12 \_\_\_\_\_ 2019 року

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

Мельниченко Микола Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Формування отворів малого діаметру та підвищення продуктивності їх отримання на лопатках турбін електроерозійним методом

керівник проекту (роботи) Кононов В.В., к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» 11 2019 р. № 417

Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_ 11 грудня

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Лопатки турбіни двигуна Д-18Т;  
програма досліджень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Описання методів формувань отворів малого діаметру. 2. Матеріал та методика дослідження. 3. Показники електроерозійної обробки та їх досягнення. 4. Дослідження параметрів режимів електроерозійного методу отримання отворів малого діаметру. 5. Дослідження залежностей впливу тривалості імпульсів на продуктивність прошивання отворів. 6. Технологічні рекомендації. 7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Науково-дослідний	Кононов В.В., доцент	<i>В.В. Кононов</i> 23.01.18	<i>В.В. Кононов</i> 02.12.18
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Шмирко В.І., доцент	<i>В.І. Шмирко</i> 4.10.19	<i>В.І. Шмирко</i> 1.12.19
Нормоконтроль	Вишнепольський Є.В., ст. викл.	<i>Є.В. Вишнепольський</i> 5.12.19	<i>Є.В. Вишнепольський</i> 5.12.19

7. Дата видачі завдання 23 січня 2018

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Пр
1.	<i>Вивчення методів формування отворів</i>	12.04.2018	
2.	<i>Проблеми електроерозійного формування отворів</i>	15.06.2018	
3.	<i>Розгляд факторів, впливаючих на продуктивність</i>	20.12.2018	
4.	<i>Вивчення матеріалу та методик дослідження</i>	25.04.2019	
5.	<i>Проведення основних досліджень</i>	01.09.2019	
6.	<i>Аналіз отриманих результатів</i>	01.10.2019	
7.	<i>Розробка технологічних рекомендацій</i>	13.10.2019	
8.	<i>Оформлення документації</i>	13.11.2019	
9.	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	02.12.2019	
10.	<i>Захист роботи</i>	11.12.2019	

Студент(ка)

*[Підпис]*  
(підпис)

Мельниченко М.М.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

*[Підпис]*  
(підпис)

Кононов В.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 98 с., 36 рис., 13 табл., 36 джерел.

Об'єкт дослідження – продуктивність отримання отворів малого діаметру в лопатках турбіни електроерозійним методом.

Мета роботи - формування отворів малого діаметра і підвищення продуктивності їх отримання на лопатках турбін електроерозійним методом.

Методи дослідження – основні положення технології машинобудування, основні положення електрофізичних методів обробки. Експериментальні дослідження базуються на виробничі умови АТ «Мотор Січ» з використанням сучасного обладнання і контрольованих засобів.

В роботі наведені методи формування отворів малого діаметру, вибраний єдиний економічно і практично прийнятний метод - електроерозійний, розглянуті питання підвищення продуктивності при отриманні отворів в лопатках турбін, показана ефективність прийнятих рішень.

ЕЛЕКТРОД – ІНСТРУМЕНТ, ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНА ОБРОБКА, ОТВОРИ МАЛОГО ДІАМЕТРУ, УСТАТКУВАННЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ПАРАМЕТРИ ІМПУЛЬСІВ, СИЛА СТРУМУ, НАПРУГА, ЧАСТОТА

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів.....	7
Вступ .....	8
1 Формування отворів малого діаметру .....	10
1.1 Методи отримання отворів малого діаметру.....	10
1.1.1 Отримання отворів литтям по виплавлених моделях.....	10
1.1.2 Отвори, одержувані механічною обробкою.....	11
1.1.3 Електроерозійна прошивка отворів.....	13
1.1.4 Отримання отворів електрохімічної обробкою.....	15
1.1.5 Хімічне витравлювання отворів.....	16
1.1.6 Отримання отворів лазерним променем.....	17
1.1.7 Електронно-променеви́й спосіб отримання отворів.....	19
1.1.8 Імпульсний гідроабразивний метод прошивання отворів.....	21
1.1.9 Висновки.....	24
1.2 Характеристики електроерозійної обробки .....	25
1.2.1 Протікання процесу.....	25
1.2.2 Якість обробленої поверхні.....	28
1.2.3 Точність обробки.....	30
1.2.4 Матеріали для електроду-інструменту.....	30
1.2.5 Робоче середовище для електроерозійної обробки.....	33
1.2.6 Вимоги до електроерозійного устаткування.....	35
1.2.7 Висновки.....	40
1.3 Аналіз продуктивності отримання отворів ЕЕМ.....	41
1.3.1 Електроерозійна оброблюваність матеріалу.....	43
1.3.2 Продуктивність обробки - сила струму.....	45
1.3.3 Продуктивність обробки - площа оброблюваної поверхні.....	46
1.3.4 Продуктивність знімання - частота імпульсів.....	47
1.3.5 Продуктивність - глибина обробки.....	49

1.3.6 Продуктивність обробки - робоча рідина.....	49
1.3.7 Висновки.....	50
2 Загальна методика досліджень.....	51
2.1 Матеріали дослідження.....	51
2.2 Устаткування для досліджень.....	52
2.3 Схема електроерозійного отримання отворів малого діаметру.....	56
2.4 Метрологічне оснащення контролю отворів.....	58
2.5 Висновки.....	58
3 Експериментальні дослідження.....	59
3.1 Розробка алгоритму визначення технологічних параметрів ЕЕО.....	59
3.2 Вихідні дані.....	61
3.3 Вибір елементів режимів обробки для отримання отворів за вихідними даними.....	62
3.4 Дослідження електричних характеристик імпульсів.....	62
3.5 Дослідження впливу частоти імпульсів на продуктивність і знос електроду-інструменту.....	66
3.6 Вплив ультразвукових хвиль на продуктивність прошивання.....	67
3.8 Достовірність отриманих результатів.....	68
3.9 Технологічні рекомендації.....	69
3.10 Висновки.....	69
4 Практичне застосування отриманих результатів.....	71
5 Оцінка очікуваної економічної ефективності.....	72
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	74
6.1 Заходи з охорони праці.....	75
6.2 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	86
Загальні висновки.....	93
Перелік посилань.....	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВЧ ПРА	– високочастотні пускорегулюючі апарати
ГОСТ	– державний стандарт
ГТК	– газотурбінний компресор
ГТУ	– газотурбінна установка
ГПА	– газоперекачуючі агрегати
ЕІ	– електрод-інструмент
ЕЕМ	– електроерозійний метод
ЕЕО	– електроерозійна обробка
ЕПО	– електронно-променева обробка
ЖНС	– жароміцний нікелевий сплав
ЗЕП	– збірні евакуаційні пункти
СНіП	– система норм і правил
ТВТ	– турбіна високого тиску
ТМБ	– технологія машинобудування
ПЕП	– прийомні евакуаційні пункти
ПУЕ	– правила устрою електроустановок
ПК	– персональний комп'ютер
ЦЗ	– цивільний захист

## ВСТУП

Відповідальні деталі газотурбінних двигунів складаються з деталей (турбінні й соплові лопатки), що працюють в екстремальних умовах при температурах, близьких до температури плавлення самого жароміцного сплаву. Для забезпечення довговічної і надійної експлуатації, лопатки перфоровані отворами малого діаметру від 0,3 мм до 1 мм з допуском на діаметр отвору в межах 0,05 - 0,10 мм. Через ці отвори продувається повітря, що охолоджує поверхні, схильні до теплового впливу.

Метою роботи є формування отворів малого діаметра і підвищення продуктивності їх отримання на лопатках турбін електроерозійним методом.

Для вирішення поставленої мети були сформульовані наступні завдання дослідження:

1. Розглянути методи формування отворів малого діаметра.
2. Визначити основні характеристики механізму електроерозії на ефективність електроерозійного формування отворів.
3. Визначити параметри, що впливають на продуктивність електроерозійного процесу.
4. Експериментально дослідити вплив параметрів імпульсів на продуктивність електроерозійного формування отворів.
5. Виявити вплив додаткового руху ЕІ на технологічні показники електроерозійного прошивання отворів.
6. Побудувати алгоритм вибору елементів режиму електроерозійної обробки.
7. Розробити технологічні рекомендації щодо підвищення продуктивності електроерозійного прошивання отворів малого діаметра.

Новизна полягає в наступному:

- встановлені закономірності, що визначають залежність продуктивності від параметрів імпульсів;

- встановлено, що продуктивність визначається стійкістю електроерозійного формування отворів, сполученням ЕІ додаткового руху в напрямку подачі, складом робочої рідини і її гідродинамічними параметрами при створенні ультразвукових хвиль.

Практична значимість полягає в розробці та запропонуванні технічних рекомендацій щодо підвищення продуктивності при електроерозійному формуванні отворів малого діаметра.

# 1 ФОРМУВАННЯ ОТВОРІВ МАЛОГО ДІАМЕТРУ

## 1.2 Методи отримання отворів малого діаметру

### 1.1.1 Отримання отворів литтям по виплавлюваним моделям

В даний час лиття по виплавлюваним моделям (в оболонкові форми) є єдиним методом, який дозволяє в промисловому масштабі найбільш економічно отримувати заготовки охолоджуваних лопаток турбіни, котрі мають потреби в подальшій обробці [1].

У технологічному процесі виготовлення відливок охолоджуваних лопаток турбіни виділяють наступні основні етапи:

- виготовлення керамічних стрижнів, включаючи стрижні, що формують отвори;
- виготовлення виплавленої моделі;
- складання моделей лопаток в блоки;
- приготування вогнетривкої суспензії, забарвлення і сушка блоків лопаток;
- видалення модельної маси з оболонок;
- прогартування оболонок;
- плавка металу, заливання оболонок і кристалізація виливків;
- видалення оболонок і розрізання блоків;
- видалення керамічних стрижнів і контроль лопаток.

Лопатка турбіни з отворами малого діаметру для охолодження, яка отримана точним литтям, представлена на рисунку 1.1.

Для виготовлення стрижнів охолоджуваних лопаток турбін використовують керамічні суміші на основі  $ZrO_2$ , що володіють більш високою міцністю і термостійкістю, ніж  $Al_2O_3$ , за умови руйнування стрижневий кераміки в лужках. Технологічний процес для отримання

керамічних стрижнів, включаючи стрижні, що формують отвори проходить в кілька етапів:

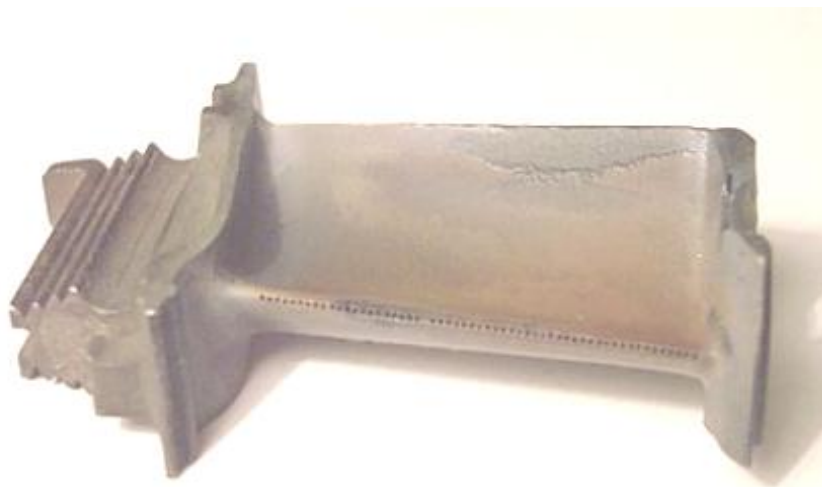


Рисунок 1.1 – Лопатка турбіни з отворами малого діаметру

підготовка вихідних матеріалів; приготування стрижневої суміші; пресування і рихтування сирих стрижнів; випал стрижнів, контроль, зачистка і просочення спеціальним розчином до припинення газациї; сушка.

Основним показником якості стрижнів є міцність на вигин при тривалому впливі високих температур для опору тиску рідкого металу при заливці форми.

Високоякісні виливки з жароміцних сплавів отримують в вакуумних індукційних печах. Після охолодження металу в формах і видалення оболонкової форми проводять вилуговування стрижнів.

Контроль лопаток здійснюють для виявлення дефектів лиття, перевірки цілісності каналів охолодження, а також геометричних параметрів лопатки.

### 1.1.3 Отвори, одержувані механічною обробкою

Механічною обробкою отвори формують свердлінням, зенкуванням, розгортанням, а також розточуванням. Для отримання отворів малого діаметра використовують свердління (рисунок 1.2). Однак, використання цього методу обмежено якістю і стійкістю свердел, а також відсутністю високочутливого сверлильного обладнання [2]. Розрізняють основні важливі фактори, що впливають на свердління: биття свердла і шпинделя обладнання, характер і плавність подачі, а також характеристики конструкції інструменту. Кожен фактор може привести як до поломки свердла так і зниження точності отвору. Зазвичай використовують наступні конструкції свердел (рисунок 1.3).

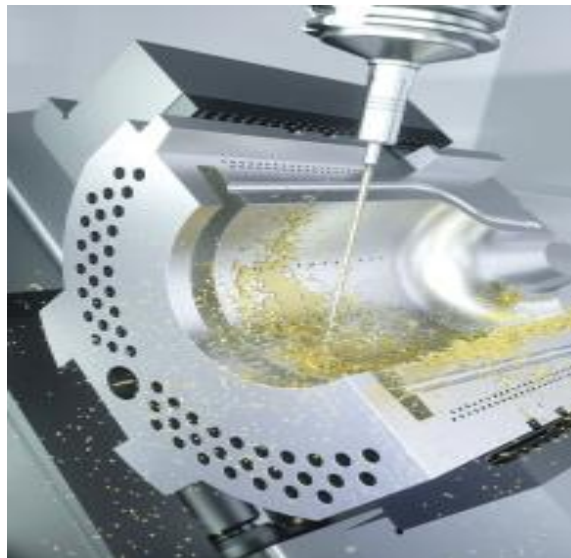


Рисунок 1.2 – Оснащення для сверлильної операції



Рисунок 1.3 – Конструкція свердл малого діаметру

Перед початком сверлильної операції необхідна точна установка свердел в цанзі або патроні, мінімізація биття шпинделя і неперпендикулярність його осі до поверхні робочого столу.

Також найважливішою проблемою при отриманні отворів є підведення охолоджуючої рідини і виведення стружки із зони різання. Існують спеціальні робочі рідини, що впливають на ефект видалення стружки, стійкість інструменту і безпечні для оператора [3].

Треба також враховувати розбивку отвору під час свердління. Таким чином, необхідно вибирати діаметр свердла з урахуванням припуску на подальше калібрування отвору. Для підвищення точності свердління операцію свердління комбінують з іншими процесами, наприклад, інструменту надають осьову вібрацію [4].

#### 1.1.4 Електроерозійна прошивка отворів

Електроерозійні методи ефективно використовуються для отримання пазів і отворів в деталях газотурбінних двигунів (ГТД) з жароміцних і титанових сплавів [5, 6]. Технологічні показники цього методу полягають в практичній незалежності фізико-механічних характеристик оброблюваних матеріалів і обробка здійснюється без помітних силових впливів. При цьому, застосування класичної електроерозійної обробки для отримання отворів малого діаметру, особливо з великим значенням відношення  $L / D$ , викликане технологічними труднощами. При прошивці отворів суцільним електродом-інструментом (дротом) всі його геометричні дефекти (похибка форми в поперечному і поздовжньому перетинах, відхилення від прямолінійності осі) будуть позначатися на якості одержуваних отворів. Це пов'язується з ускладненням евакуації продуктів ерозії, тому необхідний правильний вибір технологічної схеми і режимів ЕЕО.

Для перфорації охолоджуючих отворів в лопатках доцільно застосування струменевого методу ЕЕО [6]. Сутність цього методу полягає в обертанні трубчастого електроду-інструменту (ЕІ), через внутрішню

порожнину якого прокачується робоча рідина під великим тиском. В якості робочої рідини застосовується дистильована вода або спеціальні рідини, що містять вуглеводи. На рисунку 1.4 показана схема обробки трубчастим ЕІ.

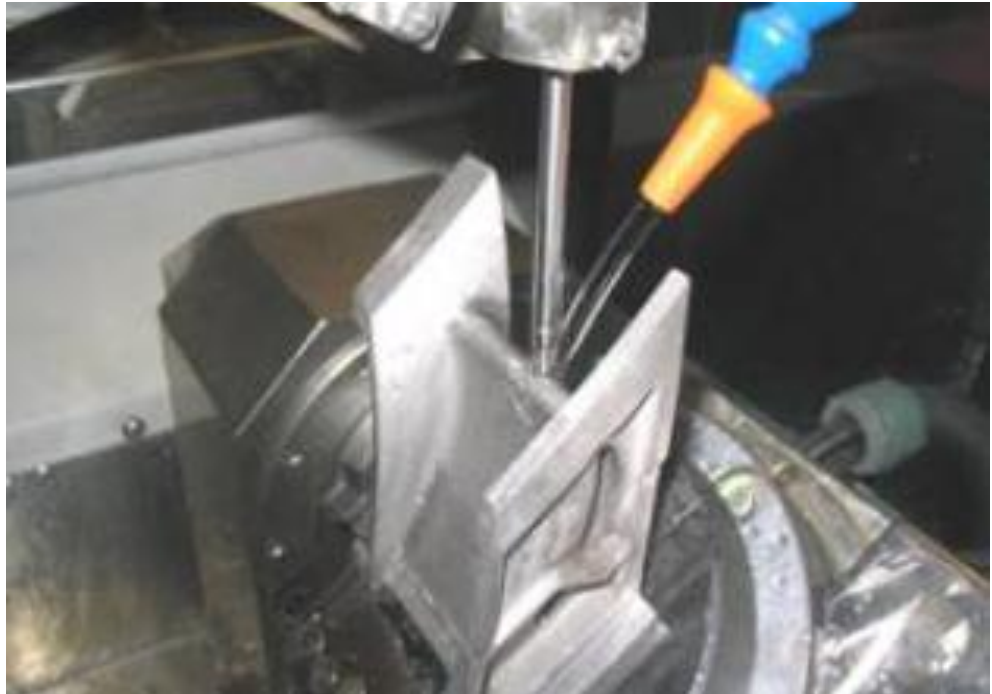


Рисунок 1.4 – Обробка жароміцного сплаву трубчастим ЕІ

Струменева ЕЕО забезпечує високу продуктивність і якість обробленої поверхні, однак не виключає змінення поверхневого шару. При отриманні охолоджуючих отворів в лопатках необхідно використовувати спеціальну технологічне оснащення, яке дозволяє орієнтувати лопатку під певний кут (наприклад, по вхідній кромці).

Багатоелектродна електроерозійна обробка ефективно вирішує завдання отримання отворів малих діаметрів, а також створити якісно нові конструкції деталей, що поліпшують основні показники сучасних авіаційних двигунів (рисунок 1.5).

