

Вінницький національний технічний університет

Факультет машинобудування та транспорту

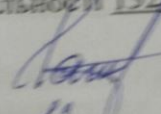
Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка

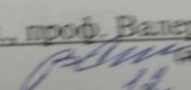
до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГРЕБНОГО
ГВИНТА ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ

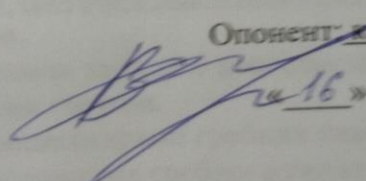
Виконав: студент 2 курсу, групи 13В-Т3м
спеціальності 132- «Матеріалознавство»
(шифр і назва спеціальності)

 Дмитро КАТЕРИНЧУК
(прізвище та ініціали)
« 12 » 12 2024 р.

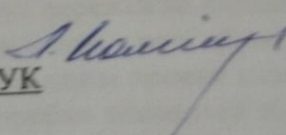
Керівник: д.т.н., проф. Валерій САВУЛЯК
(прізвище та ініціали)

 « 12 » 12 2024 р.

Опонент: д.т.н., доц. Віталій ОГНЕВИЙ
(прізвище та ініціали)

 « 16 » 12 2024 р.

Попущено до захисту
завідувач кафедри ГМ
д.т.н., проф. Леонід ПОЛІЩУК

 « 16 » 12 2024 р.

Вінниця - 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
 Факультет Машинобудування та транспорту
 Кафедра Галузевого машинобудування
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
 Галузь знань – 13 Механічна інженерія
 Спеціальність – 132 – Матеріалознавство
 Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні технологічні системи в інженерії поверхні

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ГМ
Михайло Леонід Леонід Полішук
 «17» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дмитру КАТЕРИНЧУКУ
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГРЕБНОГО ГВИНТА ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ

керівник роботи д.т.н., проф. Валерій САВУЛЯК
 затверджені наказом вищого навчального закладу від
 «17» вересня 2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи «12» грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи:

Робоче креслення гребного гвинта,
Річна програма відновлення N = 150 шт.

4. Зміст текстової частини:

Вступ. Розділ 1. Стан питання та задачі дослідження проблеми зношування робочих поверхонь гребних гвинтів.

Розділ 2. Дослідження процесів ерозії гребних гвинтів.

2.1 Аналіз процесів пошкодження гребного гвинта кавітацією та абразивними частинками. 2.2. Поверхні, які переважно піддаються кавітаційному руйнуванню та стиранню завислим у воді абразивом. 2.3. Види та прояви кавітаційних процесів. 2.4. Шкідливі прояви кавітації. Висновки.

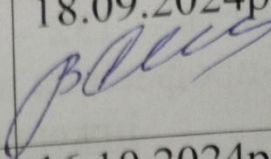
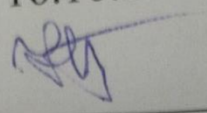
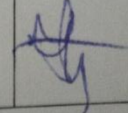
2. Технологічна частина: розробка технології відновлення гребного гвинта.

3. Конструкторська частина. 4. Економіка виробництва. 5. Розробка ТЗ на проект.

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

1. Робоче креслення деталі. 2. 3-Д модель гребного гвинта 3. Технологічний процес відновлення гребного гвинта. 4. Базовий вузол з гребним гвинтом для відновлення. 5. Схема зміцнення.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	САВУЛЯК В.І. д.т.н., проф., професор кафедри ГМ	18.09.2024р. 	12.12.2024р. 
		16.10.2024р. 	06.12.2024р. 
Економіка виробництва	Бурсеннікова Н. В., д.е.н., проф., професор кафедри ЕПВМ		

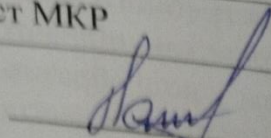
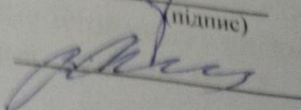
7. Дата видачі завдання « 18 » вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)	18.09.24 р.	век
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР	26.10.2024 р.	век
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР	30.11.24 р.	век
4	Виконання розділу «Економіка виробництва»	06.12.24 р.	век
5	Попередній захист МКР	10.12.24 р.	век
6	Нормоконтроль МКР	11.12.24 р.	век
7	Опонування МКР	15.12.2024 р.	век
8	Захист МКР	18.12.2024 р.	

Студент

Керівник проекту


(підпис)


Дмитро КАТЕРИНЧУК

Валерій САВУЛЯК

Анотація

В даній магістерській кваліфікаційній роботі представлено дослідження процесів виникнення кавітації на гребних гвинтах суден та його корозії. Запропоновано технологічний процес відновлення гребного гвинта з використанням електродугового методу нанесення покриття, що дозволяє забезпечити його ерозійну стійкість. В роботі наведено:

- експериментальне дослідження процесу виникнення кавітаційних каверн;
- дефектація поверхонь гребного вала;
- вибір та технічне обґрунтування методів відновлення поверхонь деталі;
- розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку;
- формування маршруту технологічного процесу відновлення деталі;
- розрахунок економічної доцільності впровадження розробленого технологічного процесу у виробництво;

Ключові слова: кавітація, каверни, покриття, технологічний процес, механічна обробка, 3-Д моделювання, корозія

Annotation

This master's qualification work presents a study of the processes of cavitation occurrence on ship propellers and its corrosion. A technological process for restoring a propeller using the electric arc coating method is proposed, which allows ensuring its erosion resistance. The work provides:

- experimental study of the process of cavitation cavities;
- defecting of propeller shaft surfaces;
- selection and technical justification of methods for restoring part surfaces;
- calculation of intermediate allowances and technological dimensions for mechanical processing;
- formation of a route for the technological process of restoring parts;
- calculation of the economic feasibility of implementing the developed technological process in production;

Keywords: cavitation, cavities, coating, technological process, mechanical processing, 3-D modeling, corrosion

ЗМІСТ

<u>Вступ</u>	8
1. СТАН ПРОБЛЕМИ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ГРЕБНИХ ГВИНТІВ.....	12
1.1 Фізичні процеси на гребних гвинтах під час експлуатації	12
1.2 Задачі дослідження.....	14
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕРОЗІЇ ГРЕБНИХ ГВИНТІВ.....	15
2.1 Поверхні, які переважно піддаються кавітаційному руйнуванню та стиранню завислим у воді абразивом	15
2.2 Види та прояви кавітаційних процесів.....	16
2.2.1 Кавітація, що переміщується у потоці рідини	20
2.2.2 Приєднана кавітація в потоці рідини.....	21
2.2.3 Вихрова кавітація в потоці рідини	22
2.3. Шкідливі наслідки кавітації.....	23
Висновки	28
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	30
3.1 Службове призначення гребного гвинта.....	30
3.2 Матеріал гребного гвинта і його властивості.....	32
3.3 Уточнені технічні вимоги на виготовлення гребного гвинта.....	31
3.4 Якісна характеристика технологічності.....	32
3.5 Кількісна характеристика технологічності.....	34
3.6 Загальний огляд існуючих процесів відновлення деталі типу гребний гвинт	34
3.7 Вибір та критичний аналіз базового процесу відновлення деталі.....	35
3.8 Визначення типу ремонтного виробництва.....	39

Розробка технологічної схеми та технології розбирання та складання приводу гребного гвинта судна під час ремонту.....	41
Розрахунок припусків на механічну обробку.....	43
Вибір та обґрунтування методу відновлення деталі, обладнання і джерел живлення.....	44
Маршрут відновлення деталі.....	45
Розрахунок режимів наплавлення лопатей і посадкового місця гребного гвинта.....	46
Розрахунок режимів механічної обробки.....	48
Нормування операцій.....	51
4 Економічна частина.....	53
3.5 Висновки	71
ВИСНОВКИ ЗАГАЛЬНІ	71
Список використаних джерел	73
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	78
Додаток Б (обов'язковий) Комплект документів.....	83
Додаток В (обов'язковий) Графічна частина.....	83
Додаток Г (обов'язковий) Специфікації	89
Додаток Д (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	90

Вступ

Актуальність теми. Ефективне використання ресурсів та забезпечення високої якості продукції можливе на основі прискорення науково-технічного прогресу, що вимагає широкого впровадження нових технологій – плазмових, електронно-променевих, електродугових і ін., які дозволяють підвищити термін експлуатації машин, понизити енерго- і матеріаломісткість виробництва. Для річкових та морських суден також гостро стоять проблеми довговічності та відновлення насамперед силового обладнання. До цього обладнання відносять двигуни, валопроводи та гребні гвинти. У найбільш важких умовах працюють гребні гвинти на які впливають ушкоджуючі фактори: корозія, зношування завислими у воді абразивними частками та кавітаційні процеси.

Відновлення зношених деталей сучасними методами нанесення покриттів сприяє значному підвищенню їх довговічності та зменшенню собівартості.

Дослідженнями, виконаними у ВНТУ, НАУ, КПІ, ХНУ останніх років і виробничою практикою встановлено, що більшість деталей машин та морських і річкових суден вибраковується через знос робочих поверхонь, що складає не більш 1% початкової маси деталей [1,2,3]. Якщо врахувати, що до моменту списання плавзасобів для повторного використання методами відновлення придатно 65-75% деталей, то організація відновлення зношених деталей є не тільки важливим резервом задоволення потреби народного господарства запасними частинами, але і істотним резервом підвищення якості ремонту, а також зниження витрат матеріальних і трудових ресурсів.

В даний час для відновлення зношених деталей сплавами найбільш ефективні методи: електродугове наплавлення, плазмове, газополуменеве, та детонаційне напилювання [4,5,6]. Ці методи мають недоліки: значна теплова дія на оброблювану деталь, що призводить до термічної деформації останньої; використання горючих та вибухових газів, що створює небезпечні та некомфортні умови праці. Але є і суттєві переваги: створення покриттів значної товщини, нанесення дорогих сучасних матеріалів з необхідними властивостями.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до тематики спеціальності «Матеріалознавство» Вінницького національного технічного університету. Висновки і пропозиції магістерської кваліфікаційної роботи можуть бути використані в навчальному процесі, для виконання держбюджетних науково-дослідних та інших дослідницьких робіт, впроваджені на виробництві.

Мета роботи

- аналіз причин втрати працездатності та підвищення довговічності деталей типу гребний гвинт нанесенням функціональних покриттів з використанням сучасних матеріалів та методів.

Задачі роботи

- Аналіз експериментальних та теоретичних робіт з проблем абразивно-кавітаційного зношування у воді та суспензіях;

- дослідження механізмів кавітаційного зношування гребного гвинта;
- аналіз службового призначення деталі;
- визначення типу ремонтного виробництва;
- дефектація поверхонь гребного гвинта;
- аналіз можливих способів нанесення покриттів для відновлення та зміцнення;
- вибір та технічне обґрунтування методів відновлення поверхонь деталі;
- обґрунтування витратного матеріалу для нанесення покриттів;
- проектування технології обробки відновлених деталей;
- формування маршруту технологічного процесу відновлення деталі;
- розрахунок економічної доцільності впровадження розробленого технологічного процесу у виробництво.

Об'єкт дослідження. Процеси взаємодії з водним середовищем робочих поверхонь гребних гвинтів плавзасобів, які піддаються процесам кавітації, корозії та абразивного зношування, а також технологічний процес відновлення зношених поверхонь.

Предмет дослідження. Процес нанесення покриттів для відновлення зношених поверхонь з протидією абразивно-кавітаційному зношуванню.

Методи дослідження. Методичною і теоретичною базою досліджень є основні

положення теорії відновлення поверхонь методом нанесення зносостійких покриттів. Експериментальні дослідження виконані на вимірювальних і моделюючих установках у лабораторних умовах; містять методи відновлення поверхонь в залежності від технологічних, фізико-механічних характеристик та хімічного складу відновлюваної деталі. Математичне оброблення результатів дослідження виконувалось з використанням існуючого прикладного програмного забезпечення.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна магістерської кваліфікаційної роботи становлять наступні основні результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень:

- виконано аналіз основних сучасних досліджень процесів кавітаційного та абразивного зношування в потоках води;
- досліджено механізм впливу параметрів потоку води та геометрії гребних гвинтів на зносостійкість.

Практичне значення одержаних результатів. Автором проведені дослідження та розроблені рекомендації для модернізації дільниці малого підприємства, розроблено маршрут по відновленню робочих поверхонь деталі типу гребний гвинт. Розроблене обладнання для нанесення покриттів та устаткування з числовим програмним керуванням може бути використано під час модернізації підприємств по відновленню зношених робочих поверхонь деталей. Економічний ефект від впровадження модернізованого маршруту відновлення деталей проглядається в чистому прибутку підприємства за рік, який становить 2060303,67 грн. З врахуванням витрат на модернізацію термін окупності складає 2,3 роки.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно проведено аналіз процесів абразивно-кавітаційного зношування у воді та суспензіях та ефективності способів відновлення зношених робочих поверхонь з урахуванням сучасних вимог до виробничих умов, обрано метод відновлення та складено план реалізації технології відновлення зношених у воді та суспензіях робочих поверхонь гребних гвинтів плавзасобів.

Структура і обсяг магістерської кваліфікаційної роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку

використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи 88 сторінок, 17 рисунків і 30 таблиць, перелік використаних джерел із 33 найменувань, додатки на 11 сторінках.

1 СТАН ПРОБЛЕМИ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ГРЕБНИХ ГВИНТІВ

1.1 Фізичні процеси на гребних гвинтах під час експлуатації

Гребні гвинти, що створюють потік води, зношуються під дією кавітації та завислих абразивних часток у воді. Явище кавітації виникає в потоці переважно в області гвинта, нижче крайки напрямного пристрою осьових гвинтів. Кавітація виникає на всіх режимах роботи гребних гвинтів, але руйнується матеріал проточної частини лише на окремих режимах.

Кавітаційне руйнування гребних гвинтів відбувається, коли абсолютний тиск у будь-якій точці проточної частини падає нижче тиску водяної пари при даній температурі. Наприклад, вода під тиском 10,3 м водяного стовпа кипить при температурі 100 °С, а під тиском 0,1 м — при температурі 6,6 °С. Якщо такий процес відбувається біля стінок деталей, їх поверхня з часом стає шорсткою. Це, у свою чергу, призводить до ще більшого локального збурення течії біля стінок, до збільшення кавітації та інтенсивності руйнування металу.

Поверхня, роз'їдена кавітацією, характеризується значною шорсткістю і має пористий, губчастий вигляд. Розрізняють щілинну і порожнинну кавітацію.

Щілинна кавітація виникає в зазорах, де вода тече з високою швидкістю. Ця кавітація також роз'їдає метал стінок деталей, надаючи їм губчасту структуру.

Порожнинною кавітацією зазвичай називають явище кавітації, яке виникає в центральній зоні напрямного апарату гребних гвинтів, де за певних умов утворюється вихор, що обертається з високою швидкістю. Кавітація у порожнинах супроводжується стуком і хитанням опорних частин, що викликає сильну вібрацію валопроводу та двигуна.

У деяких випадках надмірна вібрація через кавітацію повністю або частково усувається шляхом нагнітання атмосферного повітря під гребним гвинтом у місце утворення вихору. У осьових гребних гвинтів найкращі результати досягаються при нагнітанні повітря через центральний отвір валопроводу.