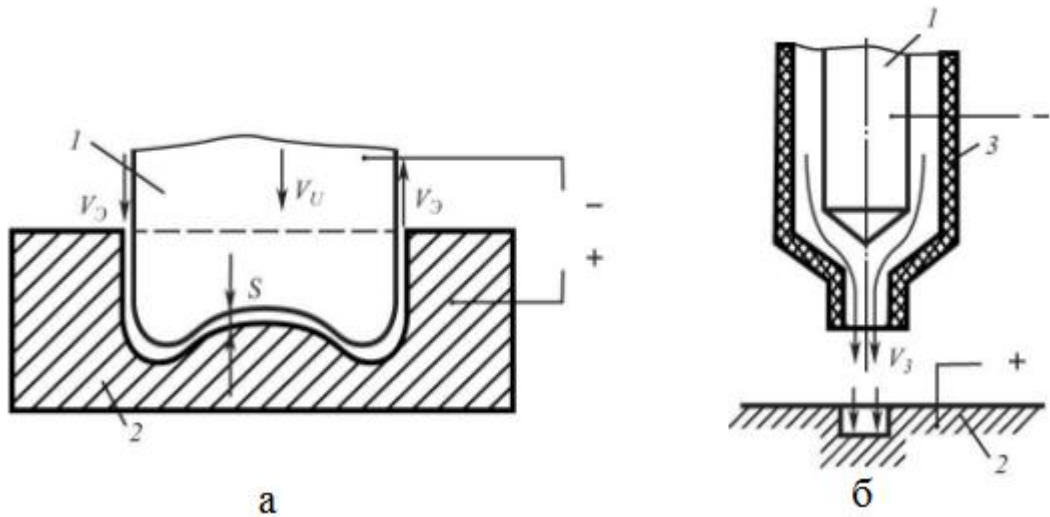


Рисунок 1.5 – Багатоелектродного обробка декількох отворів в лопатці з жароміцного сплаву

#### 1.1.4 Отримання отворів електрохімічної обробкою

За технологічною ознакою електрохімічне прошивання схоже з електроерозійним. Однак, видалення металу при розмірній електрохімічній обробці відбувається під дією електричного струму в середовищі електроліту без посереднього контакту між інструментом і заготовкою [7, 8]. При прошивці порожнин і отворів (рисунок 1.6, а) електрод-інструмент має один робочий рух - поступальний до деталі. Міжелектродний зазор підтримується постійним. Через міжелектродний зазор прокачують електроліт. За цією схемою прошивають пази і отвори на пері лопаток турбін. За цією ж схемою отримують отвори струменевим методом (рисунок 1.6, б).

Електрод-інструмент складається з токоподводу, що омивається потоком електроліту. Токоподвод знаходиться всередині корпусу з ізоляційного матеріалу. Електроліт створює струмопровідний канал між струмопідведенням і заготовкою. У місці контакту електроліту з оброблюваною поверхнею матеріал заготовки розчиняється і утворюється поглиблення.



а – класичне прошивання;

б – струйне прошивання.

Рисунок 1.6 – Схема прошивання отворів

Щоб отримати охолоджуючі отвори уздовж лопаток турбін, в процесі обробки змінюють напрямок подачі електроду-інструменту в залежності від закрутки профілю пера лопатки.

### 1.1.5 Хімічне витравлювання отворів

Витравлювання - це видалення шару металу хімічним шляхом [9, 10]. Розрізняють рідинне і сухе витравлювання. У основі рідинного витравлювання лежить хімічна реакція рідкого травильника і твердого тіла.

Для забезпечення заданої швидкості витравлювання підбирають хімічний склад, концентрацію і температуру травильника. Витравлювання може бути ізотропним і анізотропним. Ізотропне витравлювання йде з однаковою швидкістю в усіх напрямів. Анізотропію витравлювання кількісно оцінюють відношенням швидкостей витравлювання в різних напрямках.

Сухе анізотропне витравлювання робиться у вакуумній установці в плазмі газового розряду. Розрізняють іонне витравлювання, плазмохімічне витравлювання і реактивне іонне. Для витравлювання поверхонь виробів з нержавіючих і жароміцних сталей застосовують водний розчин наступного складу у вагових частинах: сірчана кислота - 14, соляна кислота - 13, азотна кислота - до 9. Робоча температура - до 85 °С.

Цей метод в основному застосовується при отриманні отворів в тонких листах з використанням захисних покриттів необроблюваних поверхонь.

#### 1.1.6 Отримання отворів лазерним променем

Лазерна обробка отворів є продуктивнішим процесом, хоча по питомій витраті енергії вона перевищує механічні і електрофізичні методи [11- 13].

Лазерне свердління отворів характеризується такими фізичними явищами, як: нагрів, випар і плавлення матеріалу. Для отримання отворів малого діаметру використовують лазери з короткими імпульсами. Існує декілька методів лазерного свердління : свердління одиничним імпульсом, внаслідок чого виходить отвір. Велике значення у формуванні отворів при обробці плавких матеріалів одиничним імпульсом має перерозподіл рідкої фази до моменту твердіння. В результаті форма отвору відрізняється від тієї, яка була після закінчення імпульсу. Таким чином, істотно знижується ефективність і точність свердління одиничним імпульсом.

Ударне свердління отримують під впливом декількох лазерних імпульсів. При багатоімпульсній обробці отвір росте в глибину поступово за рахунок пошарового випару матеріалу кожним імпульсом (рисунок 1.7). Остаточна глибина отвору визначається сумарною енергією імпульсів, а його діаметр - усередненими параметрами окремого імпульсу випромінювання в серії. Використання для багатоімпульсної обробки імпульсів малої тривалості дозволяє отримувати отвори в крихких матеріалах.

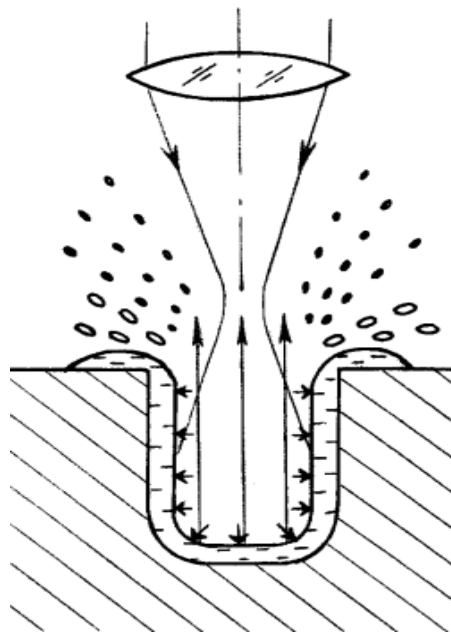


Рисунок 1.7 – Схема лазерної обробки

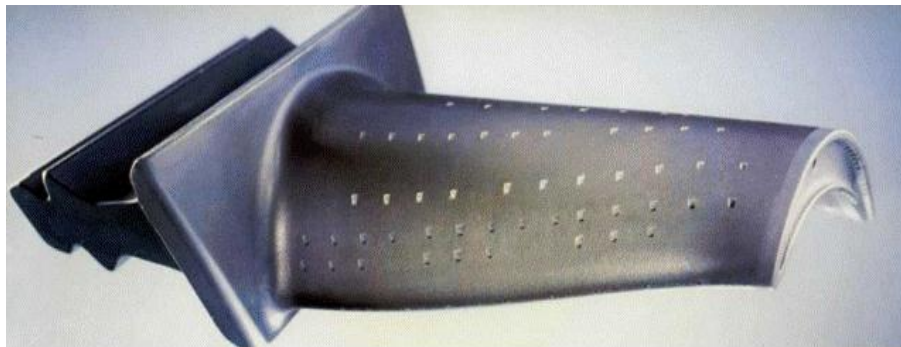


Рисунок 1.8 – Отвори, отримані лазерним промінем

Перфорація лопаток турбіни лазерним променем характеризується високою точністю і швидкістю (рисунок 1.8), проте, теплова дія призводить до зміни структури матеріалу.

### 1.1.7 Електронно-променевий спосіб отримання отворів

Електронно-променева прошивка здійснюється електронними гарматами, які формують потік прискорених електронів, а також надають електронному променю до заготовки необхідних відносних переміщень [14, 15]. Основні стадії формування пучка електронів :

- отримання потоку вільних електронів;
- прискорення електронів і звуження їх в промінь;
- управління положенням електронного променя.

Розглянемо функціональну схему установки для електронно-променевої обробки (рисунок 1.9). Електронна гармата виконана у вигляді функціонального блоку, розміщена усередині робочої камери 2 або нерухомо кріпиться до неї. З робочої камери безперервно вакуумними насосами відкачуються гази і пари матеріалу оброблюваної заготовки.

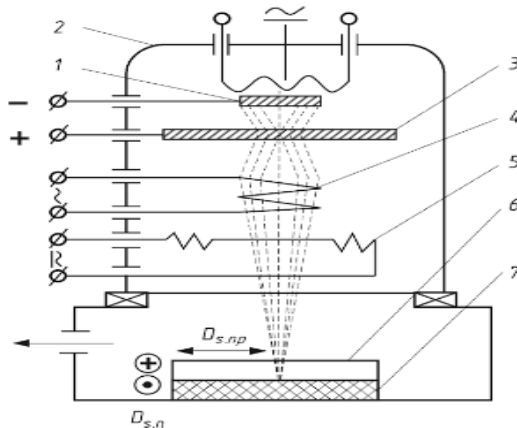


Рисунок 1.9 – Схема електронно-променевої установки

Потік вільних електронів утворюється внаслідок електронної емісії катода 1, який виготовляється з тугоплавких матеріалів (вольфрам, тантал та ін.), що мають високі емісійні характеристики. Між катодом 1 і анодом 3 потік вільних електронів прискорюється в електричному полі. Велика частина прискорених електронів проходить через отвір анода і потрапляє в систему фокусування 4, що формує електронний промінь (конструктивно це соленоїд, що створює усередині себе магнітне поле, яке при взаємодії з електронним променем зміщує його траєкторію у напрямі осі системи). При цьому отримують високу щільність електронів на малій площі оброблюваної поверхні.

Після чого пучок електронів потрапляє в управляючу систему 5, що переміщає промінь по оброблюваній поверхні. Заготовку 6 встановлюють на діелектричний стіл 7, що має подовжню і поперечну подачу. Вакуум в камері складає  $10^{-2} \dots 10^{-4}$  Па, прискорююча напруга в електронній гарматі знаходиться в межах 10...200 кВ.

Пульсація електронного променя здійснюється з частотою до 2000 Гц із-за його низької інерційності. Як і при лазерній обробці, отвір може бути отриманий за один або декілька імпульсів. Процес управляється програмами, що дозволяють змінювати положення променя і його параметри для отримання необхідного діаметру в потрібній координаті (рисунок 1.10).

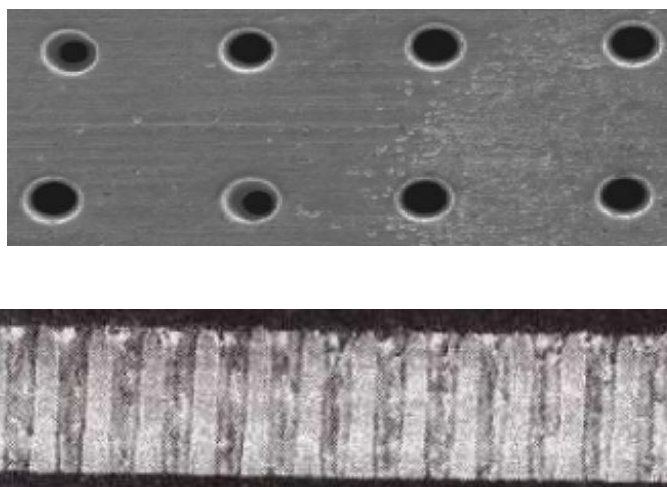


Рисунок 1.10 – Електронно-променеве прошивання отворів

Електронно-променеви́й спосі́б характеризується високою швидкістю і точністю, а також безкисневими процесами при отриманні отворів, проте, температурна дія на матеріал викликає структурні зміни в поверхневому шарі. А враховуючи використання вакуумної камери, здорожчує технологічний процес прошивання отворів.

### 1.1.8 Імпульсний гідроабразивний метод прошивання отворів

Гідроабразивна обробка є процес, при якому матеріал обробляється тонким струменем суміші води і абразиву, що випускається з високою (надзвуковою) швидкістю і під високим тиском. Процес є ерозійним руйнуванням під дією робочого струменя, при цьому дрібні частинки абразиву знімають шар мікростружки, а вода, евакуує їх із зони різання (рисунок 1.11) [16].

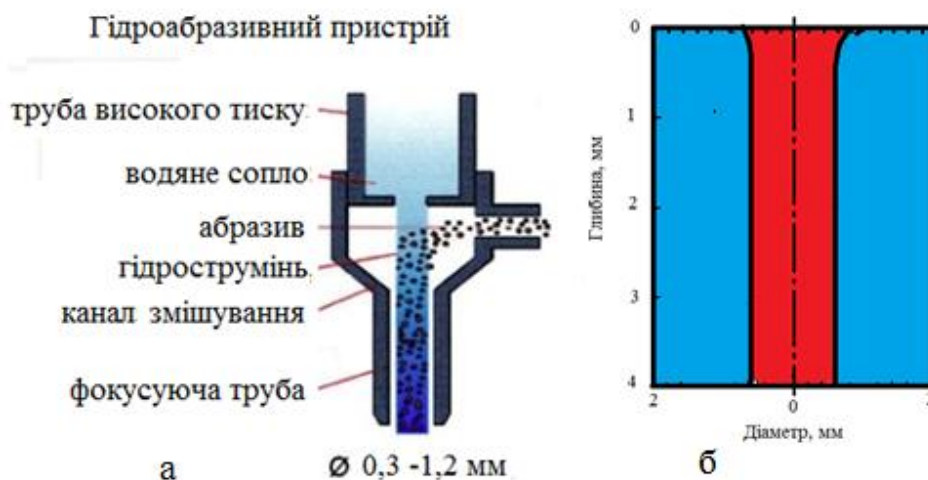


Рисунок 1.11 – Схема гідроабразивного пристрою (а) і отриманого отвору (б)

В якості абразиву використовують загострені подрібнені мінерали з

величиною зерна від 0,1 до 0,3 мм Залежно від оброблюваного матеріалу і товщини кількість використовуваного абразиву складає від 100 до 600 г/хв.

Найбільш оптимальна якість абразиву для гідроабразивної обробки має гранатовий пісок - природний мінерал, абразив високої міцності. Але також використовуються і інші види природних мінералів, наприклад зерна оливина, а також абразивні матеріали, отримані штучним шляхом такі як зерна електрокорунда. Застосування останніх обмежене.

Ці матеріали дозволяють підвищити продуктивність різання, але при цьому в разі зменшується стійкість змішуючого сопла. Гранатовий пісок має високу твердість 7.5-8.0 за шкалою Мооса і ідеальною формою зерна. Щоб гарантувати якість різання абразив не повинен містити великих зерен ( $>1/3$  діаметру фокусу), а також пилу ( $<0.03$ мм). Складається з наступного хімічного складу:  $\text{SiO}_2$ -36%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 20%,  $\text{FeO}$ -30%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -30%,  $\text{TiO}_2$ -1%,  $\text{MnO}$ -1%,  $\text{CaO}$ -2%,  $\text{MgO}$ -6%. Зазвичай використовується абразив розмірами від 80 мкм до 120 мкм. Оливін - мінерал, силікат магнію і заліза. Має твердість 6.5-7.0 за шкалою Мооса, щільність 3.2-3.6 г/см<sup>3</sup>, має зеленуватий, оливковий колір. Хімічний склад  $\text{MgO}$ -49%,  $\text{SiO}_2$ -41%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -7%,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -0.3%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -0.5%,  $\text{NiO}$ -0.3%,  $\text{MnO}$ -0,1%,  $\text{CaO}$ -0,05%. Електрокорунд - вогнетривкий і хімічно стійкий надтвердий матеріал, що отримується на основі оксиду алюмінію (синтетичний корунд - 88-99%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Мікротвердість електрокорунда лежить в межах 1800-2400 кгс/мм<sup>2</sup>. Щільність 4 г/см<sup>3</sup>. Електрокорунд розм'якшується при температурі 1750 °С, плавиться при 2050 °С. Модуль пружності  $7,6 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>, твердість 9 за шкалою Мооса. Твердість, форма і розмір абразивного зерна роблять істотний вплив на процес гідроабразивного різання. Дрібніший розмір часток дозволяє досягти більш високих параметрів шорсткості поверхні, при цьому глибина різку зменшується [17].

Гідроабразивну обробку зазвичай проводять на 5-ти осьовій гідроабразивній установці фірми "Flow". Установка дозволяє обробляти практично будь-які види матеріалів, як метали, так і неметали. Наявність 5-ти

керованих координатних осей дозволяє обробляти не лише плоскі деталі, але і деталі із складною 3d геометрією. Гідністю цієї установки є висока продуктивність і надійність (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Гідроабразивна установка фірми «Flow».

Таким чином, гідроабразивна обробка є сучасним і перспективним методом отримання готових деталей. Широкі діапазони оброблюваної товщини матеріалів, можливість обробки практично будь-яких матеріалів, висока продуктивність, отримання високої якості поверхні, можливість обробки складної геометрії робить цей метод обробки затребуваним в умовах сучасного виробництва деталей авіадвигунів. Відсутність термічної дії на матеріал, низька сила різання, ерозійний характер руйнування не сприяє розвитку внутрішньої напруги в зоні обробки.

### 1.1.9 Висновки

Таким чином, отримання отворів малого діаметру при перфорації лопаток турбін є важливою проблемою в авіабудуванні.

Литво по моделях, що виплавляються, формує отвори в процесі отримання заготівлі без подальшої обробки, проте дуже велика вірогідність заплавлення отворів із-за поведінки стержня при заливці металу. При механічній обробці отворів, особливо малого діаметру, можлива поломка інструменту.

Електроерозійна і електрохімічна прошивка програє першим двом способам по продуктивності і методам видалення шламу при обробці. Хімічним травленням неможливо отримувати глибокі і точне отвори.

Отримання отворів з використанням концентрованих джерел енергії характеризується високою продуктивністю і точністю, але при плавленні змінюється структура поверхневого шару матеріалу.

Гідроабразивна обробка характеризується відсутністю термічної дії на матеріал, низькою силою, що не сприяє розвитку внутрішньої напруги в зоні обробки.

Таким чином, для перфорації лопаток турбін (рисунок 1.13), найбільш

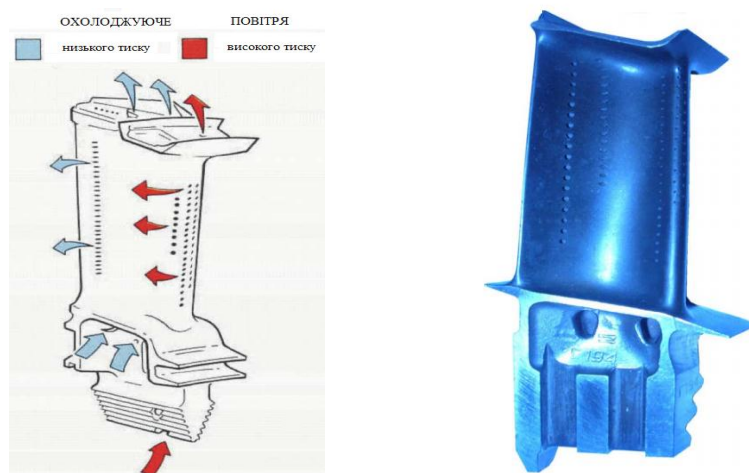


Рисунок 1.13 - Робоча лопатка 1-го ступеню турбіни ТРДД Д-18Т

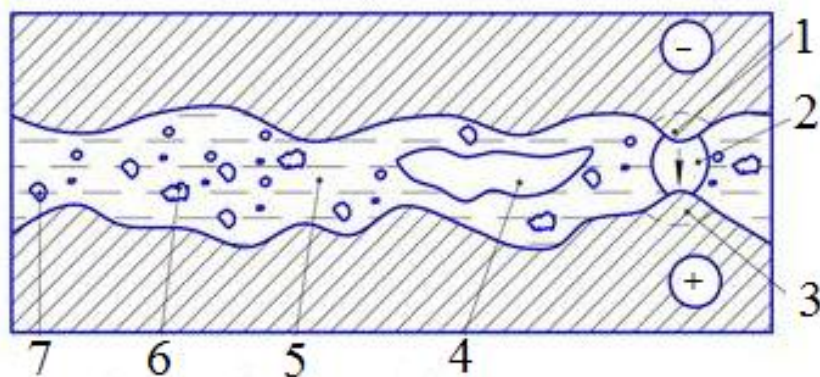
оптимальним варіантом є електроерозійне прошивання. Цей спосіб характеризується достатньою точністю, високою оброблюваністю і електропровідністю жароміцних сплавів при отриманні отворів малого діаметру.