Кавітація дуже згубно впливає на роботу гвинта та напрямних потоку води: метал стінок деталей швидко руйнується; поверхні, вкриті кавітаційними пошкодженнями, мають велику шорсткість, порушують потік і створюють додатковий опір потоку води; знижується ККД, потужність та рушійна сила, яку розвиває гвинт; підвищується вібрація валопроводу, що іноді стає неприпустимим.

Потік, який створює гребний гвинт, завжди несе певну кількість завислих часток. Ці частинки механічно стирають поверхні деталей водопроводу, причому інтенсивність зношування тим вище, чим твердіші частинки (пісок, базальт, кварц), більші їх розміри і чим вище швидкість води, що несе завислі абразивні частинки. Лабораторні дані, представлені деякими авторами [1,2], показують, що знос пропорційний концентрації абразивних частинок (при постійній частці їх вмісту у воді) і тиску в степені приблизно $3/2$. Інші дослідження стверджують, що знос пропорційний квадрату кругової швидкості гребного гвинта [3].

Поверхні, зношені абразивними частинками, зазвичай покриті борознами, спрямованими вздовж потоку води. Ці канавки можуть перетинатися через зміну напрямку потоку при різних умовах експлуатації агрегату.

Слід зазначити, що руйнування під дією кавітації характеризується утворенням губчастої поверхні, а під впливом абразивних часток – борозенчастої поверхні, яка є результатом ковзання абразивних часток по металу [4]. Взаємодія цих двох факторів прискорює руйнування, ймовірно тому, що губчаста поверхня легше піддається стиранню абразивними частками. З іншого боку борозенки, утворені абразивними частками, сприяють виникненню вогнищ локальної кавітації, де за наявності гладенької поверхні кавітація могла б і не відбутися. У загальному випадку робоча поверхня лопатей гребних гвинтів повинні одночасно мати високу твердість, вязкість та тріщиностійкість.

1.2 Задачі роботи

- Аналіз експериментальних та теоретичних робіт з проблем абразивно-кавітаційного зношування у воді та суспензіях;
- дослідження механізмів кавітаційного зношування гребного гвинта;
- аналіз службового призначення деталі;
- визначення типу ремонтного виробництва;
- дефектація поверхонь гребного гвинта;
- аналіз можливих способів нанесення покриттів для відновлення та зміцнення;
- вибір та технічне обґрунтування методів відновлення поверхонь деталі;
- обґрунтування витратного матеріалу для нанесення покриттів;
- проектування технології обробки відновлених деталей;
- формування маршруту технологічного процесу відновлення деталі;
- розрахунок економічної доцільності впровадження розробленого технологічного процесу у виробництво.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕРОЗІЇ НА МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХНЯХ

2.1. Поверхні, які переважно піддаються кавітаційному руйнуванню та стиранню завислим у воді абразивом

У гребних гвинтів від місцевої кавітації переважно руйнуються поверхні лопатей і прямої, які розташовані з тильного (неробочого) боку, а також елементи вхідної частини прямого жолоба. Слід зазначити, що заокруглення з малими радіусами, нерівності, шорсткості у цьому районі сприяють виникненню кавітації.

Лабіринтні ущільнення валопроводу гребного гвинта руйнуються під впливом щілинної кавітації. Ця ж кавітація руйнує матеріал у місцях просочування води через нещільності. Руйнуванню від щілинної кавітації піддаються також торцеві поверхні лопаток.

Проведені дослідження зносостійких матеріалів гребних гвинтів на річках у натурних умовах дозволили дати деяку оцінку впливу абразивних завислих у воді часток та кавітації на стан деталей, що працюють у забрудненій воді.

Інтенсивному зносу від абразивних часток піддавалися деталі, виготовлені з вуглецевої сталі та наплавлені електродами марок (Таб. 2.1.).

Таблиця 2.1 – Твердість та коефіцієнт впливу абразиву на зносостійкість наплавлених електродугових покриттів

Марка електроду	Твердість наплавленого металу, НВ	Коефіцієнт зносостійкості
1Х13	400	2,0
Fox-kw-180	450	1,8
ЦН-5	400	1,7
12АН/ЛІИВТ	500	1,6
ОММ-5	190	1,1
Еталон (Ст 25 - 35)	170	1,0

Високий коефіцієнт зносостійкості від дії абразивних часток, що зависли у воді, переважно мають наплавки, які мають високу твердість, за умови, що на покритті

відсутні тріщини. Цим в основному і пояснюється те, що чим вище твердість деталей, що омиваються водою з абразивними частками, тим вище їх опір зносу.

Наплавлення електродами типу Е-42 не призводить до помітного зміцнення поверхонь деталей з вуглецевої сталі. Так, дослідження робочого колеса з вуглецевої сталі, наплавленого на вихідних крайках лопатей з тильного (неробочого) боку різними електродами, показали (колесо піддавалося одночасно кавітаційному руйнуванню та стиранню завислими абразивними частками), що при зміцненні необхідно враховувати два фактори: тильна сторона лопатей, схильна до кавітаційних руйнувань, повинна наплавлятися аустенітними, нержавіючими електродами високої корозійної стійкості та вязкості, а лицьова (робоча) сторона лопаток і внутрішня поверхня напрямного жолоба, які схильні до стирання завислими абразивними частками, потрібно наплавляти твердими покриттями.

Встановлено, що к. к. д турбіни ГЕС через знос внаслідок наносів та кавітації протягом одного року знижується на 10%. У разі підвищення зносостійкості деталей у 1,5-1,8 разів експлуатація протягом року тривала б без помітного зниження к. к. д. Такий ефект міг бути досягнутий при скороченні міжремонтного періоду на 30%.

У радіально-осьових турбінах наносами стираються лопатки та їх підшипники, кришка та нижнє кільце напрямного апарату, кільця лабіринтних ущільнень, лопаті та обід робочого колеса біля входу.

2.2 Види та прояви кавітаційних процесів

Кавітація є складним фізичним явищем, яке до тепер ще недостатньо вивчене. Однак слід вважати встановленим, що в явищі кавітації розрізняються дві фази: по-перше, виділення з води пари і розчиненого в ній повітря у вигляді бульбашок, або каверн, що порушують суцільність потоку води, і, по-друге, конденсацію вмісту зазначених парогазових каверн, коли вони, знесені потоком, потрапляють у зону підвищеного тиску. При миттєвій конденсації пари всередині каверн оточуюча рідина прямує до центру каверн із величезною швидкістю, стискаючи наявне у них повітря. У

місцях завершення процесу кавітації підвищення тиску внаслідок гідравлічних ударів досягає значної величини.

Проф. Г. Феттінгер зробив наближені розрахунки підвищення тиску в центрі каверни в момент її зникнення і дійшов висновку, що при найбільш не вигідних припущеннях величина точкового підвищення тиску в центрі каверни становить близько 1500 ат. Середні значення тиску, неодноразово отримані за допомогою п'єзокварцевого датчика, поміщеного в область кавітації, досягають кількох сотень атмосфер. Це показує, що вказані вище теоретичні розрахунки точкового підвищення тиску досить правильно визначають порядок величин.

При конденсації пари всередині каверни розвиваються величезні тиски та значно підвищується температура. Були проведені дослід, при яких цю температуру визначали зі спалаху незмочуваних вибухових порошків; вона виявилася рівною $+ 230^{\circ}\text{C}$. При стисканні кавітаційної бульбашки спостерігаються також електричні явища, що викликають її свічення. Це свічення пояснюється електричним розрядом, який виникає в кавітаційній порожнині при її утворенні.

Величезні тиски, що виникають в момент завершення гідравлічного кавітаційного удару і подальшого розширення пароповітряної суміші каверни, викликають пружні коливання сусідніх частинок рідини з частотою звукових коливань. Ці вібрації, передаючись металу, викликають швидке руйнування його поверхні, особливо велике, якщо метал відрізняється крихкістю. Гладкі поліровані поверхні, відбиваючи коливання, менш зазнають кавітаційного руйнування (ерозії). Нерівні поверхні більше поглинають енергію пружних коливань, тому інтенсивно руйнуються. Отже, якщо поверхня почала руйнуватися, то, набуваючи дрібногубчастої структури, вона продовжує руйнуватися зі зростаючою швидкістю [8].

Руйнуванню металу безсумнівно сприяє, крім механічного, також і хімічна дія кавітації. Останнє зумовлено тим, що кисень повітря в момент його виділення з води, взаємодіючи з паром, газом і твердим металом в умовах швидкої та різкої зміни тиску та температури, має дуже високу хімічну активність. Однак головною причиною руйнування металу слід вважати все ж таки механічний вплив вібрацій на поверхню обтічних тіл, що знаходяться в кавітаційній зоні. Це підтверджується тим, що

кавітаційні руйнування було отримано на таких хімічно стійких матеріалах, як скло, агат та золото.

Зазвичай областями виникнення кавітації є поверхні у вихідних крайок лопатей гребного гвинта з тильної, неробочої сторони, а також крайки в зоні, яка близька до вихідних. При сильному розвитку кавітація охоплює всю область гребного гвинта і в дуже короткий термін руйнує його і його деталі (Рис.2.1).

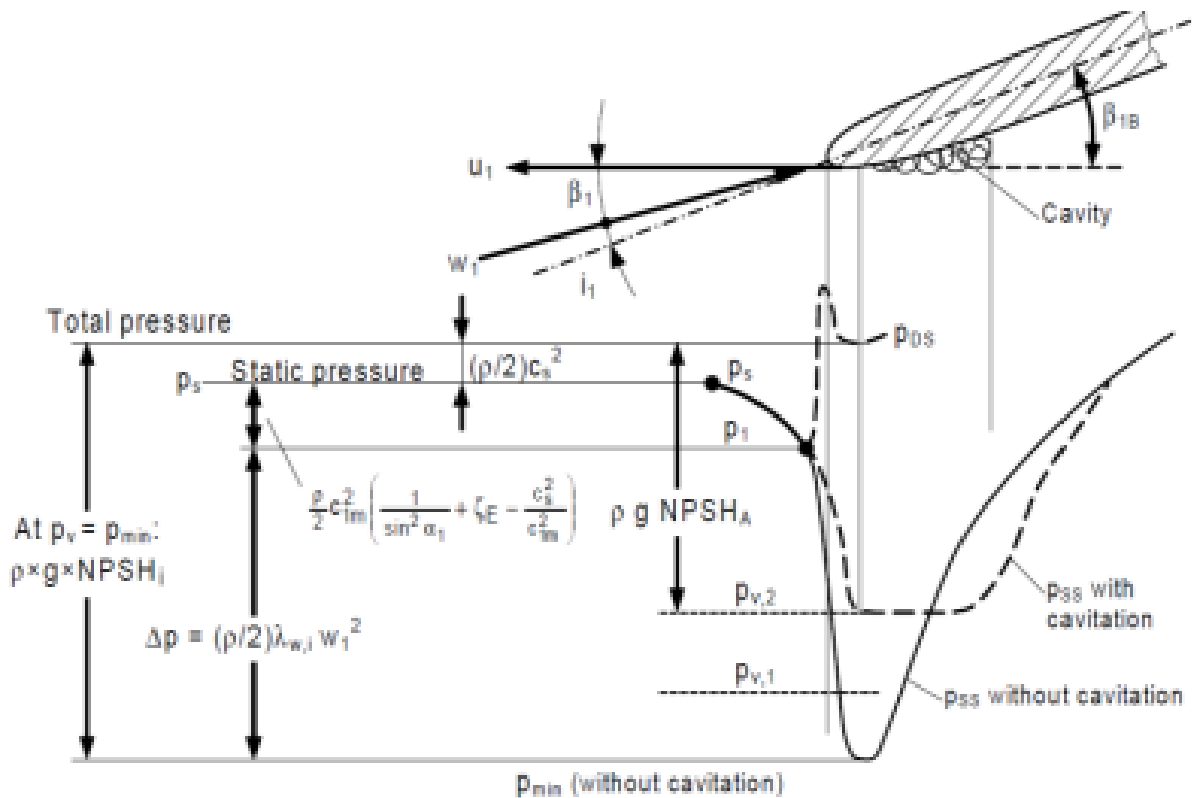


Рисунок 2.1 – Розподіл тисків в зоні кавітації

Кавітаційні руйнування, які мають інтенсивний характер, є основною причиною, що перешкоджає ефективності роботи гребного гвинта плавзасобу. Створення безкавітаційних умов роботи слід вважати найголовнішим завданням при розрахунку та конструюванні гребних гвинтів.

Найгірші кавітаційні якості мають швидкохідні гребні гвинти. Це пов'язано з тим, що великі відносні швидкості протікання води через гребний гвинт і за ним, викликають значні місцеві зниження тиску. Відомо, що за законом Бернуллі в потоці рідини

$$p \times V = \text{const.}$$

де p – тиск в потоці рідини;

V – швидкість рідини в обраній точці потоку.

Загальне розрідження, що утворюється в рушії, залежить від статичного вакууму, від швидкостей на вході і на виході з гребного гвинта і від місцевих розріджень, що викликаються кривизною форми лопаті гребного гвинта, а також інших поверхонь.



Рисунок 2.2 – Фотографія зони вихрової кавітації на лопатках гребного гвинта

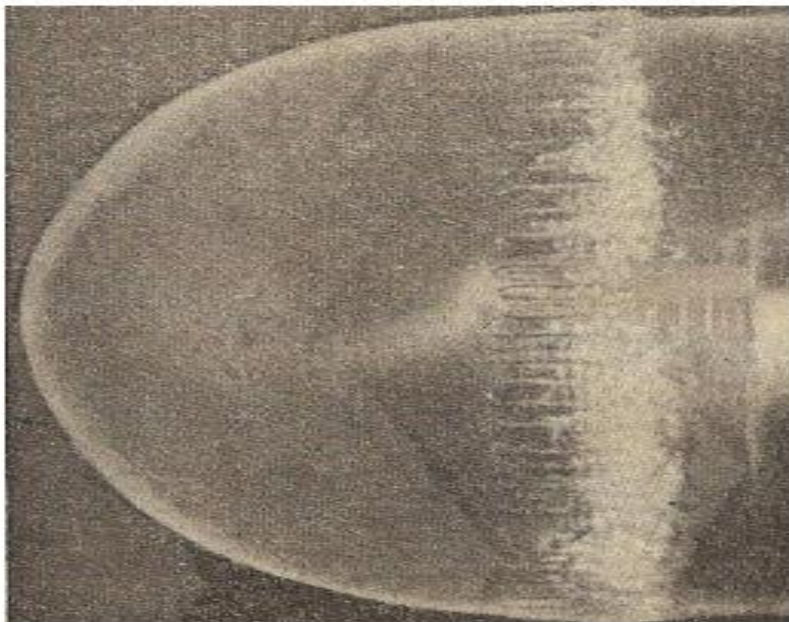


Рисунок 2.3 – Фотографія зони кавітації у вигляді бульбашок на обтікачі гребного гвинта

2.2.1 Кавітація, що переміщується у потоці рідини

Кавітація, що переміщується, є типом кавітації, при якій в рідині утворюються окремі нестаціонарні каверни або бульбашки, які рухаються разом з потоком. При цьому, в залежності від писку в потоці та в бульбашці, їх об'єм росте, зменшується і потім захлопуються. Такі нестаціонарні бульбашки, що переміщуються, можуть виникати в точках низького тиску на твердому розділі «вода – твердий матеріал», в об'ємі рідини або в області рухомих вихорів, або всередині течії з високим рівнем турбулентності. Переміщення цих бульбашок в потоці є їх особливістю у порівнянні з іншими типами кавітаційних процесів. Без швидкісного фотографування цей процес кавітації виглядає як суцільна хмара кавітаційних порожнин.