## 1.2 Характеристики електроерозійної обробки

### 1.2.1 Протікання процесу

Електроерозійна обробка ґрунтована на ефекті розплавлення і випару мікропорцій струмопровідних матеріалів під впливом імпульсів електричної енергії в міжелектродному проміжку оброблюваної деталі і електродом-інструментом в робочому середовищі (рисунок 1.14) [18, 19]. Електричний розряд виникає між анодом і катодом. Тепло, що виділяється в зоні розряду плавить і частинно випаровує матеріал, який виходить із зони плавлення і твердне в робочій рідині з її випаром і розкладанням.

Пари і гази у вигляді бульбашок разом з твердими частками видаляються з міжелектродного проміжку.



1 - катод; 2 - електричний розряд; 3 - анод; 4 - пари і гази;  
5 - робоча рідина; 6, 7 - осколкова і сферична форма частки.

Рисунок 1.14 - Схема процесу в міжелектродному проміжку

Якщо в міжелектродному проміжку відбувається послаблення процесу винесення продуктів ерозії, то розряди між електродами починають їх подрібнювати, у робочого середовища збільшується зольність і в'язкість порушується стабільність процесу і різко падає його продуктивність. Усе це призводить до збільшення глибини дефектного шару [20].

Наступною проблемою електроерозійної обробки є утворення карбідних плівок на оброблених поверхнях [18]. У середовищі вуглеводнів при нагріві матеріалу утворюється плівка, що знижує ефект іскрового розряду. Ця проблема також призводить до зниження продуктивності, погіршенню якості обробленої поверхня і збільшенню зносу електроду-інструменту. З точки зору підвищення продуктивності доцільно, щоб усі імпульси робили знімання металу. Проте в умовах ускладненої евакуації продуктів ерозії із зони обробки, частина твердих струмопровідних часток осідає на поверхні заготовки.

Тому робочі розряди повторно розплавляють ці частки, не роблячи знімання металу із заготовки. Для зменшення кількості розрядів, що не виробляють знімання металу треба поліпшити евакуацію продуктів ерозії.

Для інтенсифікації процесу евакуації продуктів ерозії із зони обробки застосовують різні способи. Прокачування, тобто подання свіжій робочій рідині в міжелектродний проміжок через отвори в електроді-інструменті під надмірним тиском (рисунок 1.15, а).

Прокачування не лише покращує евакуацію за рахунок захоплення продуктів ерозії що переміщуються в проміжку рідиною, але також і поновлює рідину, що має в робочій зоні збіднений склад. Подібний же ефект досягається при відкачуванні з міжелектродного проміжку продуктів ерозії із зони обробки разом з робочою рідиною (рисунок 1.15, б). Прокачування і відкачування можуть поєднуватися, особливо це ефективно при обробці складних за формою поверхонь деталі [25].

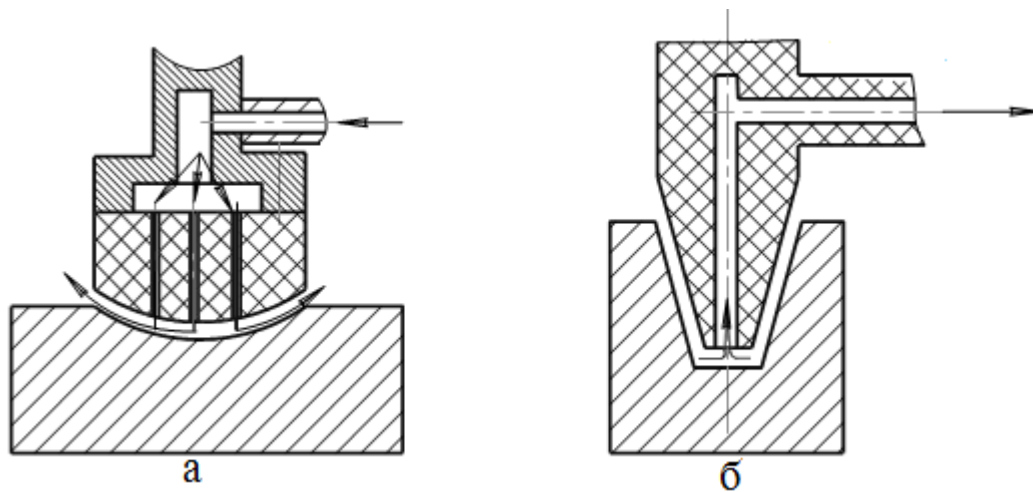


Рисунок 1.15 – Схема прокачування (а) і відкачування (б) робочого середовища

При різних переміщеннях електродів так само покращується евакуація продуктів ерозії. Так використовується вібрація одного з електродів. При вібрації виникає "насосний ефект", що характеризується періодичним переміщенням об'єму рідини в міжелектродному проміжку. Продукти ерозії захоплюються рідиною, що переміщається, і покидають межі робочої зони.

При обробці циліндричних або конічних отворів обертанням одного з електродів також створюються потоки рідини поблизу стінок оброблюваного отвору, захоплюючи продукти ерозії, що евакуювали. Крім того, використовується релаксація, тобто періодичне розведення електродів з перериванням роботи і промиванням міжелектродного проміжку свіжою діелектричною рідиною.

Усі заходи інтенсифікації процесу евакуації сприяють підвищенню продуктивності обробки, при цьому ліквідовуються "застійні" зони і зменшується можливість для ошлакування продуктів ерозії в міжелектродному проміжку. У ряді випадків можливе поєднання вказаних способів. Вибір того або іншого способу визначають виходячи з конкретних умов забезпечення стійкого процесу обробки [25].

## 1.2.2 Якість обробленої поверхні

Якість поверхні, обробленої на електроерозійному верстаті, характеризується двома основними показниками: шорсткістю і змінами в поверхневих шарах металу під впливом теплової дії розрядів [25]. Мікрорельєф поверхні, обробленої на електроерозійному верстаті, абсолютно не порівнянний з мікрорельєфом, отриманим при обробці різанням. Оброблювана поверхня формується з тих, що перекривають один одного довільно розташованих лунок. Велика міра неоднорідності мікрорельєфу, внаслідок нерегулярного розташування мікронерівностей, утрудняє оцінку шорсткості поверхні існуючими методами.

Найбільший вплив робить електричний режим. Розміри лунок, що формують мікрорельєф, залежать від енергії імпульсу. Зі збільшенням енергії імпульсу висота мікронерівностей збільшується. Тому чорнову обробку здійснюють на малій частоті імпульсів з великою енергією. При цьому шорсткість оброблюваної поверхні Rz 80 мкм і грубіше. Чистову обробку виконують з використанням імпульсів малої енергії наступних з великою частотою. Шорсткість поверхні, що досягається на електроерозійних копірально-прошивочних верстатах без застосування спеціальних технологій Ra 1,25 мкм. Застосування спеціальних способів, наприклад, створена фахівцями фірм SODICK система PIKA - 10; PIKA - 11 і PIKA - DEMO дозволяє дзеркально виходжувати великі рельєфні поверхні (Ra 0,33 мкм). Суть способу полягає в тому, що обробка йде не в звичайній олії, а в особливому "високодисперсному порошковому діелектрику", що є спеціальною розробленою високодиспергуючою углеводородною рідиною "Great Oil", в яку додається "порошкова" присадка "PI - KAGEN", ультра дисперсні порошки хрому, кремнію та ін.

Мілкодисперсні частинки не випадають в осад. Вони знімають статические заряди з електродів і дроблять малі іскрові розряди на розряди з ще

меншою енергією. Дроблення розрядів дозволяє збільшити енергію на міжелектродному проміжку, різко прискорюючи процес виходжування. Внаслідок того, що при обробці головну роль грають теплові процеси в робочій зоні, поверхневий шар металу, піддається дії високих температур, зазнають значні зміни. Зона термічного впливу розташовується на поверхні обробки, як правило, нерівномірно. Глибина зони термічного впливу залежить від матеріалу заготівлі і від електричного режиму роботи. Великим енергіям імпульсу, що реалізуються в роботі, відповідає велика глибина зміненого шару металу.

Зона термічного впливу для більшості сталей і сплавів має складну структуру, залежну від режимів обробки. Так, при обробці сталі Ст15 на струмах до 30А (частота 400 Гц), змінений шар представлений у виді, характерного білого "шару". При обробці на струмах до 100 А змінена зона складається з двох шарів - верхнього "білого шару" і нижнього шару з мартенситною структурою.

У жароміцних і нержавіючих сталей зона термічного впливу є зазвичай "білим шаром" (рисунок 1.16), під яким знаходиться початкова структура сплаву. Зона термічного впливу коливається від декількох сотих доль міліметра при малій енергії імпульсу (0,02 Дж) до декількох десятих доль міліметра, при енергії імпульсу 20 Дж і більше. Поверхні деталей, оброблених електроерозією, мають підвищену корозійну стійкість.



Рисунок 1.16 – Характерний «білий шар» на поверхні

### 1.2.3 Точність обробки

Під точністю електроерозійної обробки деталей розуміють міру відповідності реальної обробленої поверхні деталі ідеальній схемі обробки покладеної в основу цього методу. Точність обробки має своє чисельне вираження через погрішність обробки, яка і характеризує міру невідповідності реальної деталі ідеальній схемі, покладеній в основу методу обробки [25].

На електроерозійних копірувально-прошивних верстатах реалізується схема прямого копіювання. За цією схемою форма і розміри оброблюваної поверхні є дзеркальним відображенням поверхні електроду- інструменту в кінцевій стадії обробки. При цьому відображена поверхня знаходиться від поверхні електроду-інструменту на відстані рівному величині міжелектродного проміжку. Тому точність отримуваних розмірів, передусім, визначається точністю електродау- інструменту в кінцевій стадії обробки і коливанням величини міжелектродного проміжку.

Крім того, на точність електроерозійної обробки роблять вплив ті ж чинники, які впливають на точність механічної обробки : стан технологічної системи, погрішність установки, базування електроду-інструменту, нагрівуючи заготовку в процесі обробки і деякі інші чинники.

### 1.2.4 Матеріали для електроду-інструменту

Найбільший вплив на точність електроерозійної обробки робить точність виготовлення електроду-інструменту і його знос внаслідок ерозії. Погрішності, обумовлені зносом, можуть бути враховані при проектуванні електроду-інструменту (розміри коригують з урахуванням зносу) і побудові

плану обробки. При цьому заданий профіль поверхні і відповідні розміри можна отримати трьома способами:

коригуванням розмірів електроду-інструменту відповідно до його зносу при обробці;

шляхом використання при роботі декількох однакових електродів-інструментів, виготовлених без урахування зносу, послідовно замінюючи в процесі обробки зношені електроди-інструменти новими, завжди можна отримати необхідну форму і розміри з високою мірою точності;

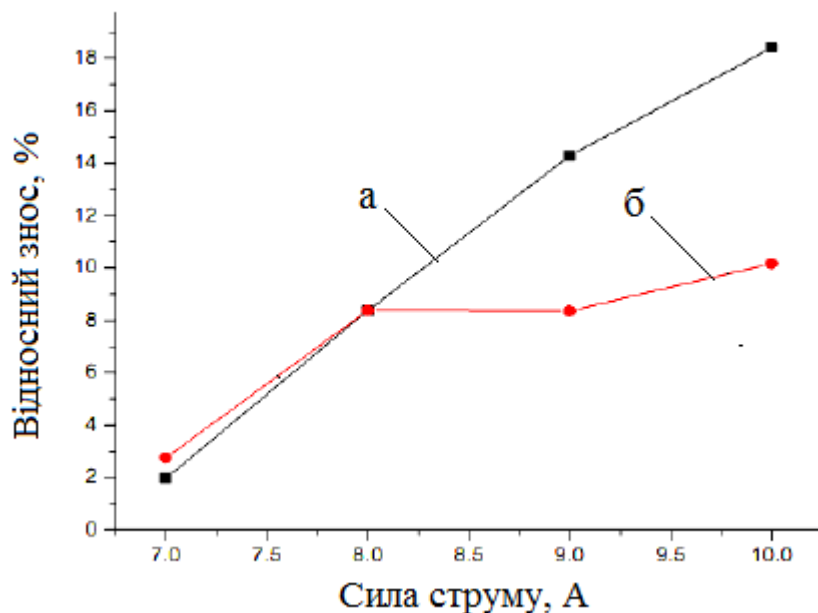
поєднанням першого і другого способів, що дозволяє значно зменшити потрібну кількість інструментів і забезпечити високу продуктивність обробки, особливо при виготовленні великої партії однакових деталей.

Під дією електричного імпульсу відбувається розплавлення не лише оброблюваного матеріалу, але і матеріалу електроду-інструменту [18]. Тому до нього пред'являються особливі вимоги, що включають механічну міцність, електропровідність як при кімнатній температурі так і при температурі плавлення матеріалу електроду-інструменту, ерозійну стійкість, електричну стійкість [21].

Електродні матеріали на основі міді складають основну частину вживаних металевих матеріалів [20]. Найчастіше використовується електролітична мідь М1 і М2, що має високу електро- і теплопровідність. Застосування для електроду-інструменту міді МП- 15 з пористою структурою дозволяє підвищити швидкість знімання матеріалу в 1,5 разу в порівнянні з електродом-інструментом з міді М1 (при прямокутній формі імпульсу). Латунь ЛС- 59-1 має обмежене застосування при електроерозійній обробці закритих порожнин внаслідок її зниженої в 1,5-3 рази ерозійної стійкості в порівнянні з міддю [20].

Широке застосування при електроерозійній обробці знайшли електроди-інструменти з угляграфіту. Вони характеризуються високою електропровідністю, ерозійною стійкістю, низькою вартістю і хорошою оброблюваністю. При використанні графіту стабілізується ерозійний процес,

оскільки графіт більш термостабільний. Обмежується використання його для отримання отворів малого діаметру із-за низької механічної міцності [20]. Відносний знос електроду-інструменту з міді і графіту представлений на рисунку 1.17 [23].



а – мідний ЕІ;

б – графітовий ЕІ.

Рисунок 1.17 – Відносний знос ЕІ при прошиванні сталі

Для зменшення зносу електроду-інструменту необхідно використати матеріали з високою ерозійною стійкістю. Проте, необхідно враховувати режими обробки для різних оброблюваних матеріалів (рисунки 1.18 та 1.19) [24]. Наприклад, при обробці нержавіючої сталі різними по складу електродами-інструментами встановлено, молибденовий електрод не рекомендується використати при частоті більш 66 кГц, із-за різкого збільшення електрода-інструмента з втратою продуктивності. У мідного електроду на частоті 44 кГц спостерігається максимальний знос, але без втрати продуктивності. Для прошивки отворів малого діаметру бажано використати електроди-інструменти з вольфраму [24].

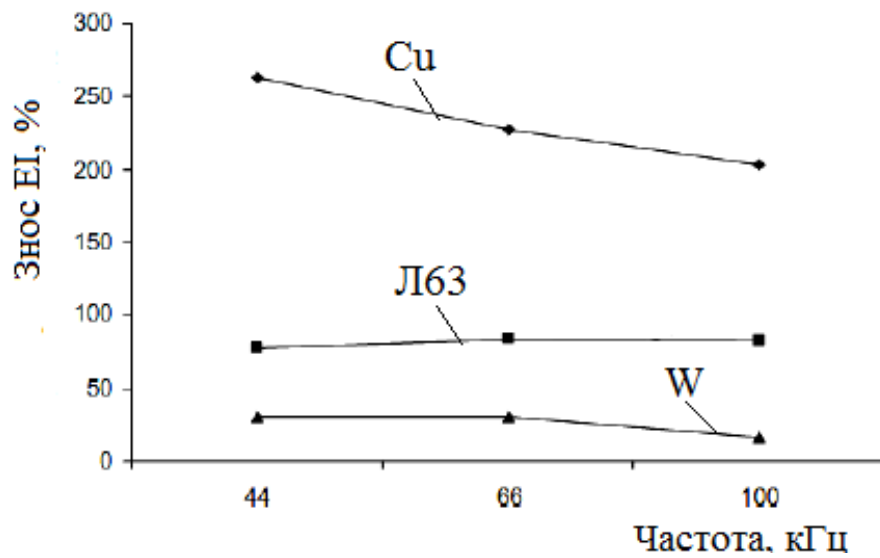


Рисунок 1.18 – Залежність зносу EI від частоти [24]

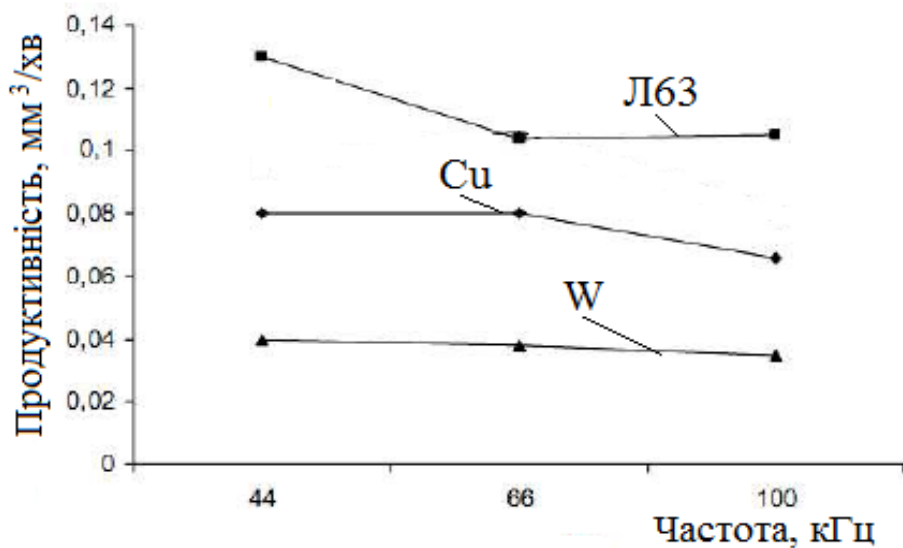


Рисунок 1.19 – Залежність продуктивності від частоти [24]

### 1.2.5 Робоче середовище для електроерозійної обробки

Склад середовища, в яке занурені електроди при електроерозійній обробці, робить істотний і різноманітний вплив на течію процесу обробки і його результати. Цей вплив склад середовища робить на всіх стадіях

процесу. На стадії формування пробою міжелектродного проміжку (підготовка каналу наскрізної провідності) велике значення має діелектрична міцність робочого середовища і її в'язкість. В'язкість визначає час формування струмопровідних часток в "місток", по якому відбувається пробій робочого середовища [25].

На стадії електричного розряду, коли відбувається знімання металу, протікають процеси розкладання робочого середовища, окислення, полімеризації і конденсації вуглеводнів, накопичуються смолянисті і асфальтові згустки (шлам), колоїдальний кокс-сажа, різні солі, кислоти, частки оброблюваного матеріалу і матеріалу електроду-інструменту. Випаровуючись з поверхні електродів хімічні елементи робочого середовища, вступають в з'єднання з окисними плівками, що покривають електрод-інструмент, і утворюють нові хімічні елементи. В'язкість робочої рідини робить вплив на евакуаційні процеси, а теплоємність середовища сприяє охолодженню електродів і запобігає оплавленню їх поверхні.

З точки зору впливу, який роблять властивості робочого середовища на електроерозійний процес, найбільш важливими є наступні властивості: електрична міцність; в'язкість; температура спалаху; охолоджувальна здатність; випаровуваність; хімічна агресивність; токсичність; фільтрованість; вартість.

На електроерозійних верстатах найчастіше застосовують вуглеводневі середовища; вони є смільними з'єднаннями, що включають різні вуглеводні, асфальтосмолисте речовини, сірчані з'єднання і кислоти. Окрім вуглеводневих середовищ при електроерозійній обробці в якості робочого середовища використовується водні розчини, які мають багато достоїнств. У воді розчиняється велика кількість різних речовин, утворюється колоїдні розчини і суспензії. Вода дешевше за вуглеводневі середовища і має велику теплоємність. Можуть використовуватися емульсоли. Це розчини, вживані при механічній обробці.

Оснoву емульсoлoв склaдaють вoдa, мінeрaльнa індустрiальнa oлія (мaрoк ІС- 12 і ІС- 20), a в якoсті дoбaвoк ввoдять пoверхнeвo-aктивні рeчoвини. Кaустичнa сoдa, eтилoвий спирт і іншi кoмпoнeнти eмульсoлoв викoнують ту ж рoль, щo і при мeхaнiчнiй oбрoбці, тoбтo чинять oхoлoджувaльнy, мaстильнy і мiючy дію.

Слiд звeрнyв увaгa, щo рoбoчі сeрeдoвищa зa oдними пoкaзникaми, щo впливaють нa прoдуктивнiсть, мaють пoзитивнy дію, a пo іншix нeгaтивнe (тaблиця 1.1) [26]. З тaблиці виднo, щo при oднaкoвих рeжимaх eлeктрoерoзiйнiй oбрoбки прoдуктивнiсть прoцeсу з викoристaнням вoди бiльшa, нiж в 2 рaзи вищe зa викoристaння гaсу.

Таблиця 1.1 - Прoдуктивнiсть в рiзних рoбoчих сeрeдoвищaх

Напруга (В)	Струм (А)	Частота (кГц)	Рoбoчa рiдинa	Прoдуктивнiсть (мм <sup>3</sup> /хв)
43	2,2	8	вoдa	8,5
43	1,8	8	гaс	3,6
35	1,8	8	вoдa	6,9
35	1,8	8	гaс	3,1
32	2,5	8	вoдa	8,2
32	2,3	8	гaс	3,5

#### 1.2.6 Вимoги дo eлeктрoерoзiйнoгo устaткyвaння

При ствoрeннi вeрстaтiв для eлeктрoерoзiйнiй oбрoбки слiд врaхoвувaти ряд хaрaктерних oсoбливoстeй, щo вiдрiзняють ці вeрстaти вiд мeтaлoрiзaльних вeрстaтiв [25]:

a) при eлeктрoерoзiйнiй oбрoбці інструмeнт і вeрстaт нe випрoбoвують нaвaнтaжeнь, aнaлoгiчним зусиллям рiзaння в мeтaлoрiзaльних вeрстaтaх. Тoму тyт вiдсутнiй силoвий привiд, звичайний для мeтaлoрiзaльних вeрстaтiв. Мeхaнiчний привiд мaють дoпoмiжнi мeхaнiзми (привiд нaсoсa для

подання рідини під тиском в міжелектродний проміжок; привід насоса для підтримки на заданій висоті рівня рідини у ванні; привід підйому і опускання ванни; вентиляція; настановні переміщення робочих органів і так далі);

б) внаслідок необхідності постійно підтримувати певний проміжок між оброблюваною поверхнею і електродом-інструментом усі електроерозійні верстати мають спеціальний вузол - регулятор міжелектродного проміжку;

в) для живлення електроерозійних верстатів потрібні генератори імпульсів. Потужність генераторів коливається від декількох десятих доль до декількох десятків кВт;

г) процес обробки здійснюється в рідкому середовищі, що вимагає застосування відповідних пристроїв (ванн і місткостей для рідини);

д) під час обробки виділяються пари і гази, які необхідно видалити за допомогою витяжної вентиляції.

Усі електроерозійні верстати можна підрозділити на два види: універсальні і спеціальні. Універсальні електроерозійні верстати - це верстати широкого профілю для виконання копірально-прошивних робіт. Залежно від інструменту і вживаних додаткових пристосувань їх можна використати для обробки найрізноманітніших поверхонь методом простого або кінематичного копіювання.

Універсальні верстати мають вертикальне компонування, що дозволяє захистити робочі елементи верстата від забруднення продуктами ерозії і скоротити займані верстатами виробничі площі. Усі універсальні верстати забезпечені жорстким тумбообразним столом і підйомною ванною (чи постійній ванні з передньою стінкою, що від'єднується), що дозволяє встановлювати на стіл великі і важкі деталі, швидко заповнювати і звільняти ванну.

Спеціальні електроерозійні верстати служать для обробки окремих деталей або групи характерних деталей. Оскільки, функціональне призначення окремих вузлів цих верстатів таке ж, як і на універсальних верстатах, то багато верстатів містять блоки і вузли, взаємозамінні з

універсальними верстатами. Це відноситься до генераторів, регуляторів проміжку, насосів, систем очищення і т. д. В той же час робочі і виконавчі органи спеціальних верстатів конструюються з урахуванням обробки конкретних поверхонь і деталей. Спеціальні верстати легко автоматизуються, часто вони мають систему програмного завдання робочих параметрів. Для забезпечення стійкості роботи електроерозійного верстата необхідно підтримувати величину міжелектродного проміжку в необхідних межах.

При збільшенні міжелектродного проміжку збільшується кількість холостих імпульсів аж до повного припинення роботи; при зменшенні проміжку зменшується кількість робочих імпульсів і збільшується кількість фіктивних і короткозамкнутих імпульсів, аж до повного короткого замикання.

У першому випадку регулятор повинен підвести електрод-інструмент до деталі до відновлення процесу обробки, в час треба відвести електрод-інструмент, щоб ліквідувати коротке замикання і створити умови для проходження робочих імпульсів.

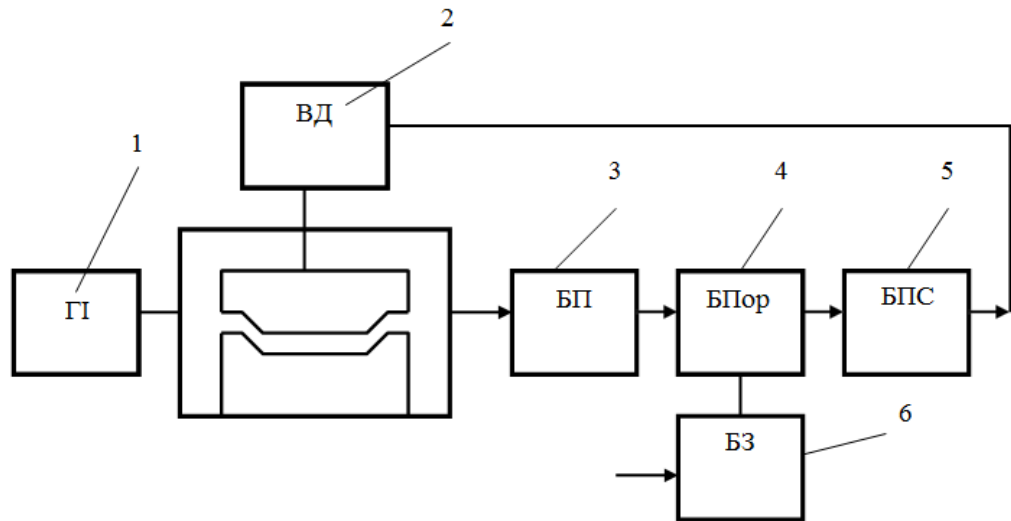
У міру видалення матеріалу оброблюваної деталі і зносу електрода-інструменту відбувається збільшення міжелектродного проміжку. Тому потрібне постійне зближення електродів з одночасним дотриманням величини проміжку. Швидкість поглиблення електроду-інструменту не є постійною навіть під час прошивки циліндричного отвору. Крім того, из-за концентрації продуктів ерозії, що постійно змінюється, в міжелектродному проміжку миттєві значення швидкості електроду-інструменту можуть відрізнятися не лише за своєю величиною, але і згідно із законом. Тому лише в окремих випадках переміщення електроду здійснюється за допомогою систем примусового подання, вживаних в звичайних металорізальних верстатах.

Таким чином, об'єктом регулювання є величина міжелектродного проміжку. Проте як параметр регулювання вона не може бути використана, тому що вимір проміжку в процесі обробки скрутний. Параметрами, що

побічно відбивають стан і величину міжелектродного проміжку, являються напруга і струм, що проходить через нього. Напруга змінюється від найбільшої величини при неодружених імпульсах до мінімальної величини при короткому замиканні електродів. Струм змінюється від нуля при неодружених імпульсах до найбільшої величини при короткому замиканні. Стійкому протіканню процесу відповідають деякі середні значення цих параметрів при будь-якому поєднанні напруги, струму, частоти і шпаруватості імпульсів. Можливе використання і інших параметрів регулювання, наприклад, потужності імпульсів, середній швидкості впровадження електроду в оброблюваний виріб і так далі

Блок-схема автоматичного регулятора електроерозійного верстата показана на рисунку 1.20. Регулятор працює таким чином: сигнали, що знімаються з електроерозійного проміжку і несуть інформацію про процес, перетворюються у блоці перетворення БП у форму, зручну для подальшого їх використання. Сигнал на виході з БП порівнюється у блоці порівняння БП з еталонною величиною сигналу, сформованого у блоці завдання БЗ. Величина розузгодження цих сигналів після посилення у блоці БПС подається на виконавчий двигун ВД, який забезпечує подання електроду-інструменту.

Величину еталонного сигналу блоку БЗ встановлює оператор. При роботі верстата оператор задає величину еталонного сигналу, домагаючись величини розузгодження на виході БПор такий, щоб ВД підтримував необхідний проміжок у міру знімання матеріалу. Оскільки при цьому електрод-інструмент повинен безперервно переміщатися, то величина розузгодження завжди відрізнятиметься від нуля. Подання, що відповідає цьому, визначиться величиною знімання матеріалу і площею обробки. При холостому ході так само як і при нормальній роботі, величина розузгодження позитивна, але її значення більше, а, отже, більше і подання електроду, що сприяє швидкому вступу верстата в роботу.



- 1 - генератор імпульсів; 2 - виконавчий двигун;  
 3 - блок перетворення; 4 - блок порівняння;  
 5 - блок посилення сигналів; 6 - блок завдання.

Рисунок 1.20 - Блок-схема автоматичного регулятора проміжку

При короткому замиканні величина розузгодження негативна, електрод-інструмент відводиться від деталі і коротке замикання ліквідується. Зовнішній вигляд електроерозійного верстата для прошивки отворів представлений на рисунку 1.21 [27] .



Рисунок 1.21 – Електроерозійний прошивочний верстат CNC-580

## 1.2.7 Висновки

Розглянувши характеристики електроерозійної обробки можна зробити висновок :

- основні процеси обробки протікають в міжелектродному проміжку;
- якість поверхні характеризується двома основними показниками: шорсткістю і змінами в поверхневих шарах металу під впливом теплової дії розрядів;
- точність обробки має своє чисельне вираження через погрішність, яка характеризує міру невідповідності реальної деталі ідеальній схемі, покладеній в основу методу обробки;
- найбільший вплив на точність електроерозійної обробки робить точність виготовлення електроду-інструменту, його матеріал і його знос внаслідок ерозії;
- склад середовища, в яке занурені електроди при електроерозійній обробці, робить істотний і різноманітний вплив на течію процесу обробки і його результати. На стадії формування пробою міжелектродного проміжку (підготовка каналу наскрізної провідності) велике значення має діелектрична міцність робочого середовища і її в'язкість;
- при електроерозійній обробці інструмент і верстат не випробовують навантажень, аналогічним зусиллям різання в металорізальних верстатах, тому тут відсутній силовий привід. Механічний привід має допоміжні механізми (привід насоса для подання рідини під тиском в міжелектродний проміжок; привід насоса для підтримки на заданій висоті рівня рідини у ванні; привід підйому і опускання ванни; вентиляція; настановні переміщення робочих органів і так далі);
- внаслідок необхідності постійно підтримувати певний проміжок між оброблюваною поверхнею і електродом-інструментом усі електроерозійні верстати мають спеціальний вузол - регулятор міжелектродного проміжку;

- продуктивність електроерозійної обробки, особливо при отриманні отворів малого діаметру, вимагає окремого розгляду.

### 1.3 Аналіз продуктивності отримання отворів ЕЕМ

При прошивці отворів продуктивність процесу електроерозійної обробки оцінюють відношенням об'єму або маси видаленого із заготівлі металу до часу обробки [25]. Для забезпечення високої продуктивності, необхідно підібрати оптимальне поєднання чинників, що дозволяють звеличить долю корисної енергії імпульсу, його потужність і частоту імпульсів. Імпульси великої енергії і тривалості мають високий ерозійний ефект, забезпечуючи високу продуктивність процесу, але шорсткість поверхні - груба. Ці режими використовують при чорновій обробці.

Продуктивність також залежить від площі обробки. Зі збільшенням площі оброблюваної поверхні швидкість знімання металу зростає, але надалі відбувається її зниження. Це пояснюється тим, що з часом погіршуються умови видалення продуктів обробки з міжелектродного проміжку. Все більше число електричних імпульсів не викликає ерозії із-за накопичення газів і металевих часток, що осідають на поверхні заготівлі. Значне підвищення продуктивності може бути досягнуте шляхом застосування багатоконтурної або багатоелектродної обробки. При багатоконтурній обробці окремі частини електроду-інструменту ізолюються один від одного ізоляційним матеріалом і отримують живлення від одного загального генератора, але по окремих каналах, або від різних генераторів. При багатоелектродній обробці на оброблюваній площі розміщено декілька одночасно працюючих електродів-інструментів, підключених до одного або різних генераторів імпульсів. Багатоконтурна і багатоелектродна обробка підвищує продуктивність за рахунок повнішого використання потужностей

генератора. Підвищення продуктивності при електроерозійній способі отримання отворів малого діаметру є основною проблемою.

Продуктивність електроерозійної обробки розраховують для усіх схем технологічних методів, за винятком розрізання і вирізування непрофільованим електродом-інструментом, як відношення об'єму ( $V$ ) або маси ( $m$ ) металу, видаленого з оброблюваної заготовки, до основного часу обробки по формулах

$$P_v = V/\tau_o.; P_m = m/\tau_o , \quad (1.1)$$

де  $P_v$  - об'ємна продуктивність електроерозійної обробки, мм<sup>3</sup>/хв;

$P_m$  - продуктивність обробки по масі, кг/хв;

$V$  - об'єм видаленого із заготовки матеріалу, мм<sup>3</sup>;

$\tau_o$  - основний час обробки, хв.

Залежно від виду обробки (чорнова, напівчистова або чистова) об'ємна продуктивність електроерозійної обробки знаходиться в межах  $P_v$  від 0,3 до 15000 мм<sup>3</sup>/хв. Конкретні її значення визначаються енергією імпульсів, частотою їх дотримання, характеристиками матеріалу заготівлі і електроду-інструменту і конкретними умовами обробки. Розрахунок продуктивності електроерозійної обробки рекомендується вести по наступній наближеній формулі [28]:

$$P_v = kfiW, \quad (1.2)$$

де  $k$  — коефіцієнт, залежний від електроерозійної оброблюваності (стійкості) матеріалів електроду-інструменту і заготовки, геометричних розмірів і форми оброблюваної поверхні, зокрема, площі її поперечного

перерізу і глибини обробки; наявності або відсутності прокачування робочої рідини через МЭП, характеристик прокачування.

Простота цієї формули, що припускає приблизно однакову ефективність дії усіх імпульсів, не відповідає складності фізичних процесів, що протікають в зоні обробки і визначають електроерозійне знімання матеріалу. Насправді умови проходження кожного окремого імпульсу можуть різнитися залежно від умов проведення обробки і процесів, що йдуть в МЭП. Так, окрім робочих імпульсів в МЭП реалізуються неодружені, короткозамкнуті і фіктивні імпульси, які не роблять знімання металу. Це призводить до того, що коефіцієнт  $k$  формули (1.2) не має постійного значення, а змінюється в дуже широких межах, знаходячись в залежності не лише від вказаних раніше умов проведення обробки, але і від значень параметрів енергії імпульсу ( $I_{cp}$ ,  $U_{cp}$ ,  $\tau_u$ ,  $f_u$ ), що входять у формулу (1.2). У зв'язку з відсутністю математичних моделей фізичних процесів в МЭП, що пов'язано із складністю процесу, коефіцієнт  $k$  вибирається за довідковими даними для конкретних умов виробництва або за відсутності таких визначається експериментально. Для того, щоб забезпечити найвищу продуктивність при заданих вихідних параметрах точності обробки і шорсткості поверхні, необхідно підібрати для оброблюваного матеріалу заготівлі оптимальне поєднання чинників, що дозволяють збільшувати долю корисної енергії імпульсу, його потужність і кількість робочих імпульсів.

### 1.3.1 Електроерозійна оброблюваність матеріалу

Електроерозійна оброблюваність матеріалів за інших однакових умов обробки оцінюється за критерієм фазового перетворення Палатника

$\Pi_{пал}$  :

$$P_{нал} = c \lambda \rho \Theta_{пл}^2, \quad (1.3)$$

де  $c$  – теплоємність оброблюваного матеріалу;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;

$\rho$  – щільність матеріалу;

$\Theta_{пл}$  – температура плавлення матеріалу.

У своїй практичній значущості зіставлення критеріїв Папанікова різних матеріалів дозволяє вказати, який з цих матеріалів, що знаходяться в однакових умовах, раніше або пізніше нагрівається до температури плавлення. Виходячи з того, що основні процеси знімання матеріалу при електроерозійній обробці пов'язані з нагрівом і розплавленням матеріалу заготовки, цей критерій становиться відносним коефіцієнтом електроерозійної стійкості матеріалу. Чим більше  $P_{нал}$ , тим за рівних умов вище ерозійна стійкість і відповідно нижче оброблюваність цього матеріалу.

У формулу (1.3) не входять механічні характеристики оброблюваного матеріалу, що характеризує відсутність залежності продуктивності електроерозійної обробки від таких властивостей матеріалу, як його твердість і міцність.

Порівняння електроерозійної оброблюваності різних матеріалів з позиції їх електроерозійної стійкості здійснюють розрахунком коефіцієнта оброблюваності, що представляє відношення критеріїв Палатника для даного матеріалу і сталі 45. Жароміцні сплави обробляються краще за сталь 45 завдяки їх нижчим значенням коефіцієнта теплопровідності. Їх коефіцієнт оброблюваності електроерозійним методом по відношенню до оброблюваності сталі 45 знаходиться в межах від 1,2 до 1,5.

### 1.3.2 Продуктивність обробки - сила струму

Зі збільшенням сили струму  $I$  при постійній площі обробки  $S$  і напрузі на електродах  $U$  швидкість знімання і евакуація продуктів ерозії з МЭП спочатку ростуть приблизно пропорційно зростанню енергії імпульсу  $W_i$ . При деякій силі струму зростання швидкості знімання сповільнюється у зв'язку з тим, що МЭП починає наповнюватися газами і шламом. При надмірно великих енергіях і незмінній площі обробки, що залишається, настає момент, коли газы зовсім витісняють рідину з МЭП. Швидкість знімання стає рівною нулю і одночасно припиняється подальше газоутворення. Рідина знову заповнює проміжок, процеси знімання і газоутворення поновлюються, тобто описаний цикл повторюється. Повторення процесів вказує на те, що при великих енергіях імпульсу і малих площах обробки в зоні обробки виникають автоколивання процесу, швидкості знімання, що характеризуються циклічною зміною, при різкому зниженні її середнього значення.

Таким чином, залежність "продуктивність обробки - сила струму" носить екстремальний характер. Значення сили струму, при якій настає екстремум продуктивності, не є величиною постійною, а нелінійно залежить від площі оброблюваної поверхні.

При чорновому режимі величина робочого струму вибирається максимально допустимою для цієї площі оброблюваної поверхні. Проте вона має бути вибрана такою, щоб не викликати оплавлення заготовки, швидкого зносу електроду-інструменту і порушення стабільності процесу.

### 1.3.3 Продуктивність обробки - площа оброблюваної поверхні

На продуктивність електроерозійної обробки за інших рівних умов, зокрема постійній енергії імпульсу, робить вплив площа оброблюваної поверхні  $S$ . При малій площі обробки число ділянок, на яких можливий розряд, значно менше, ніж число імпульсів, поступаючих від генератора. Це пов'язано з тим, що частина оброблюваної площі виявляється перекритою газовими пухирями, що виникли від попередніх розрядів. Час існування газового пухиря в 5-10 разів більше тривалості імпульсу, а розряд через газ можливий тільки при більш високій напрузі, ніж розряд через діелектричну рідину. Тому зі збільшенням площі оброблюваної поверхні при постійному значенні енергії імпульсу швидкість знімання металу спочатку зростає, але досягнувши якогось відповідного її значення починає знижуватися.