2.2.2 Приєднана кавітація в потоці рідини

Приєднаною кавітацією називається явище, що виникає інколи після початку кавітації, при якому потік рідини відривається від твердої крайки обтічного тіла або стінки каналу з утворенням порожнини, або каверни, на твердій крайці. В деяких випадках поверхня розділу між рідиною і великою каверною може бути гладкою і прозорою. У рідині біля поверхні великої каверни спостерігається велика кількість дрібних нестационарних бульбашок, що переміщуються. Ці дрібні каверни швидко зростають майже до максимального розміру на початку основної бульбашки і практично не змінюються при переміщенні вздовж неї аж до її кінця, де вони зникають (рис.2.4).



Рисунок 2.4 – Фотографія приєднаної зони кавітації

Інколи спостерігаються нестационарні процеси з коливаннями, в яких приєднана бульбашка спочатку зростає, а потім захлопується внаслідок заповнення її рідиною з кінця зони кавітації. Максимальна довжина приєднаної бульбашки залежить від поля тиску в потоці. Каверна може закінчуватися в точці прилипання основного потоку рідини до поверхні гребного гвинта на деякій відстані від її передньої крайки (лінії відриву) або може тягнутися далеко за межі твердої деталі до замикання основного потоку з утворенням порожнини, що охоплює весь гребний гвинт. Таку кавітацію називають суперкавітацією.

2.2.3 Вихрова кавітація в потоці рідини

При вихровій кавітації каверни спостерігаються в центрі вихорів, що утворюються в зонах, де є великі напруження розтягу в потоці. Вихрова кавітація була виявлена раніше інших типів кавітації, оскільки вона часто виникає на кінцях лопатей гребних гвинтів. Цього типу кавітації часто називають “кінцевою” кавітацією. Кінцева кавітація виникає не лише на гребних гвинтах при обтіканні зовнішнім потоком, вона також зустрічається і в каналах, наприклад на кінцях лопатей осьових насосів. Кавітація цього типу розвивається також в областях, де є великі поперечні градієнти швидкості, достатні для підтримки вихорів, в ядрі яких абсолютний тиск падає до критичної величини, зазвичай приблизно рівної тиску насиченої пари. Вихрова каверна може існувати триваліший час, ніж каверна, що переміщується, оскільки вихор створює момент кількості руху, який збільшує час існування каверни навіть у тому випадку, коли маса рідини переміщається в зону з вищим тиском (рис.2.5).



Рисунок 2.5 – Фотографія вихрової кавітації на лопатці гребного гвинта

Швидкість захопування вихрових каверн та механізми їх протікання потребують вивчення, адже змінюються в залежності від багатьох факторів. Характерні прояви протікання цих процесів свідчать про високі швидкості відривання бульбашок та низькому тиску їх захопування. Отже, якщо захопування бульбашки відбувається на значній відстані від гвинта, то вихрова кавітація може викликати руйнування лише у тому випадку, коли захопування каверн відбувається на поверхні тіла або на невеликій відстані від неї.

2.3. Шкідливі наслідки кавітації

Кавітація викликає ерозію металу навколо своєї зони. Ця ерозія і складає один з чинників шкідливої дії кавітації, тому вона у багатьох випадках небажана. Наприклад, вона викликає руйнування гребних гвинтів плавзасобів, насосів, гідротурбін тощо. Кавітація викликає шум, вібрації і зниження ефективності роботи механізмів (рис.1.6).



Рисунок 2.6 – Руйнування чавунного робочого колеса під впливом кавітації

Аналіз рисунка 2.6 дозволяє зробити висновок, що структура чавуну з великим вмістом крихких складових не дозволяє ефективно протидіяти кавітації.

Кавітація веде до великого зносу робочих органів і може значно скоротити термін служби гвинта [3,9]. На гребних гвинтах виникають два різних види кавітації: поверхнева кавітація і відривна кавітація. Поверхнева кавітація виникає на поверхнях лопаток гвинта та його обтікачі або в безпосередній близькості від них. Відривна кавітація виникає в результаті коливання тиску в турбулентних струменях і вихорах, що періодично відриваються від поверхні. Прикладами такого роду кавітації є кавітація в струменях, що утворюються за лопатками гвинта, за нерівностями поверхні, або кавітація унаслідок місцевого пониження тиску в зазорах. Що стосується поверхневої кавітації, то вона може мати місце як на рухомих, так і нерухомих частинах гребних гвинтів.

При обтіканні передньої поверхні лопаток гребних гвинтів має місце пониження тиску на її тильному боці, яке викликане пов'язаним з обтіканням відхиленням потоку,

наданням йому великої швидкості та появою відцентрових сил (рис.1.7). Найбільше пониження тиску має місце в точці А.

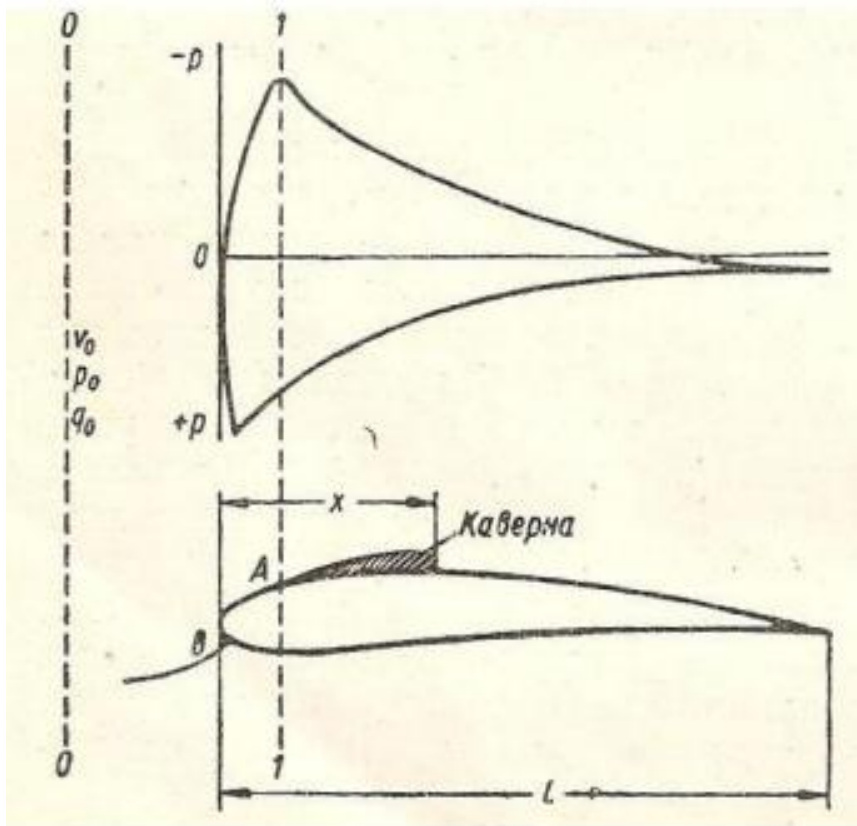


Рисунок 2.7 – Схема виникнення зон низького тиску та каверн

У точці В швидкість падає, а для збереження постійного значення добутку $p \times V = \text{const}$ тиск значно зростає. На ділянці АВ цей тиск падає, переходячи в розрідження. Характер зміни тиску на цій ділянці і величина розрідження залежить від кінцевої товщини лопатки і форми її торця. Розрідження зокрема тим більше, чим коротша ділянка переходу до повної товщини лопатки. При великих значеннях швидкості потоку в гребний гвинт це пониження тиску може досягати значної величини. Кавітація на гребних гвинтах може призвести до руйнування його окремих частин, водоводів, що підводять і відводять воду, зниженню тиску потоку, що створює рушійну силу, до збільшення шуму. Відразу необхідно сказати, що шум і вібрація є на усіх гребних гвинтах при роботі їх на режимах, що значно відрізняються від режиму максимального к.к.д.. З іншого боку, може статися значне погіршення характеристик гребного гвинта і навіть часткове руйнування його внаслідок кавітації при незначному збільшенні шуму і вібрації. Іншими словами, можна сказати, що хоча шум і вібрація є ознаками кавітації,

але вони далеко не завжди дозволяють з необхідною точністю визначити ступінь її розвитку.

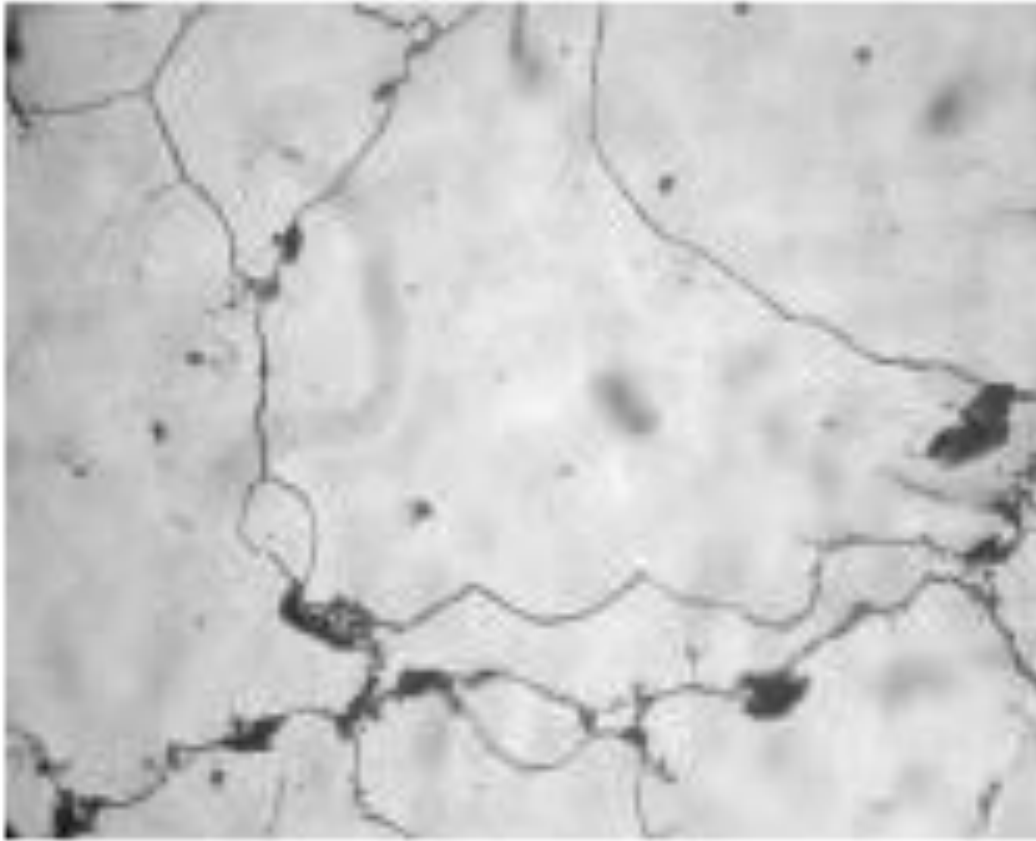


Рисунок 2.8 - Структура сталі гребного гвинта 40X18Г15АФЛ в литому стані(,x100)

З аналізу структури поверхні гребного гвинта після литва (рис.2.8) впливає висновок, що на межах великих кристалів є різного виду та розмірів виділення, які стають концентраторами напружень та зародками мікротріщин. Досвід підказує, що такі мікротріщини будуть розвиватися по існуючих межах кристалів оскільки їх міцність на розтяг є найменшою.

Гомогенізація матеріалу (рис.2.9) дозволяє усунути, розчинити наявні виділення, що зменшує концентрацію напружень та підвищує тріщиностійкість.

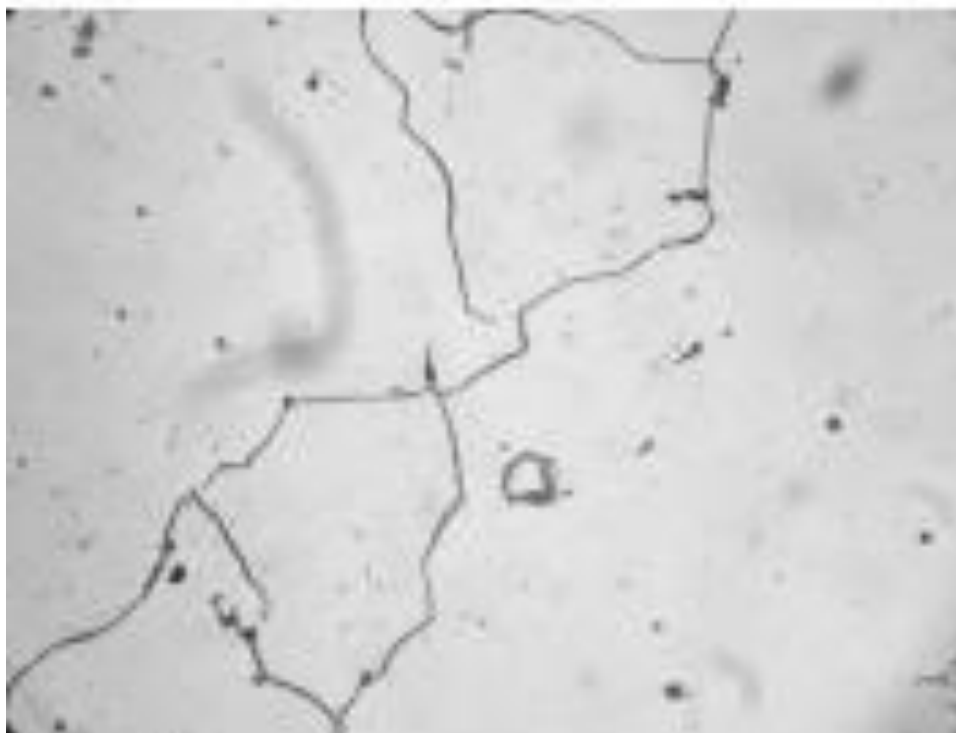


Рисунок 2.9 - Структура сталі гребного гвинта 40X18Г15АФЛ після гомогенізації(х100),

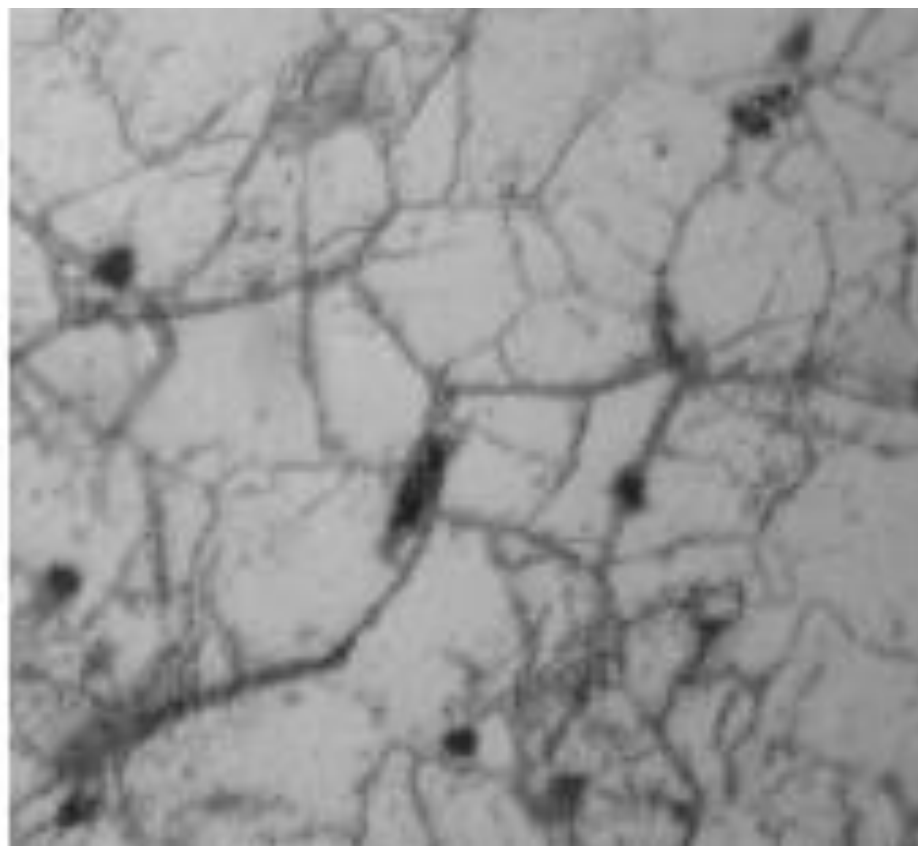


Рисунок 2.10 - Структура сталі гребного гвинта 40X18Г15АФЛ після старіння (х100)