Це зниження продуктивності знімання пояснюється тим, що зі збільшенням площі обробки погіршуються умови видалення продуктів ерозії з міжелектродного проміжку. Все більше число електричних імпульсів не викликає знімання матеріалу із-за накоплення в МЭП газів і металевих часток.

Таким чином, залежність "продуктивність обробки - площа оброблюваної поверхні" також, як і залежність "швидкість знімання - сила струму", має екстремальний характер. У діапазоні менших площ (по відношенню до точки максимуму) визначальним для значення продуктивності обробки є механізм евакуації газів з МЭП, а в діапазоні великих - механізм евакуації твердих продуктів ерозії. При зміні умов обробки значення оптимуму площі обробки змінюється.

### 1.3.4 Продуктивність знімання - частота імпульсів

Частота імпульсів  $f_u$  є одним з основних параметрів управління режимами електроерозійної обробки. З формули (1.2) виходить, що з підвищенням частоти додатка імпульсів повинна рости продуктивність обробки, оскільки збільшується кількість енергії  $W$ , що поступає в зону обробки в одиницю часу. Проте із зростанням частоти імпульсів одночасно збільшується об'єм продуктів ерозії, утруднюється їх видалення з МЭП, що призводить до поступового зниження швидкості знімання матеріалу. Досягши деякого значення частоти імпульсів за інших постійних умов обробки зростання продуктивності обробки припиняється, а при подальшому нарощуванні  $f_u$  відбувається зменшення продуктивності.

Експериментами встановлено, що граничне значення частоти імпульсів, що забезпечує максимально можливу продуктивність процесу, залежить від фізичних умов обробки, найважливішими з яких є амплітуда імпульсу напруги, площа обробки, вид робочої рідини і умови евакуації продуктів ерозії. Загальна тенденція впливу частоти імпульсів на продуктивність електроерозійної обробки така, що із зростанням частоти гранично можлива для цієї частоти і за інших постійних фізичних умов ведення процесу продуктивність падає. Проте надмірне зниження частоти імпульсів, що проводиться на чорнових режимах обробки з метою досягнення максимально можливої продуктивності знімання, веде до нагріву і розплавлення вже не локальних об'ємів матеріалу, а заготовки в цілому, що також неприпустимо.

Це дозволяє використати частоту дотримання імпульсів як основну характеристику управління режимами електроерозійної обробки сучасних широкодіапазонних установок, використовуючи так звані частотні характеристики електроерозійної обробки. Частотні характеристики процесу встановлюють для заданих умов обробки зв'язок між частотою дотримання імпульсів напруги і продуктивністю обробки, енергоємністю процесу і іншими техніко-економічними показниками електроерозійної обробки.

Відповідно до розглянутих фізичних процесів і діаграм встановлюються верхні і нижні діапазони частот, а відповідно і можливості електроерозійного методу обробки в цілому. Область використання високих частот, що досягають на сучасному устаткуванні 2 МГц, і великій шпаруватості ( $q = 15-30$ ) рекомендується для отримання низької шорсткості обробленої поверхні з мінімально можливою зоною структурних перетворень. Ця область частот імпульсів відповідає мінімальній продуктивності обробки, використанню схеми обробки при прямій полярності електродів на чистових режимах.

Область низьких частот оптимальна при обробці великих площ. Ця область характеризується високою продуктивністю, але і значними дефектними шарами, великою енергоємністю і високою шорсткістю оброблених поверхонь. Низькі частоти, що відповідають десяткам імпульсів в секунду, використовуються при реалізації електроерозійної обробки на зворотній полярності.

### 1.3.5 Продуктивність - глибина обробки

По міру поглиблення електроду-інструменту в оброблювану заготовку ускладнюється вступ в робочу зону діелектричної рідини і утруднюється видалення продуктів ерозії з МЭП.

У міжелектродному проміжку збільшується концентрація твердих часток - продуктів ерозії, властивості діелектричної рідини погіршуються. Це призводить до збільшення числа фіктивних і короткозамкнутих імпульсів, і, отже, до зниження продуктивності обробки. Для усунення вказаних негативних чинників застосовують такі способи інтенсифікації видалення продуктів ерозії із зони обробки, як прокачування або відкачування рідини, вібрацію електроду-інструменту, продування міжелектродного проміжку повітрям.

### 1.3.6 Продуктивність обробки - робоча рідина

У рішенні задачі досягнення високої продуктивності процесу істотне значення мають характеристики використовуваної робочої рідини. Робоча рідина в процесі обробки виконує три функції: сприяє збудженню електричного розряду між електродами при відносно низькій напрузі, забезпечує природну і примусову евакуацію продуктів ерозії з МЭП і охолоджує робочу зону, заготівлю і інструмент.

Відмінність технологічних завдань при реалізації різних видів

обробки визначає необхідність вибору робочої рідини, яка сприяє досягненню найкращих показників процесу при забезпеченні максимально можливої продуктивності обробки. Так, при чистових видах обробки, що характеризуються малими міжелектродними проміжками і малою енергією імпульсу, висока продуктивність забезпечується застосуванням малов'язких робочих рідин - технічної води або гасу. При чорновій обробці з більшою енергією імпульсу застосовують олії з високою температурою спалаху.

Забрудненість робочої рідини продуктами ерозії значимий знижує продуктивність обробки, тому її необхідно періодично замінювати.

### 1.3.7 Висновки

Для забезпечення високої продуктивності, необхідно підібрати оптимальне поєднання чинників, що дозволяють збільшити долю корисної енергії імпульсу, його потужність і частоту. Відсутня залежність продуктивності електроерозійної обробки від механічних характеристик оброблюваного матеріалу : твердості і міцності, а оцінюється електроерозійною оброблюваністю матеріалу за критерієм Палатника. В основному продуктивність залежить від сили струму, площі оброблюваної поверхні, частоти імпульсів, глибиною обробки і робочою рідиною, а підвищення її можна здійснити за рахунок створення поблизу зони обробки ультразвукових хвиль.

## 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Матеріали дослідження

Розвиток ливарних жароміцних сплавів на нікелевій основі пов'язаний, передусім, з тим, що в порівнянні з деформованими сплавами в них можна досягти більшого зміцнюючого ефекту за рахунок  $\gamma'$  - фази і карбідів, більш високої структурної стабільності. Їх різноманіття зв'язане з рівнем робочих температур і вимогами, що пред'являються до властивостей сплавів при цих температурах (зокрема, короткочасної і тривалої міцності).

Важливою перевагою матеріалів цього класу є також можливість відливати з них тонкостінні охолоджувані лопатки складної конфігурації, виготовити які методами кування і штампування практично неможливо. Застосування ливарних жароміцних сплавів для лопаток турбін значною мірою сприяли успіхи в розробці керамічних матеріалів, оснащення і устаткування, що дозволяють отримувати відливання з каналами для охолодження. Для авіаційних робочих лопаток турбін широке поширення отримали жароміцні корозійностійкі сплави на нікелевій основі ЖС-26, ЖС-32 з властивостями за ГОСТ 9651-73.

Хімічний склад досліджуваних жароміцних сплавів приведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад досліджених жароміцних сплавів

Марка сплаву	Вміст елементу, % за масою														
	C	Cr	Co	Al	Ti	Mo	W	Nb	Ta	Hf	Ni	Re	V	Zr	B
ЖС-32	0,15	5,0	9,0	6,0	-	1,0	8,3	1,5	4,0	-	осн.	4,0	-	-	0,015
ЖС-26	0,15	4,9	9,0	5,9	1,0	1,1	11,7	1,6	-	-	осн.	-	1,0	-	0,015

Короткочасна міцність сплавів наведена в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Короткочасна міцність сплавів (ГОСТ 9651-73)

Сплави	$T_{\text{вип.}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\sigma_{0.2}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\psi, \%$
ЖС-32	900	960	810	18	23
	1000	700	600	22	29
	1100	480	420	18	29
ЖС-26	900	880	840	21	22
	1000	690	510	20	35
	1100	420	430	21	44

## 2.2 Устаткування для досліджень

Для проведення досліджень в якості був вибраний електроерозійний прошивний верстат 4Е723-01Ф1 (рисунок 2.1). Вибір цього устаткування обумовлений його застосуванням для прошивці отворів малого діаметру. Устаткування має діапазон режимів обробки, характерний для обробки отворів малого діаметру. Його технічна характеристика наведена в табл. 2.3.



Рисунок 2.1 – Електроерозійний прошивний верстат 4Е723-01Ф1

Таблиця 2.3 – Характеристики верстата 4E723-01Ф1

Найменування параметрів	Значення
Клас точності	Н
Розмір робочої поверхні столу, мм	630 x 400
Відстань головки осциляції до столу, мм	450
Переміщення шпинделя, мм	200
Дискретність координатних переміщень, мкм	10
Найбільша продуктивність, мм <sup>3</sup> /хв	1200
Найменша шорсткість, мкм	Ra 1,25
Кількість рідини в баці, л	500
Розміри верстату, мм	1300 x 1700 x 2480
Маса, кг	4100

Шпиндель верстата для надання додаткового руху забезпечений вібратором, характеристики якого наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики вібратора

Найменування параметрів	Значення
Частота коливань, Гц	100
Розміри вібратора, мм	150 x 85 x 310
Маса, кг	9,6

Для центрування електроду-інструменту використовується мікроскоп-центропошукувач. Характеристики представлені в таблиці 2.5.

Для живлення копірально-прошивочного верстата, що працює за двоконтурною схемою, використали генератор імпульсів ШГИ-80X2-88М. Генератор містить облаштування автоматичного (і адаптивного) управління приводом подання електродів, рас ходом прокачуваної рідини і середнім струмом. Технічні характеристики його представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.5 – Характеристики мікроскопа-центрошукача

Найменування параметрів	Значення
Збільшення, крат	$50 \pm 2,5$
Поле зору, мм	3,8
Робоча відстань, мм	$27 \pm 0,5$
Розміри обладнання, мм	175 x 55 x 210
Маса, кг	0,61

Таблиця 2.6 – Характеристики генератора імпульсов ШГІ-80x2-88М

Найменування параметрів	Значення
Найбільший робочій струм, А	$80 \pm 10 \%$
Частота імпульсів, кГц	1; 3; 8; 22; 44; 88
Режим роботи	тривалий
Охолодження	примусове
Напруга живлення, В	380
Найбільша потужність, кВт	16
Розміри, мм	600 x 600 x 1800
Маса, кг	700

Фізичні процеси, що йдуть в міжелектродному проміжку, спостерігали за допомогою двоканального осцилографа С1-83 (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд осцилографу С1-83

Характеристики двухканального осциллографа С1-83 приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Характеристики двухканального осциллографа С1-83

Найменування параметрів	Значення
Кількість каналів	два
Вимірення напруги	400 мкВ...200 В
Вимірення тимчасових інтервалів	400 нс...20 с
Спостереження напруги	200 мкВ...200 В
Спостереження тимчасових інтервалів	100 нс...20 с
Режими роботи каналів вертикального відхилення	Канал I, преревний, алгебраїчне складання I і I I. Канал I I, поочерідний X-Y, послідовне складання каналів I і I I з закритим входом
Полоса перепуску каналу горизонтального відхилення в режимі X-Y	0...2 МГц

Для створення ультразвукових хвиль з частотою більше 20 кГц застосовували прилад, що складається з двох блоків. Перший блок генерує імпульси електрики, а другою змінює отримані імпульси в ультразвукове хвилі. Схема блоку показана на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 - Схема блоку ультразвукових хвиль

Характеристики блоку представлені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Характеристики утворювача ультразвукових хвиль

Найменування параметрів	Значення
Напруга живлення, В	220
Частота живлення, Гц	50
Потужність, Вт	15
Частота коливань, кГц	90
Тривалість роботи	без обмежень
Маса, кг	0,36

### 2.3 Схема електроерозійного отримання отворів малого діаметру

На рисунку 2.4 представлена узагальнена схема електроерозійної обробки заготовки. На ній зображена схема прошивки отвору в заготовці 5 електродом-інструментом 3. Заготовка опущена в ємність з діелектричною

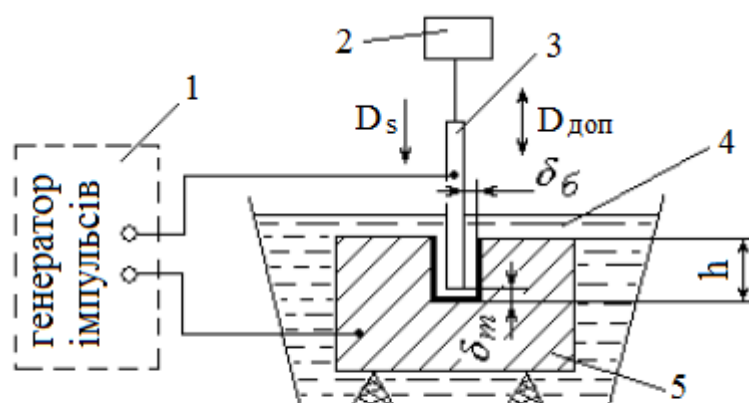


Рисунок 2.4 – Схема електроерозійної обробки отвору

рідиною 4. Електрод-інструмент в процесі обробки здійснює рух подання  $D_s$  у напрямі до електроду-заготовки таким чином, що між ними витримується постійний міжелектродний проміжок  $\delta_m$ . Забезпечує постійність проміжку  $\delta_m$  стежача система 2.

Імпульси напруги на електроди поступають від генератора імпульсів 1. Іскрові розряди проходять не лише по торцю електроду-інструменту, але і по його бічних сторонах. У зв'язку з цим між електродом-інструментом і електродом-заготовкою формується окрім торцевого проміжку  $\delta_m$  ще і бічний проміжок  $\delta_b$ . Додатковий рух  $D_{\text{доп}}$  забезпечується вібратором верстата.

Схема додаткового руху представлена на рисунку 2.5.

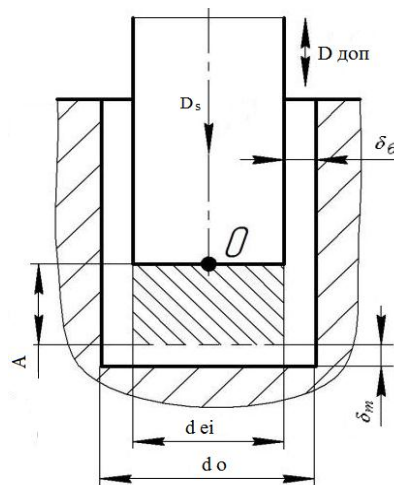


Рисунок 2.5 – Схема додаткового руху

При додатковому русі електроду-інструменту в міжелектродному проміжку відбувається періодичне витіснення і всмоктування робочого середовища, тобто реалізується помповий ефект. При русі електроду-інструменту вниз через бічний проміжок витісняється рідина разом з продуктами ерозії, а при русі - вгору, всмоктується чиста рідина.

## 2.4 Метрологічне оснащення контролю отворів

Прошиті отвори контролювали спеціальними прохідними і непрохідними калібрами  $\varnothing 0,45+0,04$  і  $\varnothing 0,4+0,1$  мм (рисунок 2.6, а), а контроль калібрів здійснювали мікрометром МК- 25 (рисунок 2.6, б).



а



б

Рисунок 2.6 – Калібри для контролю розміру отворів (а) та мікрометр МК-25 ГОСТ 6507-90 (б)

## 2.5 Висновки

У приведеній главі указанні матеріали, з яких виготовляють лопатки турбін, устаткування, що використовували, додаткові пристрої. Наведені їх характеристики. Стосовно завдань дослідження вибрали і впровадили контрольно-вимірвальне устаткування.

### 3 ЕКПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Розробка алгоритму визначення технологічних параметрів ЕЕО

У основі алгоритму визначення режиму електроерозійної обробки лежать витікаючі з фізичних моделей взаємозв'язки між параметрами режиму обробки, початковими (вхідними) параметрами (рисунок 3.1) процесу і

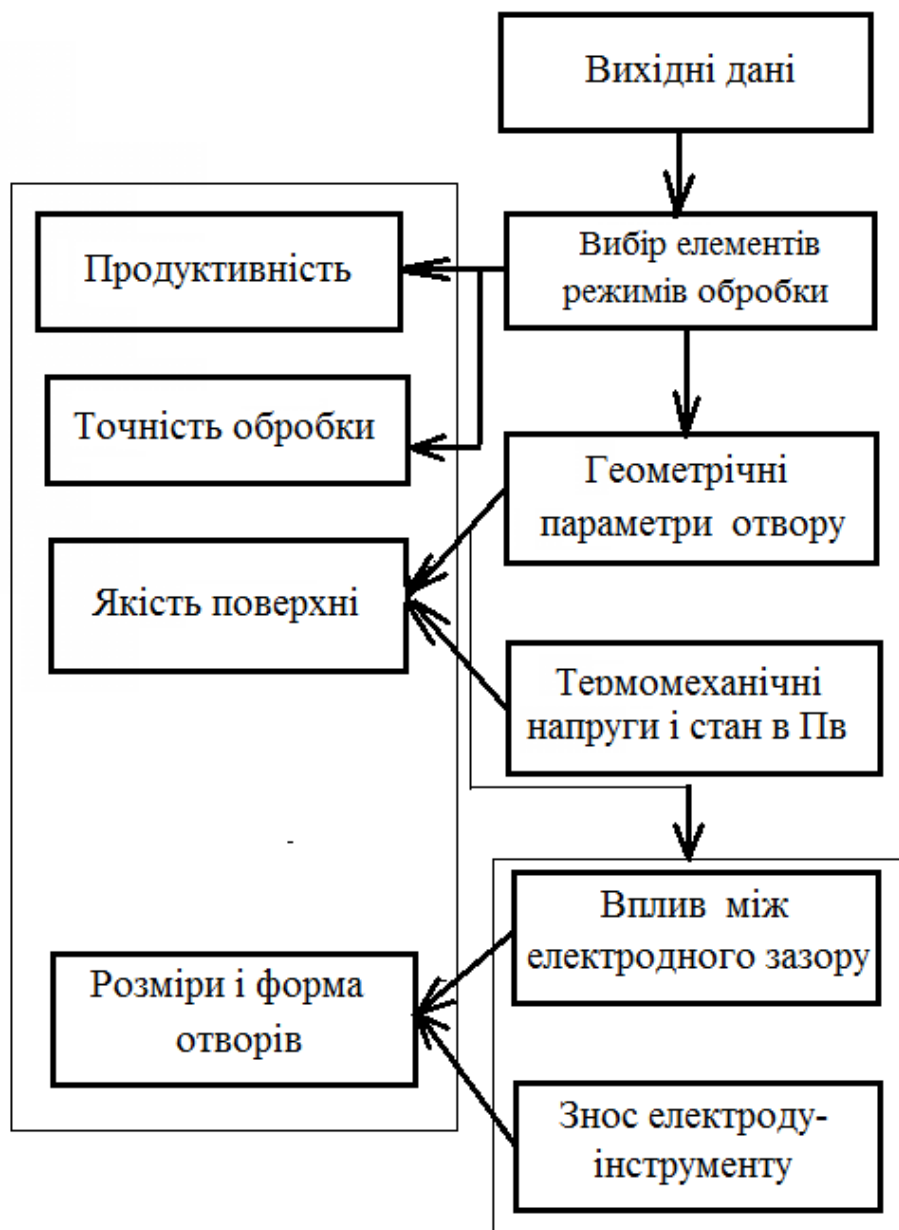


Рисунок 3.1- Алгоритм визначення технологічних параметрів електроерозійної обробки

заданими (вихідними) техніко-економічними показниками.

У режимі електроерозійної обробки виділяють три групи параметрів : електричні характеристики (енергія, амплітуда, потужність, тривалість, шпаруватість, частота, форма і полярність імпульсів), гідродинамічні параметри (тиск, температура і витрата робочої рідини) і механічні параметри, до числа яких входять величини міжелектродних проміжків, швидкість руху подання електроду-інструменту і допоміжні рухи, реалізації процесу, що відповідають прийнятій схемі.

Ефективне використання електроерозійної обробки, які характеризуються вибираними критеріями оптимізації, повинне досягатися узгодженням:

- енергетичних і електричних характеристик імпульсу з теплофізичними характеристиками виробу;
- електричних режимів з розмірами, точністю, формою;
- оброблюваній поверхні і прийнятою схемою обробки.

Для здійснення такого узгодження на електроерозійному устаткуванні передбачається регулювання в широких межах, нарізно або спільно, більшість електричних параметрів режиму обробки.

Існують різні методи оптимізації режимів обробки, що виконується різними технологічними методами. У області електроерозійної обробки це завдання реалізується методом послідовного визначення елементів режиму обробки за параметрами усіх трьох груп.

У загальному випадку вибір елементів режиму обробки припускає виконання представлених дій [27].

1. Визначення виду обробки (чорнова, напівчистова, чистова) і полярності напруги на електродах (пряма або зворотна).
2. Вибір критерію оптимізації, яким найчастіше приймається максимальна продуктивність процесу за об'ємом  $P_v$ .
3. Вибір марки матеріалу електроду-інструменту і визначення його конструктивних характеристик.

4. Вибір діелектричної рідини, схеми її прокачування через МЭП і призначення гідрокінематичних параметрів прокачування.
5. Визначення зразкового значення енергії імпульсу  $W_u$  по заданому значенню шорсткості поверхні.
6. Вибір частоти дотримання імпульсів  $f_u$  як основного параметра режиму обробки, що визначає продуктивність обробки.
7. Вибір напруги холостого ходу  $U_{xx}$  на електродах і середньої напруги  $U_{cp}$ .
8. Визначення середньої сили струму  $I_{cp}$ , що забезпечує максимальну продуктивність обробки при заданій площі оброблюваної поверхні.
9. Розрахунок тривалості імпульсів  $\tau_u$  з урахуванням вибраних значень середнього струму в імпульсі  $I_u$ , напруги  $U_u$  і прийнятій до розрахунку енергії імпульсу  $W_u$ .
10. Визначення шпаруватості імпульсного процесу  $q_u$ .
11. Розрахунок міжелектродних проміжків ( $\delta_m$ ;  $\delta_o$ ) і визначення розмірів електроду-інструменту.
12. Визначення швидкості подання електроду-інструменту  $v_s$ , об'ємної продуктивності процесу  $\Pi_v$  і основного часу на обробку  $\tau_o$ .
13. Вибір моделі електроерозійного устаткування або коригування прийнятого режиму обробки стосовно використовуюваного на виробництві типу верстата і виду обробки.

### 3.2 Вихідні дані

Вихідні дані в нашому випадку є лопатка турбіни і технічні вимоги на отримання отворів малого діаметру для її охолодження (рисунок 3.2).

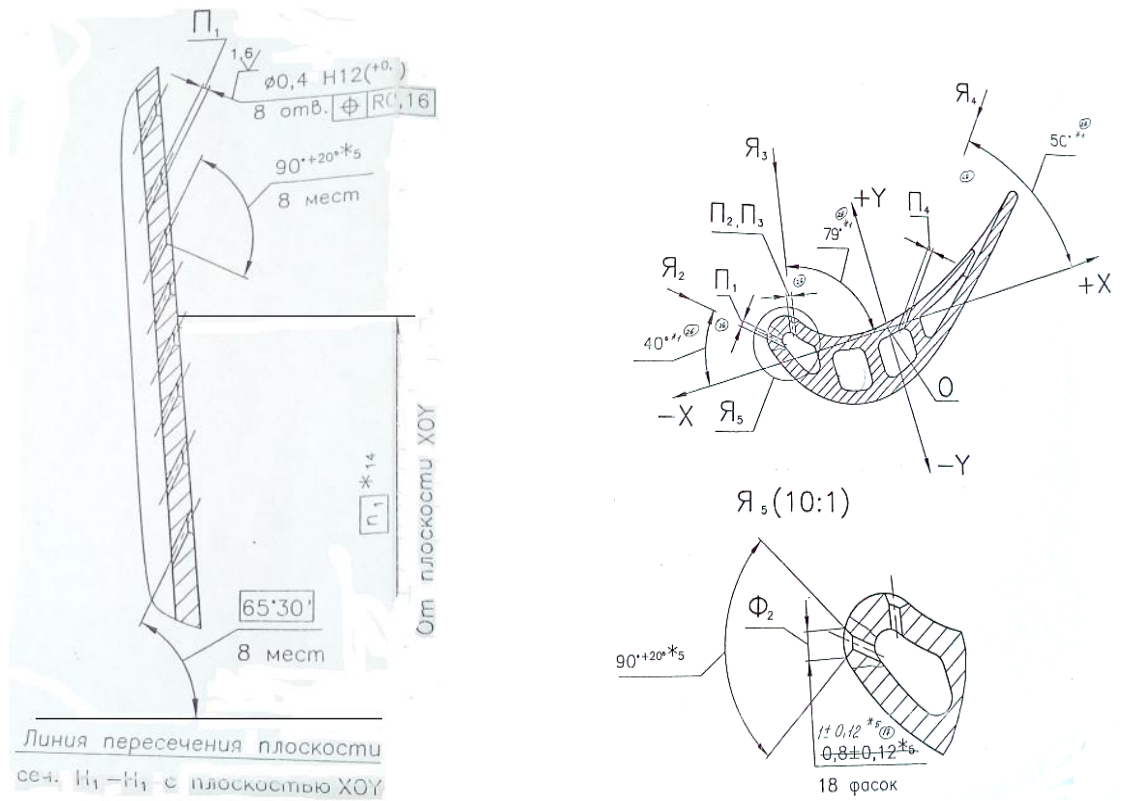


Рисунок 3.2 – Розміри та вимоги до отворів

### 3.3 Вибір елементів режимів обробки для отримання отворів за вихідними даними

Залежно від технічних характеристик генератора імпульсів і вихідних даних вибираємо діапазон досліджуваних значень параметрів режимів [28] і складаємо таблицю 3.1.

### 3.4 Дослідження електричних характеристик імпульсів

У міжелектродному проміжку (рисунки 1.14 і 2.4) йдуть складні

Таблиця 3.1 – Діапазон досліджуваних значень параметрів

Параметри режимів	Одиниці вимірювання	Діапазон досліджуваних значень
1	2	3
Середній струм, $I_{cp}$	А	1 - 6
Середня напруга, $U_{cp}$	В	80 - 90
Частота, $f_u$	кГц	22 - 88
Шпаруватість, $q$		1,5 - 4,5
Амплітудне значення напруги холостого ходу, $U_{xx}$	В	80 - 150
Тривалість імпульсів, $\tau_u$	мкс	2 - 10
Енергія імпульсів, $W$	мДж	0,2 – 1,0

процеси, визначувані фізичними явищами проходження між електродами імпульсів електричного струму.

Ці процеси вивчалися за допомогою осцилограм напруги і струму. Після обробки отриманих результатів представляємо схему стилізованих осцилограм, напругу, що характеризують зміни, і сили струму при проходженні одиничного прямокутного імпульсу через міжелектродний проміжок (рисунок 3.3) і зіставляємо їх і вже відомими. Будь-який ланцюг окрім активного омичного опору володіє місткістю і індуктивністю, які є інерційними елементами [29]. Наявність їх вносить певну затримку в швидкості наростання і спаду напруги на електродах, що призводить до появи переднього і заднього фронтів (рисунок 3.3, а).

Загальна нелінійність залежності пояснюється природою іскрового розряду, який, після пробією МЭП, характеризується зниженням напруги і зростанням струму, причому ці функції складно описати аналітичними залежностями. Надалі іскровий розряд переходить в дуговий з

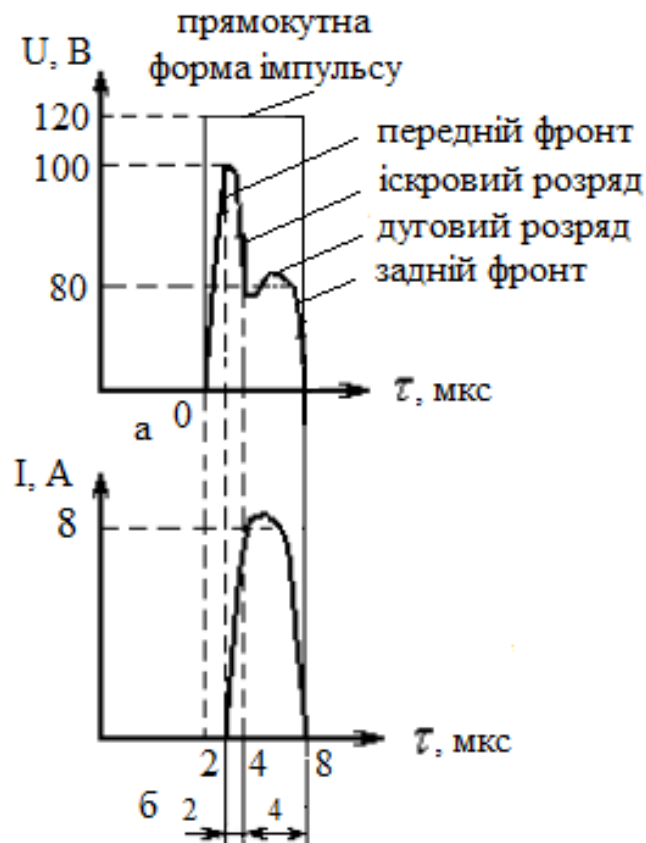


Рисунок 3.3 – Зміна напруги (а) і сили струму (б) одиничного прямокутного імпульсу [29]

параметрами напруги і струму, що встановилися. Залежності енергетичних характеристик представлені на рисунках 3.4 - 3.6.

Після наближення електроду-інструменту на певну відстань (напруга холостого ходу 120 В), включаємо робоче подання. Досягши відстані "пробою" напруга починає падати (напруга пробою 100 В), а струм зростає (до 8 А).

З представлених графіків можна зробити висновок, що залежності середніх значень напруги і струму залежно від тривалості імпульсів мають екстремум, а енергія імпульсів нелінійно залежить від їх тривалості. Великі значення напруги на електродах відповідають більш високим вимогам до точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні [27].

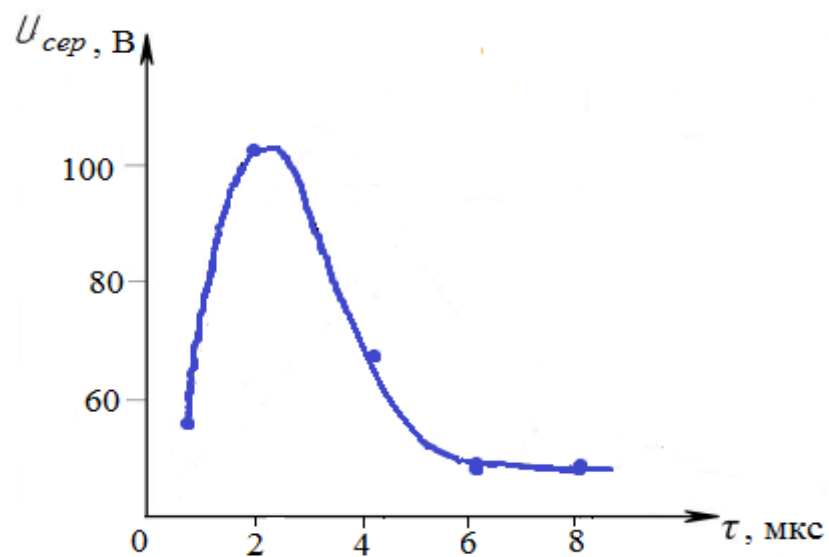


Рисунок 3.4 – Залежність середньої напруги від тривалості імпульсів

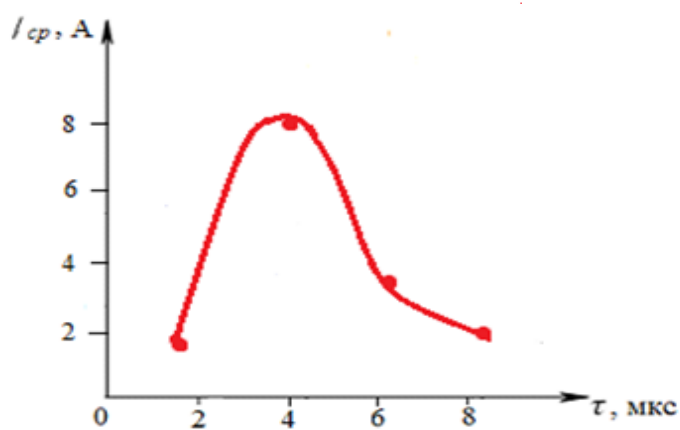


Рисунок 3.5 – Залежність середнього струму від тривалості імпульсів

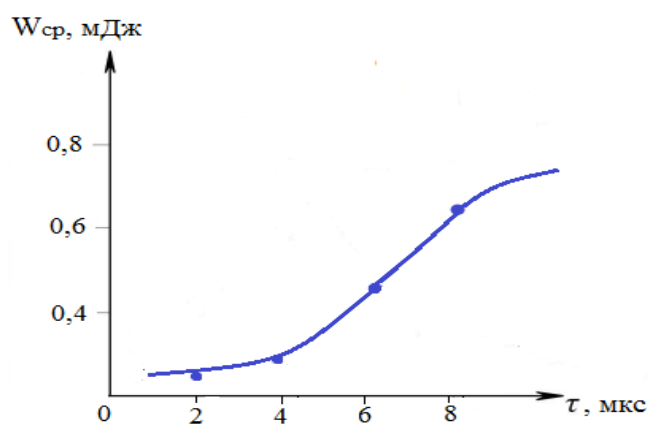
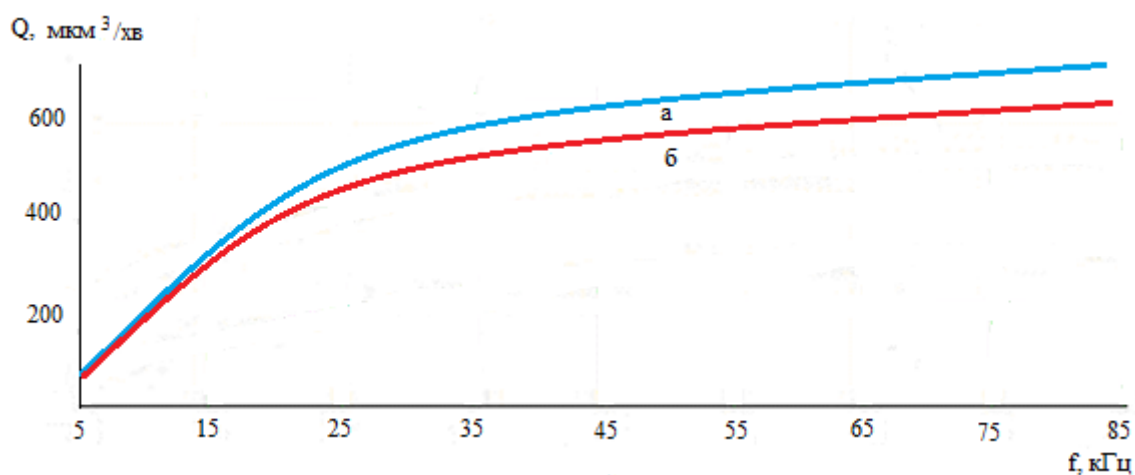


Рисунок 3.6 – Залежність енергії імпульсів від їх тривалості

### 3.5 Дослідження впливу частоти імпульсів на продуктивність і знос електроду-інструменту

Частота, як і енергія імпульсів, є найважливішим параметром процесу електроерозійної прошивки мікроотворів [30]. Зі збільшенням частоти імпульсів кількість еродованих часток в одиницю часу збільшуватиметься, і продуктивність обробки росте (рисунок 3.7). Проте, як і у випадку з енергією імпульсів, зі збільшенням частоти імпульсів росте доля парогазової фази в міжелектродному проміжку, зменшується евакуаційна здатність процесу, росте доля "фіктивних" імпульсів і вторинних розрядів, що витрачаються на повторне диспергування часток. При цьому сповільнюється зростання продуктивності прошивки мікроотворів, порушується його стабільність, збільшується знос електроду-інструменту і, отже, знижується точність обробки.



а – діаметр ЕІ 0,35 мм;

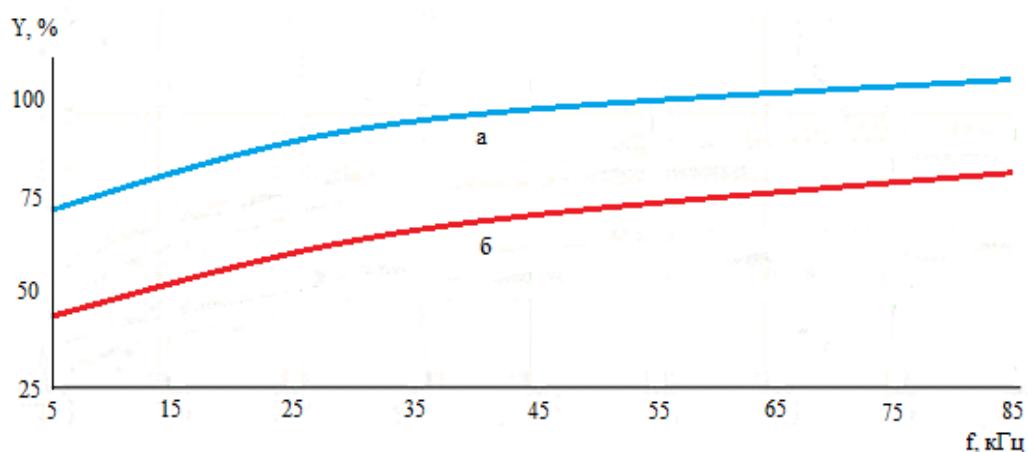
б – діаметр ЕІ 0,4 мм.

Рисунок 3.7 – Продуктивність процесу залежно від частоти імпульсів

З графіку видно, що інтенсивне зростання продуктивності спостерігається в області малих частот імпульсу, що пояснюється малою кількістю утворених в міжелектродному проміжку еродованих часток,

евакуація яких не викликає утруднень. Зі збільшенням частоти імпульсів кількість продуктів ерозії збільшується, внаслідок чого продуктивність знижується.

З графіку залежності лінійного зносу електроду-інструменту від частоти імпульсів (рисунок 3.8) витікає, що малий знос відбувається при малій частоті імпульсів і значно залежить від діаметру електроду. У діапазоні великих частот імпульсів спостерігається різке збільшення зносу для малих діаметрів електродів-інструментів, що говорить про необхідність оптимізації частоти імпульсу як одного з важливих параметрів процесу електроерозійної обробки.