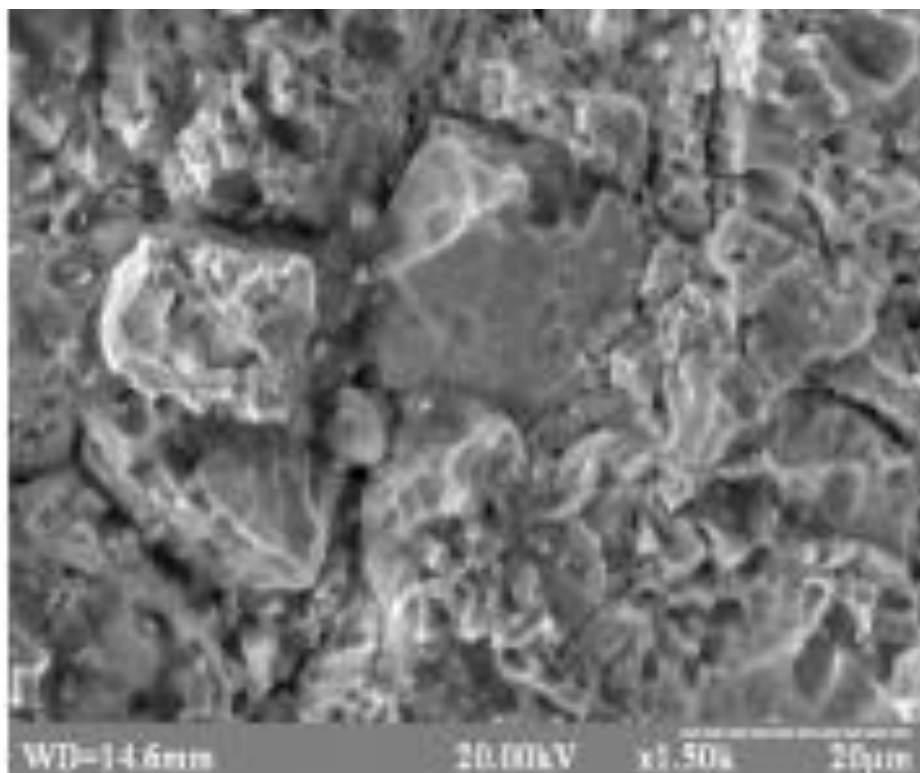


Рисунок 2.11 - Топографія кавітаційного зношування сталі гребного гвинта 40X18Г15АФЛ через 12 год. (x1500)

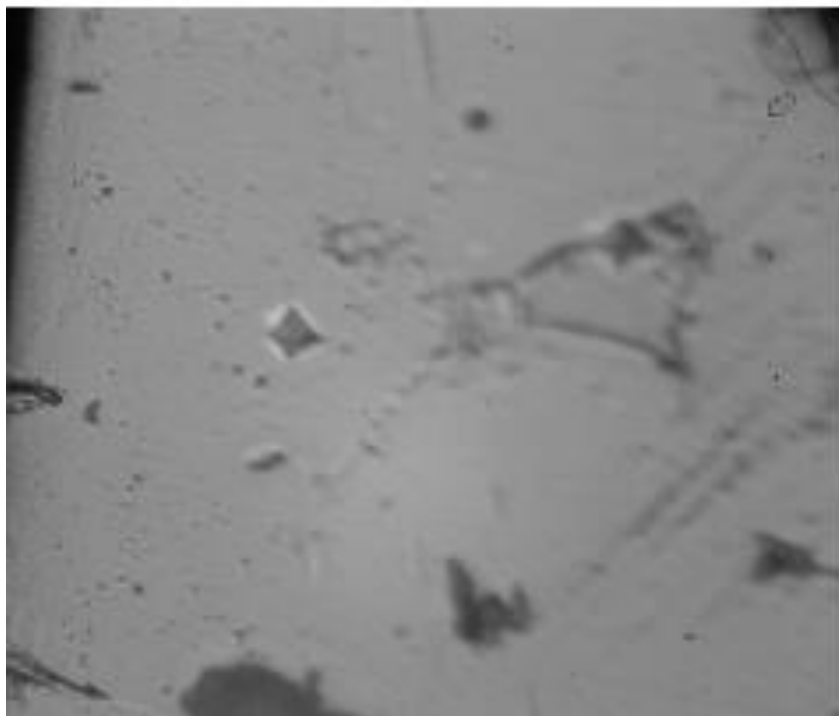


Рисунок 2.12 – Виділення МАРТЕНСИТУ НА ПОВЕРХНІ СТАЛІ ГРЕБНОГО ГВИНТА 40X18Г15АФЛ після роботи в зоні КАВІТАЦІЇ (x 600)

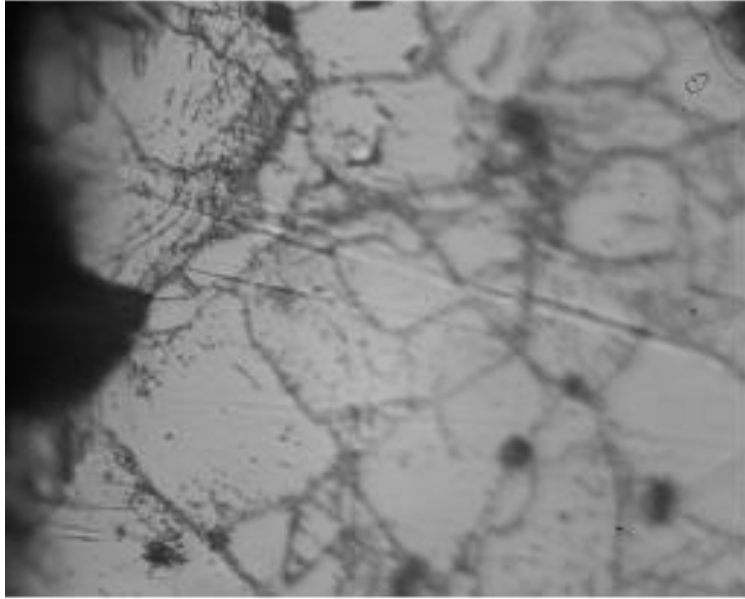


Рисунок 2.13 - Структура сталі гребного гвинта 40Х18Г15АФЛ після кавітаційного зношування (x1000)

Висновки

1. Причиною виникнення кавітаційних режимів роботи гребних гвинтів є виникнення на поверхнях гвинта та біля них зон зі значним падінням тиску. В цих зонах утворюються бульбашки (каверни), які заповнені парами води та розчиненого у воді повітря. При переміщенні каверн в зону високого тиску бульбашки захлопуються з формуванням імпульсу тиску вище тисячі атмосфер (100 МПа).
2. Якщо процес анігіляції каверн відбувається на поверхні матеріалу, то за періодом захопування каверни відбувається період утворення зони дуже низького тиску (вакууму), який створює напруження розтягу у поверхневих шарах деталей. Періодичні повтори періодів стиску від захопування бульбашок та періодів розтягу від впливу вакууму викликають втому поверхні, виникнення мікротріщин та відривання зерен матеріалу.
3. Високий опір кавітаційному руйнуванню чинять матеріали, які не схильні до утворення мікротріщин та добре протидіють абразивному зношуванню і корозії. Структурний стан матеріалу мусить мати дрібне зерно або наноструктуру.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Службове призначення гребного гвинта

Деталь «Гребний гвинт» подібної форми і типу використовується в судах. Гребний гвинт насаджується на гребний вал, який валопроводом приєднується до двигуна. При обертанні гребного гвинта кожна лопать захоплює масу води і відкидає її, створюючи упор. Лопать має вхідну і вихідну крайки та нагнітальну поверхню. При обертанні гребного гвинта на поверхні його лопатей обернених в сторону руху судна створюється розрідження, а з іншої сторони – підвищений тиск води. Різниця тисків створює силу, одна з складових якої рухає судно вперед. Креслення деталі «Гребний гвинт» містить всі необхідні відомості про деталь. Розглянемо всі поверхні гребного гвинта та їхнє призначення.

Поверхня центрального циліндричного отвору ступиці, використовується для посадки гребного гвинта на вал, до неї висувуються досить високі вимоги на точність і шорсткість. Поверхня повинна бути виконана за сьомим квалітетом точності з шорсткістю не більше як $R_a = 1,25$ мкм.

Торці гребного гвинта оброблені за дев'ятим квалітетом з шорсткістю $R_a = 3,2$ мкм.

Шпонковий паз, знаходиться в центральному циліндричному отворі ступиці, який використовується для передачі крутного моменту на гребний гвинт з гребного вала. Він повинен бути оброблений за сьомим квалітетом точності, шорсткість бокових поверхонь паза $R_a = 4,0$ мкм.

Всередині ступиці на центральному циліндричному отворі зроблено вивільнення, оскільки поверхня дуже довга що заважало б посадці гребного гвинта на вал, це дозволяє зменшити довжину посадкової поверхні, а також відіграє роль в зменшенні маси деталі і всього вузла в цілому.

Поверхня лопаті призначена для створення різниці тисків у воді та руху судна, тому вона оброблена з високою точністю – за шостим квалітетом з шорсткістю $R_a = 1,25$ мкм.

Всі інші поверхні не такі відповідальні, як перераховані, виконані за 14 квалітетом точності, з шорсткістю $R_a = 12,5$ мкм і не є складними при їх обробці.

2.2 Матеріал гребного гвинта і його властивості

Гребний гвинт виготовлений із сталі для виливків 40X18Г15АФЛ. Сталь 40X18Г15АФЛ добре протидіє корозії та має всі якості для обробки на металорізальних верстатах без труднощів.

Технологічні властивості

Сталь 40X18Г15АФЛ характеризується високим ступенем обробки різанням, задовільною пластичністю при обробці тиском. Особливості структурних перетворень цієї сталі дозволяють для отримання необхідних властивостей широко застосовувати термічну обробку, що особливо важливо для таких деталей, як гребні гвинти [8].

Хімічні властивості

Таблиця 3.1– Хімічний склад сталі 40X18Г15АФЛ

Хімічний елемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
Кількість, %	0,22-0,3	0,52	0,35-0,9	до 0,3	до 0,045	0,04	0,3	0,3	~97

Механічні властивості

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 40X18Г15АФЛ

Твердість за Брінеллем, НВ	Межа міцності на розтяг, МПа	Межа текучості, МПа	Відносне видовження, δ %	Відносне звуження, ψ %	Ударна в'язкість, Дж/см ²
124-151	420-480	205-255	19	30	40

3.3 Уточнені технічні вимоги на виготовлення гребного гвинта

Допустиме радіальне биття торця гребного гвинта $\varnothing 490H9^{(+0,155)}$ відносно поверхні А – $\varnothing 150H7^{(+0,04)}$ не більше 0,06 мм, і поверхні $\varnothing 600H9^{(+0,175)}$ відносно поверхні А – $\varnothing 150H7^{(+0,046)}$ не більше 0,06 мм. Ці вимоги необхідні для точного встановлення гребного гвинта на валопровід. За технічними вимогами необхідно провести термообробку до НВ 124-151, що не викликає особливих труднощів.

Вимоги і методи їх виконання зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Технологічні вимоги та методи їх перевірки

Зміст технологічних вимог	Методи виконання вимог	Засоби перевірки виконання технологічних вимог
1	2	3
Радіальне биття поверхні $\varnothing 490H9^{(+0,155)}$ відносно поверхні А – $\varnothing 150H7^{(+0,046)}$	$\varnothing 490, 155$	Індикатор годинникового типу, призми
Радіальне биття поверхні $\varnothing 600H9^{(+0,175)}$ відносно поверхні А – $\varnothing 150H7^{(+0,046)}$	$\varnothing 600, 175$	Індикатор годинникового типу, призми

3.4 Якісна характеристика технологічності

Деталь «гребний гвинт» виготовлена із сталі 40Х18Г15АФЛ і проходить термічну обробку. Виготовляють деталь методом лиття у піщано-глинисті форми, що обумовлено складністю геометричної форми. Деталь працює на гребному валу в середовищі морської або річкової води.

Поверхні торець лівий $\varnothing 490H9^{(+0,155)}$, торець правий $\varnothing 600H9^{(+0,175)}$ – це вільні поверхні; посадочне місце – це основна конструкторська база, в яку входить шпонковий паз 80JS7 довжиною 600 мм та конічний центральний отвір в якому правий та лівий діаметри: $\varnothing 250H7^{(+0,046)}$, $\varnothing 150H7^{(+0,04)}$; всмоктувальна та нагнітальна поверхні гвинта – робочі поверхні.

Шорсткість центрального отвору $\varnothing 250H7^{(+0,046)}$ становить Ra 1,25 мкм. Шпонковий паз $40JS9^{(+0,031)}_{(-0,031)}$ обробляють до шорсткості Ra 4,0 мкм. Шорсткість торців становить Ra 3,2 мкм.

Для всіх інших поверхонь не таких відповідальних, як перераховані шорсткість становить Ra 12,5 мкм.

Плюсами є те, що посадочне місце та шпонковий паз деталі «гребний гвинт» мають правильну форму отворів, що позитивно впливає на вихід інструментів.

Нетехнологічними в даній деталі є поверхні лопатей і галтельні ділянки, шліфування яких необхідно проводити вручну, що погано впливає на продуктивність обробки деталі.

Розміри деталі, які вказані на кресленні можуть бути проконтрольовані безпосередньо без ускладнень.

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що в цілому деталь «гребний гвинт» є технологічною, допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має добрі базові поверхні для первісних операцій.

Дана деталь має масу 640 кг. Немає необхідності передбачати в конструкції деталі, що підлягає термічній обробці, конструктивні елементи, які зменшують жолоблення деталі в процесі нагрівання та охолодження, і визначати, чи вірно вибраний матеріал з урахуванням термічної обробки.

3.5 Кількісна характеристика технологічності

Таблиця 3.4 – Таблиця типорозмірів гребного гвинта

РОЗМІРИ							
Лінійні		Діаметральні		Радіуси		Канавки	
уніфік.	неуніфік.	уніфік.	неуніфік.	уніфік.	неуніфік.	уніфік.	неуніфік.
12	2	5	-	9	-	-	-

РОЗМІРИ							
Різьба		Фаски		Кутові		Шорсткість	
уніфік.	неуніфік.	уніфік.	неуніфік.	уніфік.	неуніфік.	уніфік.	неуніфік.
-	-	2	-	-	-	14	-

Таблиця 3.5 – Таблиця квалітетів поверхонь гребного гвинта

Квалітет	Кількість поверхонь даного квалітету
7	4
6	6
9	2
14	9

Оскільки, $k_{yn} \geq 0.6$ деталь належить до технологічних.

Коефіцієнт точності обробки $k_{т.о.} > 0,7-0,8$ – деталь нетехнологічна.

Коефіцієнт шорсткості $k_{ш} < 0,32$ – деталь технологічна.

Розглянувши всі позитивні та негативні фактори, з урахуванням кількісних показників, можна зробити висновок, що деталь досить технологічна.

3.6 Дефектування деталі

Класифікація дефектів дозволяє правильно вибрати технологічні процеси відновлення деталей, особливо типові; обґрунтувати раціональну спеціалізацію підрозділів, зайнятих відновленням; робити укрупнені розрахунки трудових і матеріальних витрат, пов'язаних з відновленням; планувати виробництво [9].

Вузли і деталі дефектують з метою оцінки їхнього технічного стану і визначення можливості їхньої подальшої експлуатації чи необхідності відновлення.

Спостереження за зносом і пошкодженнями деталей машин при експлуатації дозволяє виділити п'ять основних видів руйнування деталей:

- деформація і злом (крихкий, в'язкий, втомлений, остаточна деформація, контактне втомлене пошкодження);
- механічний знос (знос металевих пар, абразивний знос);
- ерозійно-кавітаційне пошкодження (рідинна ерозія, кавітація, газова ерозія);
- корозійне пошкодження (атмосферна корозія, корозія в електролітах, газова корозія);
- корозійно-механічне пошкодження (корозійна втома, корозійне розтріскування, корозія при терті).

3.7 Загальний огляд існуючих процесів відновлення деталей типу гребний

ГВИНТ

Відновлення зношених деталей – складний організаційно-технологічний процес, при якому в якості заготовки використовують зношену деталь. Розроблена велика кількість способів відновлення зношених деталей [7,8] . При виборі раціонального способу відновлення гребного гвинта потрібно спиратись на такі показники як простота обладнання, технологічність, дешевизна матеріалів та забезпечення потрібної мікроструктури поверхні.

Розглянемо ряд переваг та недоліків основних методів нанесення покриття напиленням та наплавленням.

Наплавлення і напилення є найбільш розповсюджені в ремонтному виробництві способи відновлення деталей.

Широке використання наплавлення обумовлено простотою технологічного процесу і використаного обладнання, високою швидкістю наплавлення, низькою собівартістю при великій товщині шару та висока міцність нанесеного покриття.

Технологічний процес відновлення наплавленням та напиленням включає в себе підготовку деталей до процесу нанесення покриття, виконання даного процесу і обробку деталей після процесу.

Відновити гребний гвинт можна за допомогою декількох методів, але щоб вибрати найкращий з них охарактеризуємо ці методи та покажемо їх переваги та недоліки.

Отже, вал можна відновити за допомогою таких способів: наплавлення в середовищі вуглекислого газу, вібродугове наплавлення, плазмове напилення, електродугове напилення.

Наплавлення в середовищі вуглекислого газу.

Суть автоматичного наплавлення у середовищі вуглекислого газу. Цей спосіб у значній мірі відрізняється від інших способів відновлення деталей – не потрібно ні флюсів, ні електродних покриттів. При цьому в зону наплавлення через сопло пальника надходить вуглекислий газ, який захищає рідкий метал від контакту з киснем і азотом повітря. Вуглекислий або інертний газ надійно ізолює зону наплавлення від навколишнього середовища і забезпечує одержання наплавленого металу високої якості з мінімальною кількістю пор і окислів. Електричний дріт безперервно подається у зону наплавлення. Струм до дроту підводиться через наконечник, розміщений у середині мундштука. Під дією високої температури електричної дуги на поверхні деталі утворюється рідка ванна в якій перемішуються метали електроду і деталі.

Переваги методу:

1. В 1,2-1,5 разів економніше та на 20-80% продуктивніше від інших методів наплавлення.
2. Наплавлення доречно використовувати для циліндричних та плоских деталей.
3. Відсутність трудомісткої операції по відділенню шлакової скоринки.
4. Високий ступінь щільності дуги, що сприяє незначному нагріванню деталі і її деформації.
5. Можливість наплавлення шару великої товщини (0,8—1,5 мм).
6. Можливість формування високовуглецевих шарів з структурою цементиту, який гарно працює в умовах кавітації.

Недоліки:

1. Підвищене розбризкування металу;
2. Необхідність застосування легованого дроту для одержання наплавленого металу з необхідними властивостями.
3. Вуглекислий газ належить до активних газів і в процесі наплавлення в зоні дуги виникають реакції розпаду вуглекислого газу на його складові, що викликає деяке окислення металу.

Вібродугове наплавлення.

Суть вібродугового наплавлення. Електродний дріт подається до поверхні деталі, яка знаходиться під напругою, з коливаннями, за рахунок яких відбувається періодичне замикання і розмикання електричної дуги між електродом і поверхнею деталі. Процес наплавлення складається з трьох фаз: короткого замикання, горіння дуги і холостого руху.

Оплавлення поверхні деталі, плавлення електрода і формування зварного шва відбуваються на етапі горіння дуги. Для зменшення імпульсів струму, стабілізації горіння дуги, скорочення холостого руху до зварного ланцюга підключають індуктивний опір. Коливання електрода зменшує тепловий вплив на деталь.

Процес вібродугового наплавлення відбувається в середовищі захисного газу, охолоджувальної рідини, під шаром флюсу і без захисту.

Вібродугове наплавлення забезпечує:

1. Малу зону термічного впливу;
2. Покриття різної товщини з високою твердістю;
3. Покриття з високою зносостійкістю і незначними деформаціями поверхні деталі.

Недоліком способу є неоднорідність структури, нещільність, пористість металу шва, які зменшують міцність і спричиняють втому деталі, що є небажаним для використання в умовах кавітації.

Плазмове напilenня.

Для нанесення покриття плазмовим напилюванням матеріал покриття вводять у струмінь плазми стовпа дуги, де він нагрівається і прискорюється у напрямку до

основи. Плазма – це частково або цілком іонізований газ, що складається з позитивно і негативно заряджених частинок, сумарний заряд якого дорівнює нулю. Носіями зарядів у плазмі є електрони і позитивні іони. Плазмове напилення дозволяє наносити покриття із матеріалів різного хімічного складу; висока продуктивність; повна автоматизація керуванням процесу; плазмові пальники дозволяють у широких межах регулювати енергетичні характеристики плазми, що полегшує отримання покриттів з потрібними технологічними властивостями.

Електродугове напилення (металізація).

При дуговій металізації утворення потоку розпилюваних частинок відбувається за рахунок плавлення розпилюваного матеріалу високоамперною дугою і його диспергування швидкісним потоком газу. Основними перевагами цього методу є: велика продуктивність процесу (від 3 до 14 кг напилюємого металу за годину). Висока температура електричної дуги дозволяє наносити покриття із тугоплавких металів. При використанні в якості електродів дротів із двох різних металів можливо отримати покриття з їх сплаву. До переваг електродугового напилення відноситься також простота обладнання, що використовується, та невеликі експлуатаційні витрати. До недоліків електродугового напилення відносять: велике окислення металу, суттєве вигорання легуючих елементів та знижену щільність покриття. Це робить цей метод небажаним для роботи в умовах кавітаційної ерозії.

Оплавлення поверхні електричною дугою графітового електроду.

Метод дозволяє отримати в поверхневих шарах доплаток високовуглецеві шари типу цементит, що позитивно впливає на підвищення зносостійкості. Проблемою є нерівномірність обробки поверхні дугою, виникнення кратерів та викидів матеріалу на поверхню. Це може збудити додаткову генерацію кавітаційних процесів.

3.8 Вибір та критичний аналіз базового процесу відновлення деталі

Дефектування деталі

Дефект 1 розташований на зовнішній поверхні лопаті гребного гвинта і є поправним. Дефект виникає при зношуванні зовнішньої поверхні лопаті у воді внаслідок дії кавітації. Тобто його можливо і доцільно ремонтувати. Руйнування поверхні лопаті відбувається під дією дуже потужних механічних ударів бульбашок пару і рідини, хімічної дії кисню, який міститься у воді. Кавітаційна корозія металу зазвичай відбувається в місцях, де кавітаційна каверна замикається [17].

Дефект 2 також є поправним і розташований у внутрішніх циліндричних поверхнях ступиці $\varnothing 250H7(+0,046)$, $\varnothing 150H7(+0,04)$. Дефект виникає внаслідок зношування конічного центрального отвору ступиці у зв'язку з спрацюванням спряження гребний вал - посадочне місце, а також з сприйняттям змінних навантажень.

Дефект 3 є поправним і розташований в шпонковому пазі шириною 40JS9, що знаходиться у внутрішніх циліндричних поверхнях ступиці $\varnothing 250H7(+0,046)$, $\varnothing 150H7(+0,04)$. Дефект виникає внаслідок змінних навантажень, які передаються через шпонку, що призводить до збільшення зазору та появи люфтів наслідком цього є збільшення динамічних навантажень на шпонку. Тобто шпонка починає працювати із зазором, що викликає розбивання шпонкового паза. Дефекти 2 і 3 можливо і доцільно ремонтувати.

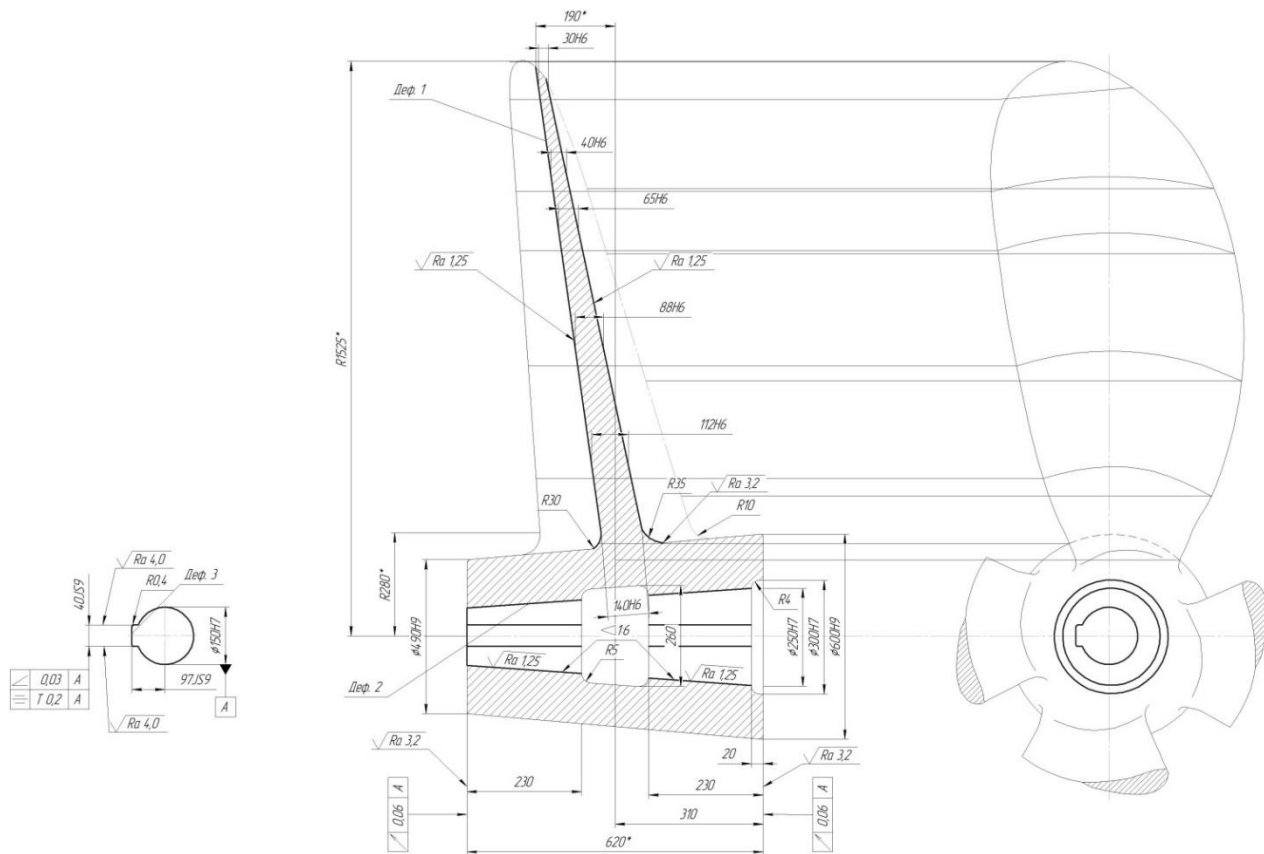


Рисунок 3.1 – Ремонтне креслення гребного гвинта

Найменування деталі або складальної одиниці		Позначення		
Гребний гвинт		08-62.МКР.004.01.001.Р		
Матеріал		Твердість		
Сталь 40Х18Г15АФЛ		124-151 НВ		
Позиція на ескізі	Можливий дефект	Спосіб вивчення дефекту і засоби контролю	Розмір, мм по робочому кресленню без ремонту	Висновок
1	Кавітаційні раковини лопаті	Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89, мікрометр МК 600 ГОСТ 6507-90.	Ø3050Н9 (+0,022) 	Відновлювати
2	Знос посадкового місця	Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89, мікрометр МК 600 ГОСТ 6507-90.	Ø150Н7 (+0,04) 	Відновлювати
3	Знос шпонкового паза по ширині	Штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-89, мікрометр МК 600 ГОСТ 6507-90.	40JS9 (+0,031) (-0,031)	Відновлювати

Таблиця 3.8 – Дефектування деталі

Визначення типу ремонтного виробництва

В результаті обчислення коефіцієнта спеціалізації і величини партії запуску деталей встановлено, що $K_{\text{сп}} = 155$, $\Pi_{\text{ЗАП}} = 10$. Відповідно до отриманих результатів деталь належить до середньосерійного типу виробництва[18].