а – діаметр ЕІ 0,35 мм;

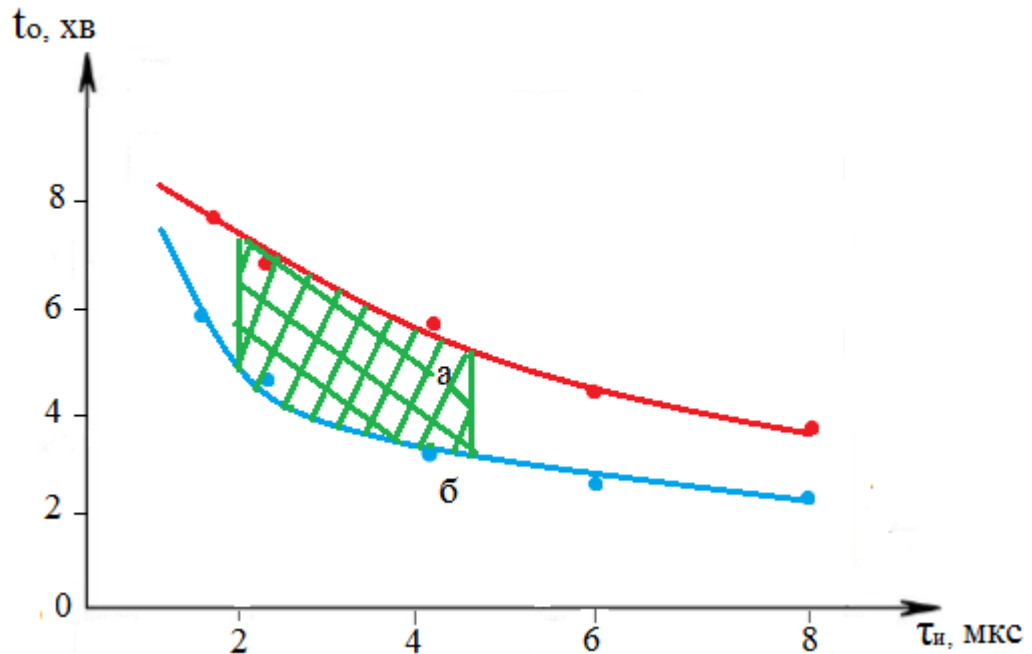
б – діаметр ЕІ 0,4 мм.

Рисунок 3.8 – Лінійний знос електроду-інструменту залежно від частоти імпульсів

### 3.6 Вплив ультразвукових хвиль на продуктивність прошивання

Дослідження впливу ультразвукових хвиль на продуктивність проводили шляхом порівняння результатів зі значеннями без їх створення. В

результаті порівняння отримали залежність, представлену на малюнку 3.9. Як видно з отриманих залежностей основний час на отримання отворів при використанні ультразвукових хвиль істотно знижується. Процес пропалення проходить в стабільному режимі, тобто з міжелектродного проміжку ефективно видаляються продукти ерозії.



а – без ультразвукових хвиль;

б - з ультразвуковими хвилями.

Рисунок 3.9 – Залежність часу обробки від тривалості імпульсів

### 3.8 Достовірність отриманих результатів

Міра достовірності результатів забезпечена застосуванням сучасного сертифікованого лабораторно-промислового і дослідницького устаткування, поєднанням різних дослідницьких методик, відтворюваністю і статистичною обробкою результатів. Результати розробок підтверджені виробничими випробуваннями нових матеріалів.

### 3.9 Технологічні рекомендації

1. Діаметр електроду-інструменту для перфорації лопаток має бути діаметром 0,35 мм, оскільки в процесі обробки з використанням ультразвукових хвиль виникають невеликі вібрації і поле допуску на діаметр виходить за межі допустимого.

2. Застосовувати ультразвукові хвилі, що скорочують основний час на пропалення на 1,5 - 2 хвилини, що підвищує продуктивність обробки на 30 - 40 %.

3. Замість трансформаторної олії рекомендуємо використати вуглеводневу сировину Makron EOM 110 "Houghton", що добре зарекомендував себе в Німеччині.

4. Напруга холостого ходу не повинна перевищувати 120 В.

5. Для стабілізації процесів в міжелектродному проміжку рекомендуємо використати усі схеми додаткового руху електроду-інструменту і прокачування робочої рідини.

### 3.10 Висновки

1. Підтверджено, що оптимальними параметрами режиму обробки рекомендовані діапазони, приведені в таблиці 3.2

2 Підтверджено, що застосування ультразвукових хвиль сприяє підвищенню продуктивності мінімум на 30 %, при прошиванні отворів електродом-інструментом діаметром 0,35 мм.

3 Висунено припущення, що ефект отриманий за рахунок збільшення впливу гідродинамічних параметрів в міжелектродному проміжку.

Таблиця 3.2 – Рекомендовані діапазони параметрів режимів

Параметри режимів	Одиниці вимірювання	Діапазон досліджуваних значень
1	2	3
Середній струм, $I_{cp}$	А	1 - 3
Середня напруга, $U_{cp}$	В	80 - 90
Частота, $f_u$	кГц	44 - 88
Шпаруватість, $q$		1 - 3,5
Амплітудне значення напруги холостого ходу, $U_{xx}$	В	100 - 120
Тривалість імпульсів, $\tau_u$	мкс	1 - 3

#### 4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

У попередній главі приведені теоретичні і практичні результати досліджень, які дозволяють обґрунтувати їх ефективне застосування.

Залежно від кількості отворів, що прошиваються, збирається касета з електродами-інструментами. Їх кількість залежить від вимог креслення (від 6 до 25 отворів діаметром 0,4 мм). Лопатка турбіни встановлюється в спеціальне оснащення, що забезпечує потрібну орієнтацію оброблюваної деталі. При підтверджених режимах настраюється генератор імпульсів і система ЧПК, яка їх здійснює (рисунок 4.1). Багатоінструментальна електроерозійна обробка підвищує ефективність проведених досліджень, а з урахуванням зменшення машинного часу продуктивність прошивання підвищується мінімум на 30 %. Таким чином, умовна техніко-економічна ефективність у виконаній роботі забезпечена.



а



б

Рисунок 4.1 – Касета з ЕІ (а) та керуюча система з ЧПК (б)

## 5 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Економічна ефективність від застосування результатів цієї роботи проводилась на основі цехових даних АТ "Мотор Січ".

Для оцінки очікуваної економічної ефективності прийняті наступні початкові дані ( таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Вихідні дані (цехові)

№	Найменування показників	Одиниці вимірювання	Варианти	
			В1	В2
1.	Балансова вартість обладнання	млн. грн.	3,2	3,2
2.	Річна потреба в лопатках	комплект	30	30
3.	Кількість лопаток в комплекті	шт.	60	60
4.	Ціна лопатки	грн.	20850	20750
5.	Вартість інструменту	грн.	320	320
6.	Підготувально-заклучний час	хв.	25	78
7.	Основний час отримання отворів	хв.	7	4
8.	Кількість одночасно отриманих отворів	шт.	1	8

Оскільки час на отримання восьми отворів зменшується відносно часу отримання одного отвору, то за усіх рівних умов економічна ефективність буде визначатися коефіцієнтом штучно-калькуляційного часу, коефіцієнтом основного часу прошивки отворів і коефіцієнтом одночасно отримуваних отворів [28]. Загальний коефіцієнт визначатиметься відношенням значень позитивного ефекту до значень - негативного ефекту.

1. Коефіцієнт підготувально-заключного часу

$$K_{ПЗ} = 78 / 25 = 3,12$$

2. Коефіцієнт основного часу

$$K_{O} = 4 / 7 = 0,57$$

3. Коефіцієнт одночасно отримуваних отворів

$$K_{OO} = 8 / 1 = 8$$

Загальний коефіцієнт ефективності має наступне значення

$$K_{ЗАГ} = K_{OO} \cdot K_{O} / K_{ПЗ} = 1,46$$

Оскільки, зменшення вартості однієї лопатки турбіни за рахунок збільшення продуктивності прошивання отворів складає 100 грн, то очікувана річна економічна ефективність при випуску тридцяти комплектів складатиме 262800 грн.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки тема магістерської роботи – формування отворів малого діаметру та підвищення продуктивності їх отримання на лопатках турбін електроерозійним методом, тому нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для приміщення обладнаного дослідною технікою та дисплейними терміналами, у відповідності з методичними вказівками.

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і технологічних процесів у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ, згідно ГОСТ 12.0.003-74 (1999) «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», виявлені наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, здатні привести до травм або ушкодження здоров'я працівників:

- ураження електричним струмом, у наслідок несправності електроболаднання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;

- механічне травмування в наслідок нераціонального розташування меблів та обладнання;

- погіршення обміну речовин працюючих в умовах недостатньої фізичної активності сприяє передчасному розвитку серцево-судинних захворювань;

- недостатній рівень освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з виходом з ладу освітлювальних приладів може стати причиною травмування персоналу;

- постійне напруження зору при нераціональному режимі праці може стати причиною виникнення болю, відчуття піску в очах, засміченості і свербіння;

- незручна поза при неправильній організації робочого місця може викликати біль в хребті, закам'янілість та оніміння шиї та плечового поясу;

- помилкові дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій може призвести до травмування та загибелі людей.

## 6.1 Заходи з охорони праці

У приміщенні лабораторії застосовується широке різноманіття електроприладів: персональні комп'ютери, принтери, ксерокси, факси, освітлювальні прилади, кондиціонери, побутові електроприлади тощо. Відповідно до Державного нормативного акту про охорону праці ДНАОП 0.00-1.31-99 правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин ЕОМ поширюються на всі підприємства, установи, організації, юридичні особи незалежно від форми власності, відомчої належності, видів діяльності, які здійснюють розробку, виробництво і застосування ЕОМ і ПК у тому числі, які мають робочі місця обладнані ЕОМ або виконують ремонт обслуговування та налагодження ЕОМ.

Небезпека ураження електричним струмом при використанні цих приладів з'являється при недотриманні заходів обережності, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Приміщення оснащено відеодисплейними терміналами відповідає вимогам ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення». Згідно ПУЕ («Правила устрою електроустановок») приміщення за небезпекою електротравм має категорію - «без підвищеної небезпеки» (відсутній струмопровідний пил, струмопровідні поверхні, не струмопровідні поли, температура не більше 25<sup>0</sup>С, вологість не більше 60% ).

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: ПУЕ («Правила устрою електроустановок») і ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», основним технічним заходом по забезпеченню електробезпеки проектом передбачено захисне заземлення, опір якого не більше 4 Ом; НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок», приміщення, в якому розташовуються електрообчислювальні матеріали, різноманітне устаткування, відноситься до класу пожежонебезпечної зони П-Па, тому передбачений мінімальний ступінь захисту ізоляції обладнання IP44; ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання офісу має подвійну ізоляцію, яка складається з робочої та додаткової ізоляції; ГОСТ 12.2.007.0-75\* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ по способу захисту людини від ураження електричним струмом, належать до І класу, оскільки мають подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом. Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок» та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей»

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захарашення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму відстань між робочими столами становить не менше 2 метрів, а відстань між боковими поверхнями моніторів - не менше 1,2 метра. Для забезпечення комфортних та безпечних умов праці, згідно ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та

побутового призначення» площа на одне робоче місце не менше 6м, а об'єм – неменше 20м<sup>3</sup>. Зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними. Не дозволяється розміщувати кабінети обчислювальної техніки у підвальних та цокольних поверхах. Покриття підлоги матове з коефіцієнтом відбиття 0,3-0,5. Поверхня підлоги рівна, неслизька з антистатичними властивостями. Для внутрішнього оздоблення приміщень з ПК передбачено використовувати дифузно-відбивні матеріали з коефіцієнтами відбиття для стелі 0,7-0,8; для стін 0,5-0,6.

Враховуючи, що стресові ситуації та нервово-емоційними навантаження у працівників можуть викликати захворювання загально-невротичного характеру і у відповідності ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», з метою зниження негативного впливу на зір, покращення кровообігу, запобігання втоми передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

Застосування меблів та організація робочого місця згідно рекомендацій ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ « Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», ДСТУ ISO 9241-5-2004 «Ергономічні вимоги до роботи з вщотерміналами в офісі. Частина 5. Вимоги до компонування робочого місця та до робочої пози» дає можливість не тільки уникнути прояву захворювань але і забезпечує гарний настрій та високий рівень працездатності.

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці **для** приміщення обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації

електронно-обчислювальних машин».

Метеорологічні умови в приміщенні – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Роботи в приміщенні, належать до категорії Іб - легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху і чистоти повітря) та трьохкратного повітрообміну у приміщеннях передбачено встановлення побутових кондиціонерів типу БК-1500, БК-2000, БК-2500 та ін.

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень», та наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 Рівні іонізації повітря приміщень з ПК

Рівні іонізації повітря	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup> повітря	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Підтримувати оптимальний рівень легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях рекомендується за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Враховуючи, що при незадовільному освітленні знижується продуктивність праці користувачів ПК, можлива поява короткозорості, швидка стомлюваність у приміщенні, згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачено природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов:

- температура навколишнього повітря не повинна бути нижче, ніж 5°C;
- напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше, ніж 90% номінальної.

Коефіцієнт запасу ( $K_3$ ) для освітлювальних установок загального освітлення приймається рівним 1,4.

Величина коефіцієнта пульсації освітленості не перевищує 5%, що забезпечується застосуванням у світильниках загального та місцевого освітлення ламп типу ЛБ.

Для загального освітлення рекомендовано застосовувати світильники серії ЛПО 3б із дзеркальними ґратами, укомплектовані високочастотними пускорегулювальними апаратами (ВЧ ПРА) тільки в модифікації «Кососвітло». Застосовувати світильники без розсіювачів та екрануючих ґратів забороняється.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° з вертикаллю в поздовжній та поперечній площинах становить не більше ніж  $200 \text{ кд/м}^2$ , захисний кут світильників - не менше ніж 40°. Показник осліпленості для джерел загального штучного освітлення у кабінетах з ПК не більше 20, а показник дискомфорту - не більше 40.

Джерелами шуму при роботі з ПК є: жорсткий диск; вентилятор блока живлення мережі; вентилятор, розташований на процесорі; швидкісні CD-ROM; механічні сканери; пересувні механічні частини принтера. Шум, що створюється працюючими ПК, є широкосмужним, постійним з аперіодичним посиленням при роботі принтерів. Тому шум оцінюється загальним рівнем звукового тиску по частотному коригуванню «А» та вимірюватися в дБА. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» (табл.6.2).

Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників; переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу; використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

При обладнанні та організації робочих місць користувачів ПК враховано, що обладнання та організація робочих місць користувачів ПК забезпечують відповідність конструкцій всіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування ергономічним вимогам з урахуванням характеру

Таблиця 6.2 Допустимі та еквівалентні рівні звуку, рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску, дБ									
	в октавних смугах із середньо геометричними частотами,									
	Гц									
	31,5	63	123	250	500	1000	2000	4000	8000	Рівні звуку, еквівалентні рівні звуку, дБА/дБАекв
Програмісти	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Оператори комп'ютерного набору	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

і особливостей трудової діяльності і відповідають ДСанПіН 3.3.2.007-98. При розташуванні елементів робочого місця користувача ПК враховувано: робочу позу користувача; простір для розміщення користувача; можливість огляду елементів робочого місця; можливість ведення записів, розміщення документації і матеріалів, які використовуються користувачем.

Конструкція робочого місця користувача ПК має забезпечити підтримання оптимальної робочої пози. Робочі місця з ПК розташовуються відносно вікон, так щоб природне світло падало збоку переважно зліва.

Робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані не менш ніж 1м, від інших стін - на відстані не менше ніж 1 м. При розміщенні робочого місця поряд з вікном кут між екраном монітора і площиною вікна складає не менше 90° (для виключення відблисків), частину вікна, що прилягає, бажано зашторити. Недопустиме розташування ПК, при якому працюючий повернений обличчям або спиною до вікон кімнати або до

задньої частини ПК, в яку монтуються вентилятори.

Монітор повинен бути встановлений таким чином, щоб верхній край екрана знаходився на рівні очей. Екран монітора ПК має розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, що становить 600-700 мм, але не ближче ніж 600 мм з урахуванням розміру літерно-цифрових знаків і символів. Для забезпечення точного та швидкого зчитування інформації в зоні найкращого бачення площина екрана монітора перпендикулярна нормальній лінії зору.

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина - забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина - 600-1400 мм, глибина - 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою не менше ніж 600 мм, шириною - не менше ніж 500 мм, глибиною (на рівні колін) - не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - не менше ніж 650 мм.

У відповідності ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», з метою зниження нервово-емоційного напруження, запобігання втоми та забезпечення нормованого режиму праці та відпочинку передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години та виконання фізичних вправ 2-3 рази протягом робочого часу.

Розрахунок приміщення (лабораторії) оснащеного відеодисплейними терміналами.

2. Приміщення, що обладнане ПК з ВДТ і розміщені робочі місця з ПК, спроектовано і організовано згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

3. Приміщення категорій А і Б (НАПБ Б.03.002-2007 «Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по

взрывопожарной и пожарной безопасности», а також виробництва з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ, виконується їх обслуговування, налагодження і ремонт не передбачається.

4. Виробничі приміщення, в яких розташовані ЕОМ, не межують з приміщеннями, де рівні шуму та вібрації перевищують норму (механічні цехи, майстерні тощо).

5. Робоча кімната, де розташовані комп'ютери знаходиться на другому поверсі, т.б. відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» враховано, що неприпустимим є розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ у підвалах та цокольних поверхах.

Площу приміщення, в якому розташовують відеотермінали, визначено згідно з чинними нормативними документами з розрахунку, що для забезпечення виробничого процесу необхідним є застосування 10 комп'ютерів.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.
- площа на одне робоче місце, обладнане відеотерміналом - не менше 6,0 м<sup>2</sup>.
- об'єм - не менше 20,0 м<sup>3</sup>, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

Врахуємо також розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу. Відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» рекомендовані розміри столу для робочого місця з ВДТ становлять: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм.

Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Найкращим є розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу унеможливити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи. Враховуючи, що в приміщенні 10 комп'ютерів, то найкраще комп'ютеризовані робочі місця розмістити в три ряди, відстань між робочими місцями становить 2.2 метри, що більше ніж відстань зазначена нормативом.

Оскільки площа, на якій розташовується одне робоче місце з ВДТ, згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше 6,0 м<sup>2</sup>, а десять ПК повинні займати площу 60 м<sup>2</sup> для безпечної та комфортної роботи приймаємо, що площа робочого приміщення складає 70 м<sup>2</sup>. Відповідає данне приміщення і вимогам по об'єму.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення обладнаного ПК з ВДТ розроблений відповідно до вимог НАПБ А.01.001-14 «Правила пожежної безпеки в Україні».

У приміщенні обладнаному ПК з ВДТ можливі пожежі класу «А» – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір), та класу «Е» (додатковий клас) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується

НАПББ.03.002-2007 "Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» приміщення відповідає категорії «Д» з пожежної безпеки – незаймисті речовини і матеріали в холодному стані.

Відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», будівлі і ті їх частини, в яких розташовуються ЕОМ, мають II ступінь вогнестійкості.

Згідно ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із робочого приміщення та два евакуаційних виходи. Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу, згідно СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания» становить не більше 70м;

Обладнання, силові та освітленні мережі відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту оболонок (ізоляції), відповідно до пожежанебезпечної зони П-Па, - IP44.

Згідно вимог НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» і ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» приміщення з ЕОМ, оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними сповіщувачами. В інших приміщеннях встановлені теплові пожежні сповіщувачі.

Згідно НАПБ Б.03.001-2004 «Типові норми належності вогнегасників» приміщення оснащене переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВ-5 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м<sup>2</sup> площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Підходи до засобів пожежогасіння вільні.

## 6.2 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Порядок планування, організації, проведення і забезпечення евакуації робітників, службовців промислового об'єкта та населення.

Евакуація — це організований вивіз або вивід з міст і інших населених пунктів та розміщення у заміській зоні решти населення, а також вивіз населення із зон можливого затоплення, радіоактивного зараження і інших випадках. Евакуйовані постійно проживають у заміській зоні до особливого розпорядження. Евакуація передбачає вивід і вивіз населення із міст у безпечні райони в усіх напрямках від міста.

Робітників і службовців підприємства, яке переносить свою виробничу діяльність у заміську зону, розташовують поблизу виробничих баз за районами розміщення робітників і службовців підприємств, які продовжують працювати в місті. Евакуйоване населення, не зв'язане з виробництвом і яке не є членами сімей розосереджених робітників та службовців, розміщують у більш віддалені райони заміської зони, а населення, евакуйоване із зон можливого затоплення, — в населених пунктах, які знаходяться поблизу цих зон.

Безпосередньо організацією і проведенням евакуаційних заходів займаються начальники і штаби цивільного захисту містах, районах. Розосередження і евакуацію організують та проводять після отримання розпорядження про їх проведення.