Розробка технологічної схеми та технології розбирання та складання приводу гребного гвинта судна під час ремонту

Таблиця 3.9 – Маршрутний технологічний процес складання приводу гребного гвинта судна

Номер операції	Назва операції	Зміст операції (за переходами)
005	Встановлення дейдвудної труби (дет. 9)	1. Змастити і встановити підшипник (дет. 18) 2. Встановити дейдвудну трубу (дет. 9) 3. Закріпити дейдвудну трубу гвинтами (дет. 22)
010	Встановлення обтікача (дет. 13)	1. Встановити прокладку (дет. 46) 2. Встановити шайбу (дет. 45) 3. Закрутити гайку (дет. 16) 4. Закріпити гайку (дет. 16) та дейдвудну трубу (дет. 9) гвинтом (дет. 26) 5. Встановити обтікач (дет. 13) 6. Закріпити обтікач (дет. 13) гвинтами (дет. 24)
015	Складання гребного гвинта (ск. 3)	1. Встановити гребний гвинт на пристосування 2. Змастити і встановити кільце резинове (дет. 41) на гребний гвинт (ск. 3) 3. Встановити кільце натискне (дет. 14) 4. Закріпити кільце натискне (дет. 14) болтами (дет. 27) 5. Закрутити гвинти (дет. 21)
020	Встановлення гребного гвинта (ск. 3)	1. Встановити шпонку (дет. 43) на гребний вал (дет. 1) 2. Закріпити шпонку (дет. 43) гвинтами (дет. 25) 3. Встановити гребний гвинт (ск. 3) на гребний вал (дет. 1)
025	Встановлення обтікача (ск. 4)	1. Встановити прокладку (дет. 35) 2. Встановити обтікач (ск. 4) на гребний вал (дет. 1) 3. Закріпити обтікач гвинтами (дет. 21, 23)
030	Контрольна	1. Перевірити обертання гребного гвинта. 2. Перевірити симетричність, допуск нахилу та допуски радіального биття поверхонь А

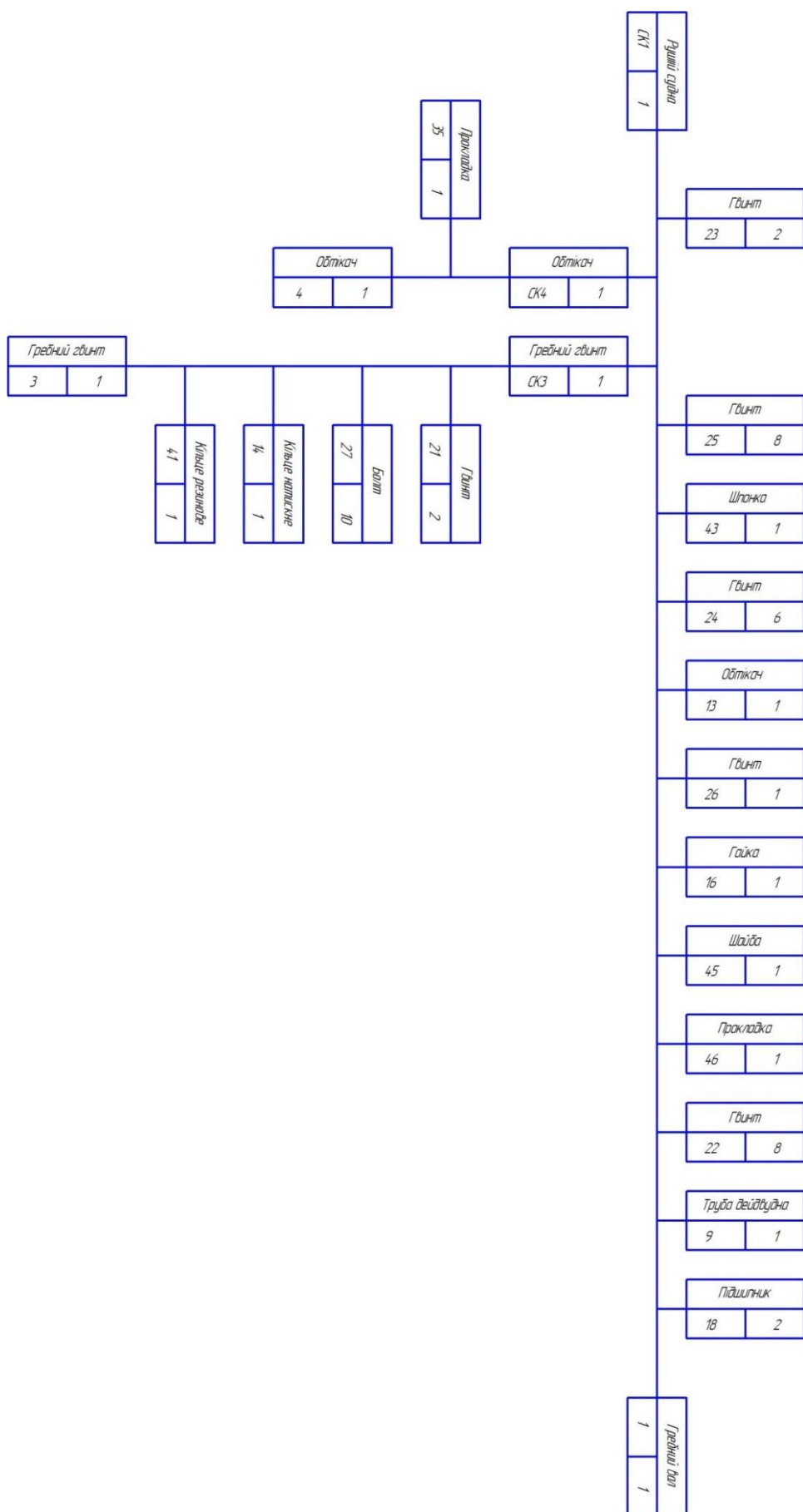


Рисунок 3.2 – Схема складання-розбирання приводу гребного гвинта судна

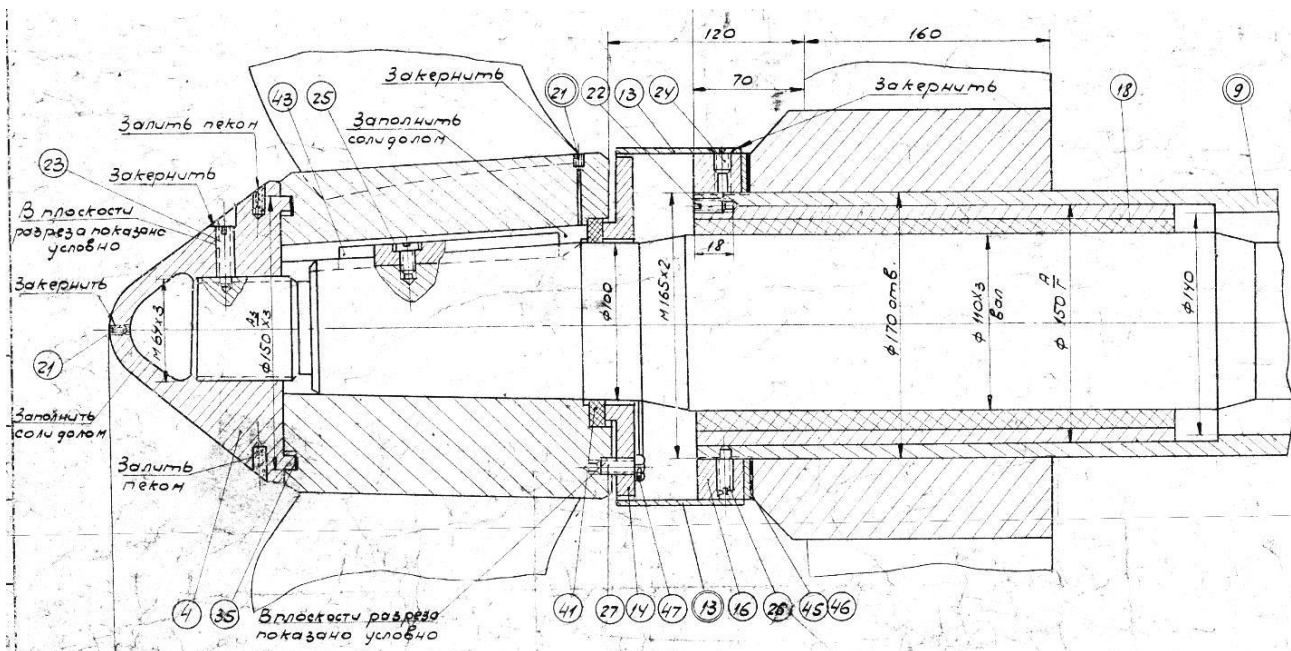


Рисунок 3.3 – Складальне креслення встановлення гребного гвинта

Розрахунок припусків на механічну обробку

Таблиця 3.10 – Припуски та граничні розміри. Розрахунковий мінімальний припуск на механічну обробку для посадкового місця гребного гвинта [18, 19, 20]

Маршрут обробки поверхні 150H7 (+0,04) ($\square$)	Елементи припуску, мкм				Z_{min} , мкм	Розра- хунко- вий розмір, мм	Допуск на розмір, мкм	Граничні розміри, мм		Граничні припуски, мм	
	Rz	H	$\Delta \Sigma \square$	ε				min	max	Z_{min}	Z_{max}
Заготовка	800		1575	0		151,87	800	151,9	152,7		
Точіння чорнове	20	20	94,5	0	1789	150,08	160	150,08	150,24	1,8	2,43
Точіння чистове	10	20	0,378	0	80,75	150	40	150	150,04	0,08	0,2

Таблиця 3.11 – Припуски та граничні розміри. Розрахунковий мінімальний припуск на механічну обробку для лопаті гребного гвинта

Маршрут обробки поверхні 88Н6 ^(+0,022) □	Елементи припуску, мкм			Z_{min} , мкм		Розра- хунко- вий розмір, мм	Допуск на розмір, мкм	Граничні розміри, мм		Граничні припуски, мм	
	Rz	H	$\Delta \Sigma$ □	ε				min	max	Z_{min}	Z_{max}
Заготовка	800		762,5	0		91,356	800	91,3	92,2		
Шліфування обдирне	20	20	45,75	0	3125	88,23	130	88,24	88,4	3,2	3,8
Шліфування чорнове	10	20	0,183	0	171	88,06	43	88,1	88,1	0,171	0,26
Шліфування чистове	5	5	0,0007	0	60	88	22	88,00	88,022	0,06	0,081

Вибір та обґрунтування методу відновлення деталі, обладнання і джерел живлення

На основі розглянутої літератури в якості методу відновлення посадкового місця гребного гвинта було обрано електродугове наплавлення дротом Св-08Г2С в середовищі Ar[21].

В якості обладнання для наплавлення обираємо установку У-50х7000.

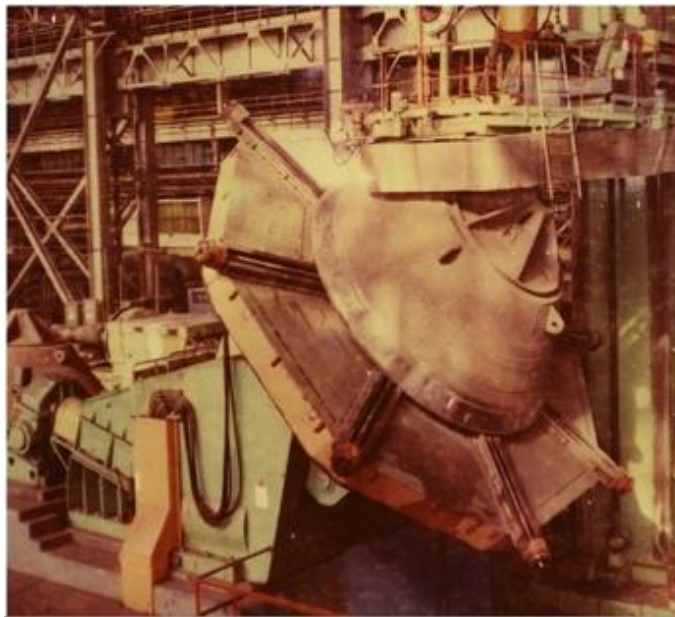


Рисунок 3.4 – Установка для автоматичної наплавки У-50х7000

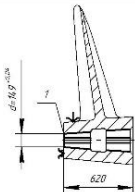
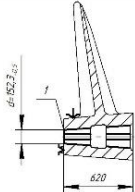
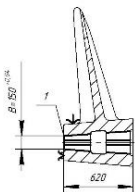
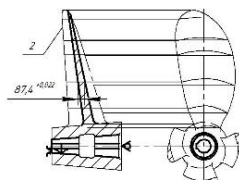
Для відновлення лопаті гребного гвинта методом електродугового наплавлення обираємо зварювальний апарат інверторного типу ММА-210А «ТЕМП» та дріт Св-08Г2С [22, 23].

Для живлення зварювального апарату обрано універсальний зварювальний випрямляч ВДУ-505 з спадною та жорсткою вольт-амперними характеристиками.

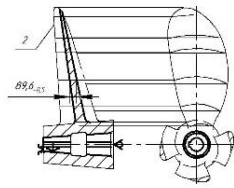
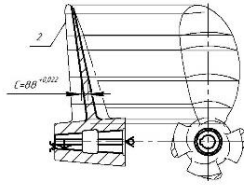
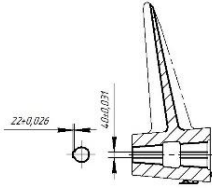
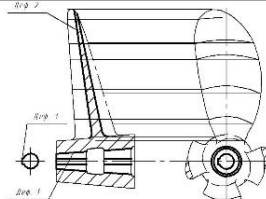
Після наплавлення проводиться термообробка пальником лінійним багатофакельним “ДОНМЕТ” 212. Для зняття внутрішніх напружень та попередження руйнування наплавленого шару проводиться високий відпуск при температурі 630°C з витримкою 3 години [24].

Маршрут відновлення деталі

Таблиця 3.12 – Маршрут відновлення гребного гвинта

№	Найменування операції та технічних переходів	Схема відновлення	Обладнання
005	Мийно-очисні 1. Встановити та зняти деталь. 2. Мити деталь розчином МС-8		Струменева-кавіверна мийна машина Гейзер АПБ
010	Перфектувальна 1. Дефектувати деталь.		Контрольний стил
015	Розточувальна (поперечно) 1. Встановити та зняти деталь. 2. Розточити поверхню 1 до розміру $d=14,9^{+0,04}_{-0,04}$ мм.		Вертикальний токарний верстат СКАА64.5131
020	Наплавляльна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Наплавити поверхню 1 до розміру $d=152,3^{+0,15}_{-0,15}$ мм.		Установка для автоматичної наплавки 4-50х7000
025	Розточувальна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Розточити поверхню 1 наочно до розміру $B=150,08^{+0,15}_{-0,15}$ мм. 3. Розточити поверхню 1 наочно до розміру $B=150,11^{+0,04}_{-0,04}$ мм.		Вертикальний токарний верстат СКАА64.5131
030	Шліфувальна (поперечно) 1. Встановити та зняти деталь. 2. Шліфувати поверхню 2 поперечно до розміру $d_{74}=87,4^{+0,027}_{-0,027}$ мм.		Шліфувальна машина Лінгва-М МЛК-2300П

Продовження таблиці 3.12

035	Наплавляльна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Наплавити поверхню 2 до розміру $89,6_{-0,1}^{+0,1}$ мм.		1. Універсальний зварювальний випрямляч ВДУ-505. 2. Зварювальний апарат інвертного типу ММА-210А «ГЕЛІО».
040	Шліфувальна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Шліфувати поверхню 2 до розміру $(=89,30_{-0,03}^{+0,03})$ мм (одіруне). 3. Шліфувати поверхню 2 начисто до розміру $(=89,3_{-0,03}^{+0,03})$ мм. 4. Шліфувати поверхню 2 начисто до розміру $(=88,86_{-0,03}^{+0,03})$ мм.		Шліфувальна машина Дніпро-М МШК-2300П.
045	Протягувальна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Протягнути поверхню 3 до розміру $40,159_{-0,001}^{+0,001}$ мм по довжині і $22,159_{-0,001}^{+0,001}$ мм по глибині.		Спеціальний протягувальний верстат.
050	Термічна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Провести високий відпуск при температурі 630°C з витримкою 3 години.		Пильник лінійний багатопроменний "ДОНЧЕТ" 212.
055	Контрольна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Контролювати розмір поверхні 1 до розміру $\phi=150\text{H7}$ мм. 3. Контролювати розмір поверхні 2 до розміру 88H6 мм. 4. Контролювати розміри поверхні 3 до розміру $40,159$ та $22,159$ мм.		Контрольний стіл.