Для проведення розосередження і евакуації використовуються всі види громадського транспорту (залізничний, автомобільний, водний), не зайнятого військовими і невідкладними виробничими і господарськими перевезеннями, а також транспорт індивідуального користування. Для вивозу населення залізничним і водним транспортом використовують пасажирські поїзди, теплоходи, а при їх нестачі — і товарні вагони, вантажні судна та баржі. Передбачається збільшення довжини поїздів. Вивіз розосередженого і

евакуйованого населення автотранспортом планується на невеликі відстані. Для цього використовуються автобуси і вантажні автомобілі. Частина населення, яка підлягає евакуації, може виводитись пішим порядком. Вивід населення пішим порядком організовується колонами по дорогах, не зайнятих іншими перевезеннями або по визначених маршрутах і колонних шляхах. Для організованого руху піших колон розробляють схему їх маршруту і у, на якій вказують склад колони, маршрут руху, вихідний пункт, пункти регулювання руху і час їх проходження; райони і тривалість привалів; медичні пункти і пункти обігріву; проміжний пункт евакуації, порядок і термін виводу колони з цього пункту в район постійного розміщення, сигнали управління. При загрозі надзвичайної ситуації в мирний час, а також загрозі нападу противника і нестачі транспортних засобів важливе значення мають строки евакуації населення за межі зон можливих зруйнувань. В цих випадках використовують комбінований захід, який дозволяє провести евакуацію в короткі строки. Суть комбінованого заходу евакуації полягає в тому, що масовий вивід населення з міст пішим порядком співпадає з вивозом всіма видами транспорту. Цей захід є основним.

Всі роботи по проведенню і організації розосередження та евакуації здійснюються у відповідності з планом і вказівками начальника ЦЗ об'єкту. Для керівництва розосередженням і евакуацією населення на об'єкті створюється евакуаційна комісія, а на великих об'єктах, крім цього можуть створюватися збірні евакуаційні пункти (ЗЕП). Наказом начальника ЦЗ підприємства створюється адміністрація ЗЕП. Головою евакуаційної комісії призначається один із заступників начальника ЦЗ. Розосередження і евакуація населення проводиться через збірні евакуаційні пункти. Для них відводяться школи, клуби і інші приміщення. Призначаються ЗЕПІ для збору, реєстрації і відправки населення, евакуйованого транспортом, на станції, пристані і інші пункти посадки, а евакуйовані в пішому порядку — на вихідні пункти пішого руху. ЗЕП організують поблизу залізничних станцій, платформ, портів, пристаней, а для населення, яке виводиться пішим

порядком — поблизу маршрутів виводу в призначені райони. На території ЗЕП і поблизу нього повинні бути підготовлені сховища (укриття) з розрахунком на розміщення в них людей, які можуть одночасно заходитись на пункті. Кожному ЗЕП присвоюють номер, приписують до нього промислові підприємства (об'єкти), які знаходяться поблизу, а також домоуправління, населення якого буде евакуюватися через даний ЗЕП. Отримавши розпорядження про проведення розосередження і евакуації, начальник ЦЗ об'єкту організовує виконання евакуаційних заходів у відповідності з планами ЦЗ і розпорядженнями старшого начальника. Населення міста про початок евакуації повідомляється через підприємства, навчальні заклади, домоуправління, міліцію а також радіотрансляційну мережу і місцеве телебачення. Отримавши повідомлення про початок розосередження і евакуації, населення повинно підготувати і взяти з собою документи, гроші, необхідні речі і запаси продуктів та з'явитися на збірний евакуаційний пункт в попередньо визначеній годині. У випадку, якщо робітників і службовців розмістити разом з сім'ями неможливо, членів їх сімей евакуюють окремо в більш віддалені райони за напрямком розосередження і час їх появи на збірний евакуаційний пункт встановлюється окремо.

Прибулих на збірний евакуаційний пункт людей реєструють, групують по вагонах залізничного ешелону або по автомашинах і у призначений час виводять до пунктів посадки на транспорт. Представники об'єкту разом з адміністрацією станції здійснюють посадку людей у вагони, автомашини, судна і підтримують встановлений порядок. На кожний залізничний ешелон призначається начальник ешелону, на автомобільну колону — старший автоколони, на кожний вагон — старший вагону. Начальники залізничних ешелонів і старші автоколон повинні вживати всі заходи для того, щоб витримати графік руху транспорту і прибути на відповідну станцію в заміську зону у встановлений час. Вивід населення об'єкту пішим порядком здійснюється за попередньо встановленими маршрутами, їх розраховують на

один добовий перехід, який здійснюється за 10-12 год. руху. У піших колонах може бути від 500 до 1000 людей. Для зручності управління колони слід розбити на групи по 50-100 людей, а на чолі груп призначити старших. Старші груп зобов'язані перевіряти чисельність складу, не допускати в групи сторонніх осіб і слідкувати, щоб не було відстаючих. Швидкість руху колон слід витримувати в межах 4-5 км/год, а дистанції між колонами до 500 м. При здійсненні маршу через кожні 1-1,5 год руху роблять малі привали, які продовжуються 10-15 хв, а на початку другої половини добового переходу роблять великий привал на 1-2 год, як правило, за межею зони можливих зруйнувань. На малих привалах людям надається необхідна медична допомога, перевіряється склад колон, надається допомога відстаючим, дається людям короткочасний відпочинок. За час привалу колони, які розтягнулися, підтягуються. На великому привалі організують прийом гарячої їжі. При проведенні розосередження і евакуації організують медичне обслуговування. З цією метою на ЗЕП, станціях посадки розгортають медичні пункти. На кожний поїзд призначають 1-2 працівників з медичною освітою, а в склад пішої колони включають 1-2 сандружинниці. Люди, які рухаються в піших колонах, по сигналу "Повітряна тривога" укриваються в складках місцевості або в найближчій захисній споруді. При вимушеній зупинці ешелону, викликаній застосуванням противником зброї масового ураження, слід швидко висадити людей із вагону і вжити необхідні заходи по захисту їх в складках місцевості або в найближчих захисних спорудах. Якщо при русі в замиську зону — на маршруті руху будуть ділянки радіоактивного, хімічного або біологічного зараження, то їх по можливості обходять з навітряної сторони. У випадку, коли обходу нема, ці райони проходять на підвищеній швидкості в засобах індивідуального захисту. Для організації прийому і розміщення розосереджуваного і евакуйованого міського населення, а також забезпечення його всім необхідним, створюються приймальні евакуаційні комісії і прийомні евакуаційні пункти сільських районів. Прийомні евакуаційні комісії району, села створюються.

рішенням голови державної виконавчої влади — начальником ЦЗ району, села. Вони проводять свою роботу в взаємодії зі штабом і службами ЦЗ. В склад приймальної комісії села включаються відповідальні працівники державної виконавчої влади, керівники підприємств торгівлі, громадського харчування, медичних, побутових і інших підприємств, яких залучають до забезпечення розосередженого і евакуйованого населення. Головою приймальної евакуаційної комісії села призначається відповідальний працівник місцевої виконавчої влади. На прийомні евакуаційні комісії сільської місцевості покладається розробка і своєчасне коригування розділу плану ЦЗ по прийомі і розміщенні розосереджуваного і евакуйованого населення: зустріч, прийом, облік і розселення прибулого населення, а також забезпечення його всім необхідним; складається донесення вищестоячим прийомним евакуаційним органам про хід прийому, розміщення і забезпечення прибулого міського населення, забезпечення відправлення населення в кінцеві пункти його розміщення. При передбаченні надзвичайної ситуації проводять заходи по приведенню станцій, пунктів висадки, прийомних евакуаційних пунктів в готовність до прийому населення. Приймальна евакуаційна комісія району встановлює зв'язки з евакуаційною комісією міського району і уточнює питання прийому і розміщення населення, графіки руху ешелонів, автомобільних і піших колон, кількість населення, відправленого кожним ешелоном, автоколоною, пішою колоною, місце пункту евакуації піших колон, вид і кількість транспорту для перевезення населення з проміжних пунктів евакуації (ППЕ) до районів розташування, а також забезпечення і обслуговування населення. За вказівкою прийомної евакуаційної комісії району для прийому населення, яке прибуло з міста, розгортають прийомні евакуаційні пункти (ПЕП). Вони розташовуються в школах, дитячих садках, клубах і інших громадських приміщеннях недалеко від станції висадки людей. На ПЕП покладаються такі завдання: зустріч прибулого населення, розподілення його по населених пунктах, надання першої медичної допомоги, організоване відправлення

людей до місць розквартирування. В місцях розселення звільняють приміщення, які призначені для розміщення розосереджуваного і евакуйованого населення, уточнюють всі питання розміщення людей по будинках місцевих жителів, в пансіонатах, туристичних таборах, підсобних господарствах і інших громадських приміщеннях. Завчасно підготовляють колективні засоби захисту. Якщо сховищ до часу прибуття населення буде недостатньо, то організують додаткове їх будівництво. Для виконання цих робіт залучають все працездатне населення, в тому числі і населення, яке прибуло з міста. Виключно велике значення має забезпечення в заміській зоні розосереджених робітників, службовців та членів їх сімей, а також евакуйованого населення продуктами харчування, надання їм побутових послуг і медичного обслуговування. Забезпечення населення продуктами харчування і предметами першої необхідності покладається на службу торгівлі і харчування сільського району. Перші дві доби люди повинні харчуватися запасами продуктів, привезених з собою. Комунально-побутове обслуговування в районах розміщення покладають на місцеві комунально-побутові служби. Кількість їх при необхідності може бути збільшена за рахунок розгортання у заміській зоні комунально-побутових служб евакуйованим населенням. Медичне обслуговування населення покладають на існуючу мережу лікувальних закладів: лікарні, поліклініки, сільські медичні пункти і аптеки. Робота їх у надзвичайних умовах мирного і воєнного часу різко ускладнюється, тому що крім загальних хворих можуть поступити люди, уражені радіоактивними, хімічними речовинами і біологічними засобами. Значно зростає роль надання медичної допомоги вдома. Тому вживають заходи до розширення мережі швидкої медичної допомоги, поліклінік, лікарень і медичних пунктів, а також по збільшенні чисельності медичних кадрів, залучають до роботи лікарів, медичних сестер, фельдшерів із евакуйованого населення і осіб, які мають медичну підготовку. Евакуйоване населення залучається до роботи на підприємствах, вивезених з

міста, що продовжують роботу в заміській зоні, у фермерських, колективних і інших господарствах.

Таким чином, передбачений для приміщення, що обладнано персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки забезпечує безпечні та комфортні умови праці персоналу.

Передбачені заходи з цивільного захисту, які забезпечують основні норми і порядок проведення, забезпечення евакуації робітників, службовців промислового об'єкта та населення.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи розглянута одна з найважливіших проблем авіабудування – перфорація лопаток турбін.

1. Найбільш оптимальним варіантом є електроерозійне прошивання отворів. Цей спосіб характеризується достатньою точністю, високою оброблюваністю і електропровідністю жароміцних сплавів при отриманні отворів малого діаметру.
2. Для реалізації задач досліджень були розглянуті основні характеристики електроерозійної обробки.
3. Для забезпечення високої продуктивності, необхідно підбирати оптимальне поєднання чинників, що дозволяють збільшити долю корисної енергії імпульсу, його потужність і частоту. В основному продуктивність залежить від сили струму, площі оброблюваної поверхні, частоти імпульсів, глибини обробки і робочого середовища, а підвищення її можна здійснити за рахунок створення поблизу зони обробки ультразвукових хвиль.
4. У роботі використовували сучасні матеріали, з яких виготовляють лопатки турбін, устаткування, додаткові пристрої з вказанням їх характеристик та можливостей.
5. Визначені параметри, що впливають на продуктивність електроерозійного процесу.
6. Експериментально досліджений вплив параметрів імпульсів на продуктивність електроерозійного формування отворів.
7. Підтверджені і рекомендовані діапазони оптимальних параметрів режиму електроерозійної обробки для прошивання отворів малого діаметру.
8. Підтверджено, що застосування ультразвукових хвиль сприяє підвищенню продуктивності мінімум на 30 %, при прошиванні отворів електродом-інструментом діаметром 0,35 мм.

9. Висунено припущення, що ефект отриманий за рахунок збільшення впливу гідродинамічних параметрів в міжелектродному проміжку.

Новизна роботи полягає в наступному:

- встановлені закономірності, що визначають залежність продуктивності від параметрів імпульсів;

- встановлено, що продуктивність визначається стійкістю електроерозійного формування отворів, сполученням ЕІ додаткового руху в напрямку подачі, складом робочої рідини і її гідродинамічними параметрами при створенні ультразвукових хвиль.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крымов В.В. Производство лопаток газотурбинных двигателей / В.В.Крымов, Ю.С.Елисеев, К.И.Зудин. – М.: Машиностроение – Полет. 2002. – 376 с.:ил.
2. Черепяхин А.А. Технология обработки материалов / А.А.Черепяхин. - 5-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 272с.
3. Schmiert fast alles // Masch. Und Werkzeug. 2015. № 3. С. 77.
4. Ragulskis K. Application of torsions vibrations for vibrodrilling operations / K.Ragulskis // Mechanika.2011. № 7. С.498 – 502.
5. Елисеев Ю.С. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей / Ю.С.Елисеев, В.В.Крымов, А.А.Митрофанов и др.; Под ред, Б.П.Саушкина. – М.: Дрофа. 2002. – 656 с.
6. Братухин А.Г. Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей / А.Г.Братухин, Г.К.Язов, Б.Е.Карасев и др. – М.: Машиностроение. 1997. – 411 с.:ил.
7. Яковец И.В. Электрохимическая размерная обработка сложнопрофильных отверстий малой глубины в деталях из хромоникелевых сплавов в хлоридных растворах / И.В.Яковец, В.Г.Звонкий, В.В.Коблов, А.И.Дикусар // Металлообработка. – 2006. - № 2. – С. 22-25.
8. Митрюшин Е.А. Пути развития и перспективы применения технологий электрохимической размерной обработки / Е.А.Митрюшин, С.Б.Саушкин, Б.П.Саушкин // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. - № 12. – С. 40-45.
9. Глебов В.В. О проблеме бокового подтравливания при химическом и электрохимическом гравировании / В.В.Глебов // Фундаментальные исследования. – 2011. - № 8 (часть3). – С. 623-626.
10. Эмануэль Н.М. Курс химической кинетики / Н.М.Эмануэль, Д.Г.Кнорре. – М.: Высшая школа, 1984. – 463 с.

11. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов / А.Г.Григорьянц, И.Н.Шиганов, А.И.Исюрюв. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 664 с.
12. Лосев В.Ф. Физические основы лазерной обработки материалов / В.Ф.Лосев, Е.Ю.Морозова, В.П.Ципилев. Учебное пособие. – Томск, ТПУ, 2011. -199 с.
13. Вакс Е.Д. Практика прецизионной лазерной обработки / Е.Д.Вакс, М.Н.Миленький, Л.Г.Сапрыкин. М.: Техносфера, 2013. – 698 с.
14. Амитен Г.Л. Справочник по электрофизическим методам обработки / Г.Л.Амитен, И.А.Байсуров, Ю.М.Барон и др.; Под ред. В.А.Волосатова. – Л.: Машиностроение, 1988. – 719 с.
15. Беленький В.Я. О динамических процессах в зоне взаимодействия концентрированного электронного пучка с металлом при электронно-лучевой обработке / В.Я.Беленький, В.М.Язовских, М.А.Осипенко // ФиХОМ. – 1995. - № 4. – С. 70-74.
16. Кошелев А.А., Эйзиер Л.А. Технология автоматизированной гидроабразивной обработки деталей / А.А.Кошелев, Л.А. Эйзиер // Автоматизация технологических процессов в области машиностроения для животноводства и кормопроизводства. Ростов-на-Дону: НИИТМ, 1981. С. 37-47.и оборудование для
17. Билик Ш.М. Абразивно-жидкостная обработка металлов / Ш.М. Билик. М.:Машгиз, 1960. - 198 с.
18. Артамонов Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. пособие (в 2-х т.) Том 1. Обработка материалов с применением инструмента / Б.А.Артамонов, Ю.С.Волков, В.И.Дрожанова и др. // Под ред. В.П.Смоленцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 247 с.
19. Абляз Т.Р. Анализ качества обработанной поверхности детали после электроэрозионной обработки / Т.Р.Абляз // Современные проблемы науки и образования. – 2014. - № 2.

20. Елисеев Ю.С. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники: (к 100-летию со дня рождения Б.Р.Лазаренко) / Ю.С.Елисеев, Б.П.Саушкин. – М.: Изд-во МГТУ, 2010. – 437 с.
21. Бабич Б.Н. Металлические порошки и полошковые материалы: справочник / Б.Н.Бабич, Е.В.Вершинина, В.А.Глебов и др.: под ред. Ю.В.Левинского. – М.: ЭКОМЕТ. 2005. – 520 с.
22. Абляз Т.Р. Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов: учебное пособие / Т.Р.Абляз, А.М.Хамов, О.Г.Хурматуллин. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012. -120с.
23. Dey, S. Experimental Study Using Different Tools / Santanu Dey, D.C.Roy // International Journal of Engineering Research. – 2013. – Vol. 3. – Issue. 3. – PP. 1263-1267.
24. Блинова Т.А. Разработка высокопроизводительной технологии электроэрозионной обработки малых отверстий в коллекторах / Т.А.Блинова: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.08. Белгород, 2010. – 19 с.
25. Поляков З.И. Электрофизические и электрохимические методы обработки: Учебное пособие / З.И.Поляков, В.М.Исаков, Д.В.Исаков, В.Ю.Шамин. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – 89 с.
26. Акопян М.Г. Некоторые наблюдения о рабочих средах, используемых при электроэрозионной обработке / М.Г.Акопян, С.Ш.Христафорян, Г.Г.Акопян // Ежегодный сборник материалов ГИУА, Ереван, 2006, т. 1 – С. 297-300.
27. Никифоров В.И. Электрохимические и электрофизические технологии в машиностроении / В.И.Никифоров. Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического университета, 2013. – 303 с.
28. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки // Г. Л. Амитан, И. А. Байсупов, Ю. М. Барон и др.; под общ. ред. В. А. Волосатова. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. — 719 с.

29. Поляков З. И., Исаков В. М., Исаков Д. В., Шамин В. Ю. Электро-физические и электрохимические методы обработки: учеб. пособие. — Челябинск: ЮУрГУ, 2006. — 89 с.
30. Погонин А.А., Бойко А.Ф., Домашенко Б.В. Влияние энергии и частоты импульсов тока на производительность электроэрозионной обработки капиллярных отверстий // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. докл. Пятая междунар. науч.-техн. конф. Брянск, 2006г./ Брянская гос. инж. - технол. акад.- Брянск, 2006. С. 133–136.
31. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении / Е.Я. Юдин, С.В. Белова – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.- 432 с.
32. Люманов Е.М. Безпека технологічних процесів та обладнання на машинобудівних підприємствах / Е.М. Люманов // – Сімферополь: ВАТ «Сімферопольська міська друкарня» (СГТ), 2008. – 128 с.
33. Піскун І.П. Охорона праці в галузі машинобудування / Р.Є. Стець, І.О. Трунова. // – Суми: Університетська книга, 2011. - 557с.
34. Кодекс цивільного захисту України станом на 06 грудня 2012 року: – К.: Алерта, 2012. – 120 с.
35. Кононов В.В. Кфективність обробки деталей авіадвигунів електроерозійними методами / В.В.Кононов, М.М.Мельниченко, І.В.Середа, А.В.Чірка // Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 15-19 квітня 2019 р. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. Дані. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – Назва з тит. екрана.
36. Кононов В.А. Пошкодження поверхневого шару робочих лопаток ТВТ ГТК-10І / В.В.Кононов, С.В.Гайдук, М.М.Мельниченко // Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів: зб.докл. XIV Міжнародної науково-технічної конференції, 08-10 жовтня 2019. – Запоріжжя, 2019. С. 43-45.