Розрахунок режимів наплавлення лопатей і посадкового місця гребного гвинта

Розрахунок режимів наплавлення посадкового місця гребного гвинта проведено за формулами з посібника по газотермічній обробці металів [25].

Таблиця 3.13 – Режими наплавлення посадкового місця гребного гвинта

Параметр	Сила струму, I , [А]	Напруга, U , [В]	Коеф. наплавлення, α_n , $\left[\frac{\text{г}}{\text{А}\times\text{год}}\right]$	Коеф. розплавлення, α_p , $\left[\frac{\text{г}}{\text{А}\times\text{год}}\right]$	Швидкість подачі ел. дроту, V_e , $\left[\frac{\text{м}}{\text{год}}\right]$	Крок наплавлення, S_n , [мм]	Вильот ел. дроту, H , [мм]	Зміщення ел. від зеніту, a , [мм]	Частота обертання деталі, n , $[\text{хв}^{-1}]$	К-сть проходів
Значення	212	29,5	6,9	7,5	64,75	5	20	15	0,4	2

Таблиця 3.14 – Режими наплавлення лопатей гребного гвинта

Параметр	Сила струму, I, [A]	Напруга, U, [В]	Швидкість напавл., V, [м/год]	Маса напавл. металу, G, [г]	Коеф. наплавлення, α_n , [г/А × год]	Площа поперечного перерізу одного напавл. шару, $F_{шв}$, [см ²]	Діаметр ел. дроту, d_e , [мм]
Значення	150	30	9,6	160509	10	0,22	3

Розрахунок режимів механічної обробки



Рисунок 3.4 – Вертикальний токарний верстат СК.АА64.5131

3.13.1 Розрахунок режимів розточування

Для обробки посадкового місця гребного гвинта обираємо вертикальний токарний верстат СК.АА64.5131 з характеристиками [26]:

- потужність електродвигуна привода головного руху, кВт – 45;
- габаритні розміри:
 - довжина, мм – 3450;
 - ширина, мм – 3940;
 - висота, мм – 4200.
- маса, т – 30.

Обираємо різець розточний 2140-0085 ВК8 ГОСТ 18882-73 $h \times b = 40 \times 32$ мм, $L = 300$ мм.

Для закріплення різця обираємо оправку розточну $D = 100$ мм, $L = 373$ мм, з хвостовиком 7:24 К50 по MAS403[27].

Таблиця 3.15 – Режими розточування

Значення / операції	Операція 015 (попереднє розточування) Поверхня 1	Операція 025 (чорнове розточування) Поверхня 1	Операція 025 (чистове розточування) Поверхня 1
Сплав різця	ВК8	ВК8	ВК8
Радіус при вершині різця, r , [мм]	0,5	0,5	0,5
Глибина різання, t , [мм]	0,5	1,11	0,04
Подача, s , [мм/об]	0,3	0,3	0,03
Швидкість різання, v , [м/хв]	100	100	150
Частота обертання, n_d , [об/хв]	200	200	300
Крутний момент, $M_{кр}$, [Н×м]	124,4	124,4	43,2
Сила, P_0 , [Н]	1635	1635	432
Потужність, N , [кВт]	2,725	2,725	0,72

3.13.2 Розрахунок режимів шліфування

Для попереднього, обдирного, чорнового і чистового шліфування обираємо шліфувальну машину Дніпро-М МШК-2300П з технічними характеристиками:

- потужність, кВт – 2,3; вага, кг – 6,1;
- максимальна робоча швидкість, м/с – 80;
- максимальний діаметр диска, мм – 230.

Обираємо круг для попереднього шліфування: ЧК 230х32х32 14А80СТ1БЗ ДСТУ ISO 603-7:2019.

Обираємо круг для обдирного шліфування: ЧК 230х32х32 64С100СТ1БЗ ДСТУ ISO 603-8:2019.

Обираємо круг для чорнового шліфування: ЧК 230х32х32 64С80СТ1БЗ ДСТУ ISO 603-8:2019.

Обираємо круг для чистового шліфування: ЧК 230х32х32 64С40СМ1БЗ ДСТУ ISO 603-7:2019.

Швидкість шліфувального круга: 50 м/с.

Таблиця 3.16 – Режими шліфування

Значення / операції	Операція 030 (попереднє шліфування) Поверхня 2	Операція 040 (обдирне шліфування) Поверхня 2	Операція 040 (чорнове шліфування) Поверхня 2	Операція 040 (чистове шліфування) Поверхня 2
Абразивне зерно	Електрокорунд нормальний	Карборунд зелений	Карборунд зелений	Карборунд зелений
Глибина шліфування, t , [мм]	0,15	0,15	0,15	0,15
Поперечна подача круга, V_z , [м/хв]	0,6	0,5	0,4	0,3
Припуск на механічну обробку, h , [мм]	0,3	3,46	0,214	0,07
Потужність, N , [кВт]	1,7	1,7	1,7	1,7

.14 Нормування операцій

Таблиця 3.17 – Нормування операцій[28, 29, 30, 31]

№ операції	T_0 , хв.	$T_{доп}$, хв.	$T_{опер}$, хв	$T_{дод}$, хв	$T_{п-з}$, хв	$T_{ш}$, хв	К- сть	$T_{шт-к}$, хв
005 – Мийна	3,6	0,7	4,3	0,387	12	4,687	10	5,89
010 – Дефектувальна	2	0,8	2,8	0,252	13	3,052		4,35
015 – Розточувальна (попереднє)	10,35	4,31	14,66	1,5	16	16,16		17,76
020 – Наплавлювальна (150Н7)	312,5	24,1	336,6	22,2	15	358,8		360,3
025 – Розточувальна (150Н7 чорнове)	10,4	4,31	14,71	4	16	18,71		20,31
Розточувальна (150Н7 чистове)	41,5	4,31	45,81	4,7	16	50,51		52,11
030 – Шліфувальна (88Н6 попереднє)	40,96	0,31	41,27	3,71	6	44,98		45,58
035 – Наплавлювальна лопаток	642,0	24,1	666,1	22,2	15	688,3		689,8
040 – Шліфувальна (88Н6 обдирне)	40,96	0,31	41,27	3,71	6	44,98		45,58
Шліфувальна (88Н6 чорнове)	43,76	0,31	44,07	3,96	6	48,03		48,63
Шліфувальна (88Н6 чистове)	22,24	0,66	22,9	2,061	6	24,961		25,56
045 – Протягувальна (40JS9)	0,78	32	32,78	2,3	5	35,08		35,58
050 – Термічна	180	24,1	204,1	18,3	12	222,7		223,9
055 – Контрольна	3,2	1,4	4,6	0,414	2	5,014		5,22

3.15 Визначення типу виробництва та форми організації роботи

Тип виробництва – це техніко-економічна характеристика виробництва, яка обумовлена спеціалізацією виробничих процесів, стабільністю номенклатури, ритмічністю і величиною обсягу виробництва. Загалом виділяють три основні типи виробництва: одиничний, серійний (з модифікаціями дрібносерійний та крупносерійний) та масовий.

Таблиця 3.18 – Характеристика типу виробництва [12]

Маса деталей в кг	Кількість деталей, які підлягають обробці у виробництві, шт				
	Одиничне	Малосерійне	Середньо-серійне	Великосерійне	Масове
50 і більше	До 5	5...100	100-300	300-1000	5000 і більше

Кількість деталей для відновлення 150 шт, вага однієї дорівнює 750 кг.

За таблицею 3.18 виробництво середньосерійне.

Визначимо партію запуску деталей на ремонт для середньосерійного виробництва.

Перелік операцій по відновленню поверхонь деталі

Кількість деталей в партії для одночасного запуску допускається визначати спрощеним способом за формулою [2]:

$$n = N \cdot a / 254 = 150 \cdot 12 / 254 = 7. \quad (3.1)$$

Для робочих місць середньосерійного виробництва характерне більше обмеження кількості виконуваних операцій, оскільки партії виробів стабільно повторюються. Устаткування має високий рівень спеціалізації.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою здійснення комерційного та технологічного аудиту є підвищення ефективності та якості технологічного процесу відновлення зношених поверхонь гребного гвинта за рахунок впровадження сучасних методів відновлення із врахуванням умов експлуатації та причин появи несправностей.

Для проведення технологічного аудиту було залучено 3-х незалежних експертів Вінницького національного технічного університету кафедри галузевого машинобудування: к.т.н., доцент Шенфельд В. Й., к.т.н., доцент Шиліна О. П. та к.т.н., доцент Бакалець Д. В.

Для проведення технологічного аудиту було використано таблицю 4.1 [33] в якій за п'ятибальною шкалою, використовуючи 12 критеріїв, здійснено оцінку комерційного потенціалу.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження табл. 4.1

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовую

		промисловом у комплексі			ться у виробництві
1 1	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5- ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5- ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
1 2	Необхідна розробка регламентни х документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробницт ва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки пові- домлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь- які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Таблиця 4.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

В таблиці 4.3 наведено результати оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.

Таблиця 4.4 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Шенфельд В. Й.	Шиліна О. П.	Бакалець Д. В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	5	5	5
2	2	3	2
3	4	5	5
4	3	4	5
5	4	5	4
6	4	4	5
7	2	3	3
8	4	4	3
9	3	3	4
10	2	2	3
11	3	3	3
12	3	3	3
Сума балів	СБ1=39	СБ2=44	СБ3=45
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{39 + 44 + 45}{3} = 43$		

Середньоарифметична оцінка, отримана на основі експертних висновків, становить 43 балів, і згідно з таблицею 4.3, це вказує на високий рівень комерційного потенціалу результатів проведених досліджень.

Результатом магістерської роботи є підвищення якості відновлення робочих поверхонь гребного гвинта за рахунок вибору нового методу відновлення, матеріалів для відновлення.

Результати досліджень магістерської роботи можуть бути реалізовані на підприємствах та установах, які займаються ремонтом та відновленням зношених деталей рушіїв суден та робочих коліс гідротурбін.

Проведемо оцінку якості і конкурентоспроможності нової розробки порівняно з аналогом.

В якості аналога для розробки було обрано базовий технологічний процес відновлення колеса турбіни. Основними недоліками аналога є те що при застосуванні для відновлення коліс турбін плазмового напилювання на робочих поверхнях залишається пористість, яка стає місцями зародження процесів кавітації, що значно

скорочує довговічність гребних гвинтів суден. У розробці дана проблема вирішується шляхом заміни метода відновлення зношених поверхонь.

Зробити аналіз існуючих методів вирішення задачі, що розглядається. Модернізований технологічний процес відновлення даної деталі відрізняється від базового методом відновлення зношених поверхонь. Приймаємо для відновлення лопаток гребних гвинтів метод наплавлення в середовищі CO₂, що надасть змогу наносити покриття високої твердості та щільності при високій продуктивності нанесення покриття.

В таблиці 4.5 наведені основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки.

Проведемо оцінку якості продукції, яка є найефективнішим засобом забезпечення вимог споживачів та порівняємо її з аналогом.

Таблиця 4.5 – Основні параметри нової розробки та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Продуктивність методу кг/год	2	4	2	0,4
Міцність зчеплення, МПа	50	400	5	0,6

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру за формулами (4.1) та (4.2) і занесемо їх у відповідну колонку табл. 4.6.

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}} \quad (4.1)$$

або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}} \quad (4.2)$$

де P_{Hi} , P_{Bi} – числові значення i -го параметру відповідно нового і базового виробів.

$$q_1 = \frac{4}{2} = 2;$$

$$q_2 = \frac{400}{50} = 5.$$

Відносний рівень якості нової розробки визначаємо за формулою:

$$K_{\text{я.в.}} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.3)$$

$$K_{\text{я.в.}} = 2 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,6 = 3,8$$

Відносний коефіцієнт показника якості нової розробки більший одиниці, отже нова розробка якісніший базового товару-конкурента.

Наступним кроком є визначення конкурентоспроможності товару. Конкурентоспроможність товару є головною умовою конкурентоспроможності підприємства на ринку і важливою основою прибутковості його діяльності.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками найчастіше вважають нормативні та технічні параметри, а також ціну придбання та вартість споживання товару.

В табл. 4.6 наведено технічні та економічні показники для розрахунку конкурентоспроможності нової розробки відносно товару-аналога, технічні дані взяті з попередніх розрахунків.

Таблиця 4.6 – Нормативні, технічні та економічні параметри нової розробки і товару-виробника

Показники	Варіанти	
	Базовий (товар- конкурент)	Новий (інноваційне рішення)
1	2	3
1. Нормативно-технічні показники		
Продуктивність методу, кг/год	2	4
Міцність зчеплення, МПа	50	400
2. Економічні показники		
Ціна придбання, грн.	66000	60000

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення (К) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{m.n.}}{I_{e.n.}}, \quad (4.4)$$

де $I_{m.n.}$ – індекс технічних параметрів; $I_{e.n.}$ – індекс економічних параметрів.

Індекс технічних параметрів є відносним рівнем якості інноваційного рішення. Індекс економічних параметрів визначається за формулою (4.5)

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (4.5)$$

де P_{Hei} , P_{Bei} – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

$$I_{e.n.} = \frac{60000}{66000} = 0,9;$$

$$K = \frac{3,8}{0,9} = 4,22.$$

Зважаючи на розрахунки, можна зробити висновок, що нова розробка буде конкурентоспроможніше, ніж конкурентний товар.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи групуються за такими статтями: витрати на оплату праці, витрати на соціальні заходи, матеріали, паливо та енергія для науково-виробничих цілей, витрати на службові відрядження, програмне забезпечення для наукових робіт, інші витрати, накладні витрати.

1. Основна заробітна плата кожного із дослідників Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери визначається за формулою:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} * t \text{ (грн)} \quad (4.6)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p \approx 21...23$ дні;

t – число робочих днів роботи дослідника.

Для розробки необхідно залучити інженера з посадовим окладом 10000 грн. Кількість робочих днів у місяці складає 21, а кількість робочих днів інженера складає 20. Зведемо сумарні розрахунки до таблиця 4.7.

Таблиця 4.7 – Заробітна плата дослідника в науковій установі бюджетної сфери

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату грн.
Керівник	15000	714,3	10	7143
Інженер	10000	476,2	20	9524
Всього				16667

2. Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт розраховують за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.7)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника на виконання певної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_C}{T_p \cdot t_{3M}}, \quad (4.8)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи або мінімальної місячної заробітної плати (залежно від діючого законодавства), грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середня кількість робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21 \dots 23$ дні;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Таблиця 4.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
1. Мийна	5,887	1	47,6	280,3
2. Дефектувальна	4,35	4	71,4	310,7
3. Розточувальна (попереднє)	17,76	3	64,3	1141,7
4. Наплавлювальна (150Н7)	360,3	4	71,4	25735,7
5. Розточувальна (150Н7 чорнове)	20,31	3	64,3	1305,6
6. Розточувальна (150Н7 чистове)	52,11	4	71,4	3722,1
7. Шліфувальна (88Н6 попереднє)	45,58	3	64,3	2930,1
8. Наплавлювальна (88Н6)	689,8	4	71,4	49271,4
9. Шліфувальна (88Н6 обдирне)	618,83	3	64,3	39781,9
10. Шліфувальна 10.1. Шліфувальна (88Н6 чорнове)	45,58	4	71,4	3255,7
10.2. Шліфувальна (88Н6 чистове)	48,63	4	71,4	3473,6
11. Протягувальна	35,58	2	52,4	1863,7
12. Термічна	223,9	3	64,3	14393,6
13. Контрольна	5,22	3	64,3	335,6
Всього				147801,9

3. Розрахунок додаткової заробітної плати робітників

Додаткова заробітна плата $З_d$ всіх розробників та робітників, які приймали устають в розробці нового технічного рішення розраховується як 10 - 12 % від основної заробітної плати робітників.

На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 11% від основної заробітної плати.

$$З_d = (З_o + З_p) * \frac{Н_{дод}}{100\%} \quad (4.9)$$

$$З_d = 0,11 * (16667 + 147801,9) = 18091,54 \text{ (грн)}$$

4. Нарахування на заробітну плату $Н_{зп}$ дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (4.10):

$$Н_{зп} = (З_o + З_p + З_d) * \frac{\beta}{100} \text{ (грн)} \quad (4.10)$$

де $З_o$ – основна заробітна плата розробників, грн.;

$З_d$ – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

$З_p$ – основну заробітну плату робітників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % .

Дана діяльність відноситься до бюджетної сфери, тому ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування буде складати 22%, тоді:

$$Н_{зп} = (16667 + 147801,9 + 18091,54) * \frac{22}{100} = 40163,23 \text{ (грн)}$$

5. Сировина та матеріали.

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби й предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за прямим призначенням згідно з нормами їх витрачання, а також витрачені

придбані напівфабрикати, що підлягають монтажу або виготовленню й додатковій обробці в цій організації, чи дослідні зразки, що виготовляються виробниками за документацією наукової організації.

Витрати на матеріали (М) у вартісному вираженні розраховуються окремо для кожного виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{i=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{i=1}^n B_j \cdot C_{Bj}, \quad (4.11)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{Bj} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

Проведені розрахунки зведені в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Електродний дріт Нп-Св08Г2С	100	3	300
Порошок ПГ-10Н-01	170	2	340
Вуглекислий газ	9	10	90
Газ Аргон	25	18	450
Всього			1180
З врахуванням коефіцієнта транспортування			1298

6. Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість спецустаткування розраховують за формулою:

$$B_{\text{снец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{np.i} \cdot K_i, \quad (4.12)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{np.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

Отримані результати необхідно звести до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Напилювальна установка з ЧПК	1	25000	25000
Обертач	1	18000	18000
Всього			47300,00

7. Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт в роботі не використовується.

8. Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{C_{\delta}}{T_{\epsilon}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.13)$$

де C_{δ} – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер	24000	2	1	1000,00
Наплавлювальна головка	12700	4	1	264,58
Всього				1264,58

9. До статті «Паливо та енергія для науково-виробничих цілей» відносяться витрати на всі види палива й енергії, що безпосередньо використовуються з технологічною метою на проведення досліджень.

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yt} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{впi}}{\eta_i} \quad (4.14)$$

де W_{yt} – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн;

$K_{впi}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{впi} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

Для написання магістерської роботи використовується персональний комп'ютер для якого розрахуємо витрати на електроенергію.

$$B_e = \frac{0,25 \cdot 270 \cdot 10,5 \cdot 2}{0,8} = 3543,75$$

10. Службові відрядження.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{св} = (3_o + 3_p) * \frac{H_{св}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де $H_{\text{св}}$ – норма нарахування за статтею «Службові відрядження».

$$B_{\text{св}} = 0,2 * (16667 + 147801,9) = 32893,71$$

11. Накладні (загальновиробничі) витрати $B_{\text{нзв}}$ охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо. Накладні (загальновиробничі) витрати $B_{\text{нзв}}$ можна прийняти як (100...150)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану МКНР, тобто:

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$B_{\text{нзв}} = (16667 + 147801,9) \cdot \frac{100}{100\%} = 1664468,57 \text{ грн}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати, які безпосередньо стосуються даного розділу МКНР

$$B = 16667 + 147801,9 + 18091,54 + 40163,23 + 1298 + 47300 + 1264,58 + 3543,75 + 32893,71 + 1664468,57 = 520791,96$$

Прогнозування загальних втрат $ЗВ$ на виконання та впровадження результатів виконаної МКНР здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B}{\eta}, \quad (4.17)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує стадію виконання даної НДР.

Оскільки, робота знаходиться на стадії науково-дослідних робіт, то коефіцієнт $\beta = 0,5$.

Звідси:

$$ЗВ = \frac{520791,96}{0,5} = 1041583,92 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$, для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (4.18)$$

де $\Delta\Pi_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки:

Π_o – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки:

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. $\rho = 0,25$;

ν – ставка податку на прибуток. У 2024 році – 18%.

Припустимо, що при впровадженні результатів наукової розробки підвищиться ефективність процесів холодної листового штампування шляхом збільшення точності оцінки граничного деформування матеріалу ізотропної заготовки. Припустимо, що ціна зросте на 12000 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року на 90 шт., протягом другого року – на 80 шт., протягом третього року на 75 шт. Реалізація продукції до впровадження розробки складала 1 шт., а її ціна до 60000 грн. Розрахуємо прибуток, яке отримає підприємство протягом трьох років.

$$\Delta\Pi_1 = [12000 \cdot 1 + (60000 + 12000) \cdot 90] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 1109005,6 \text{ грн.}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= [12000 \cdot 1 + (60000 + 12000) \cdot (90 + 80)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 2102916,4 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= [12000 \cdot 1 + (60000 + 12000) \cdot (90 + 80 + 75)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 3025379,5 \text{ грн.} \end{aligned}$$

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розрахуємо основні показники, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахуємо величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки.

$$PV = k_{\text{інв}} \cdot 3B, \quad (4.20)$$

$k_{\text{інв}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо ($k_{\text{інв}} = 2 \dots 5$).

$$PV = 2 \cdot 1041583,92 = 2083167,83$$

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій $E_{\text{абс}}$ згідно наступної формули:

$$E_{\text{абс}} = (ПП - PV) \quad (4.21)$$

де $ПП$ – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (4.22)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДЦКР, грн.;

T – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;

t – період часу (в роках).

$$ПП = \frac{1109005,6}{(1+0,2)^1} + \frac{2102916,4}{(1+0,2)^2} + \frac{3025379,5}{(1+0,2)^3} = 4143471,49 \text{ грн.}$$

$$E_{abc} = (4143471,49 - 2083167,83) = 2060303,67 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_e . Для цього користуються формулою:

$$E_e = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.23)$$

$T_{жс}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[3]{1 + \frac{2060303,67}{2083167,83}} - 1 = 0,44 = 44\%$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.24)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,14 \dots 0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05 \dots 0,1)$.

$$\tau_{\min} = 0,18 + 0,05 = 0,23.$$

Так як $E_g > \tau_{\min}$ то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g} \quad (4.25)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{0,44} = 2,3 \text{ роки}$$

Так як $T_{ок} \leq 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

4.5 Висновки до економічного розділу

Результати здійсненого технологічного аудиту вказують на високому рівні комерційного потенціалу. У порівнянні з аналогічним виробом виявлено, що нова розробка вищої якості і більш конкурентоспроможна, як з технічних, так і економічних позначень.

Вкладені інвестиції в структуроутворення поверхневих шарів гребного гвинта під час відновлення та його протикорозійний захист окупляться через 2,3 роки з економічним ефектом біля 2060300 грн.

ВИСНОВКИ ЗАГАЛЬНІ

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи підвищено ресурс гребних гвинтів шляхом відновлення робочих поверхонь електродуговим наплавленням в середовищі Ar.

Огляд літературних джерел і аналіз фізичних механізмів кавітаційної ерозії показав, що головною причиною руйнування гребних гвинтів є не схлопування каверн, утворених внаслідок закипання рідини при низьких тисках, а аномальні механічні напруження в потоці, які виникають при високих швидкостях деформації. Ефект кавітаційної ерозії досі не знаходить належного пояснення, а гіпотези потребують більш глибоких експериментальних досліджень.

Розроблено маршрут відновлення гребного гвинта судна, який дозволяє значно збільшити ресурс роботи деталі.

Аналіз структури наплавлених зразків дає можливість зробити такі висновки:

1. Перехідна зона всіх зразків має великий градієнт структур, що призводить до виникнення напружень і зниження кавітаційної стійкості сталі. Доцільно виконувати відпал для покращення мікроструктури і зменшення внутрішніх напружень за рахунок рекристалізації.

2. Під час наплавлення одного із зразків утворилися раковина і тріщина, як внаслідок неповного розплавлення легувальних порошків. Для запобігання утворенню цих дефектів необхідно здійснювати необхідне легування через застосування порошкового дроту.

Проведено розрахунок економічної ефективності інноваційного рішення, який показує, що відновлення гребного гвинта є економічно доцільним і окупляться через 2,3 роки з економічним ефектом біля 2060300 грн.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково -дослідної роботи за темою "_Структурутворення поверхневих шарів гребного гвинта під час відновлення".

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Savulyak V.I. Melted steel reaction with carbon fibers / V.I. Savulyak O.V. Postupailo // The Eighth International Congress in Materials Science and Engineering – ISSIM - Iasi – Romania 2013. – p. 65-70.
2. Кіндрачук М. В., Закономірності кавітаційного зношування сформованих концентрованими джерелами енергії евтектичних покриттів/ Кіндрачук М. Я., Чернега С. , Постернак В., Корнієнко А., Гловин А. // Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2005. Том 10. № 1. С.42-47.
3. Тарасенко Т. В. Дослідження кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів. Тарасенко Т. В., Бадах В. М., Сивашенко Т. І. Problems of friction and wear, 2023, 3 (100). С.73-83.
4. Тарасенко Т. В. Дослідження локалізації і інтенсивності кавітаційної ерозії при високонапірному дроселюванні рідини в гідравлічних пристроях/ Тарасенко Т. В., Бадах В.М. Problems of friction and wear, No. 2(83) (2019). С.
5. Чернега С.М. Кавітаційна стійкість метастабільної аустенітної сталі 40Х18Г15АФЛ легованої азотом/ С.М. Чернега, І.Ф. Кірчу, А.П. Величко// Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Машинобудування. 2019. С.152-154.
6. Ravi Balasubramanian, Eugene Sabini, Simon Bradshaw /Proceedings of the Twenty-Seventh International Pump Users Symposium «Influence of impeller leading edge profiles on cavitation and suction performance», September 12-15, 2011, Houston, Texas.
7. Френк С Виссер, Джек Дж. М. Бекс, Джен Гииртс, Майкл Кугал, Д. Мигель Медина Торрес, «Pump impeller lifetime improvement through of visual studbof leading-edge cavitation» September 12-15, 2011, Houston, Texas.
- 8.Анатолій ДАНИЛЯН, Наталія ТІРОН-ВОРОБІЙОВА, Ольга РОМАНОВСЬКА Кавітаційне руйнування циліндрових втулок морських суднових двигунів внутрішнього згоряння та їх захист.
- 9.Кочетков Е.А., Курильов А.С. Кавітаційні руйнування зовнішніх поверхонь циліндрових втулок суднових двигунів внутрішнього згоряння // Морська техніка і

технології: Зб. наук. праць Астр. держ. техн. ун-ту. -Астрахань: Вид-во АДТУ. – 2000. – № 1. – С. 86-91.

10. Юсуфов А.Р., Абачараєв І.М. Отримання захисних покриттів багатофункціонального призначення поверхневим легуванням виливків в ливарній формі // Морська техніка і технології: Зб. наук. праць Астр. держ. техн. ун-ту. - Астрахань: Вид-во АДТУ. – 2010. – № 1. – С. 69-72.

11. Боровий І.В. Вплив кавітації циліндричної втулки суднових ДВЗ на безпеку їх експлуатації. Морська техніка і технології: Зб. наук. праць Астр. держ. техн. ун-ту. - Астрахань: Вид-во АДТУ. – 2000. – № 1. – С. 95-98.

12. Подстрешний Є.В., Ходаковський В.М. Кавітаційно-ерозійне зношування втулок циліндрів суднових СОД // Суднобудування та судноремонт: Зб. наук. праць. - Вип. 38. - Владивосток: Морськ. держ. ун-т. – 2012. – С. 7-11.

13. Борщівський Ю.Т., Мірошніченко А.Ф. Підвищення кавітаційної стійкості двигунів внутрішнього згоряння. - К.: Вища школа 1980. – 264 с.

14. Технологія ремонту циліндрових втулок головних двигунів. - Ізмаїл: ІСРЗ УДП, 1977. – 6 с.

15.Проектування технологічних процесів відновлення поверхонь : лабораторний практикум / [Савуляк В. І., Шенфельд В. Й., Дусанюк Ж. П.] – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 51 с.

16. Шиліна О.П. Розповсюдження тепла та його вплив на структурні перетворення при зміцненні деталей автомобіля / О.П. Шиліна, О.В. Поступайло // Вісник ВПІ. – 2012 - №_С._ Бібліографія 8 назв.

17. Савуляк В.І. Вплив швидкості наплавлення на зносостійкість високовуглецевих шарів, нанесених методом електродугового наплавлення з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів// В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, О.Б. Янченко/«Наукові нотатки» / випуск 41 частина 1 – Луцьк, 2013. – с.224-229.

18. Savulyak V.I. Molten metal phase duration effect on the structure and hardness of high-carbon fused coating// V.I. Savulyak O.V. Postupailo, V.J.Shenfeld, O.B. Janchenco/ TEHNOMUS journal / Romania, 2013 – P.29-33.

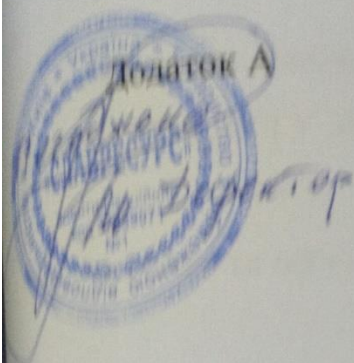
19. Савуляк В.І. Техніко-економічне обґрунтування способу відновлення деталей// В.І. Савуляк, О.П. Шиліна, Ж.П. Дусанюк, Ю.О. Слободянюк/ Збірник наукових праць ВНАУ. – 2012 . –С. 327-330.
20. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1/О.В. Дерібо. – Вінниця: ВНТУ. – 2013. 93 с.
21. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2/О.В. Дерібо. - Вінниця : ВНТУ, 2014. — 114 с.
22. Основи технології машинобудування [Текст]. Частина 1 : практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 106 с.
23. Козловський В. О., Дружиніна В.О. Методичні вказівки до виконання студентами - магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт– Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.
24. ДСТУ 7806:2015 Прокат з легованої конструкційної сталі. Технічні умови.
25. Дмитриченко М.Ф. Триботехніка та основи надійності машин /М.Ф. Дмитриченко, Р.Г. Мнацаканов, О.О. Мікосянчик // К.: Інформавтодор, 2006 – 216с.
26. Мікрометр гладкий МК. ДСТУ 6507 – 90.
- 27.Зразки шорсткості поверхні. ДЕРЖСТАНДАРТ 9378-93.
28. ДСТУ ISO 6508-1:2013 Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом. Частина 1. Метод випробування (шкали А, В, С, D, E, F, G, H, K, N, T) (ISO 6508-1:2005, IDT)
29. ДСТУ 2651:2006. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Міждержавний стандарт, 8с.
30. ДСТУ 2444-94. Розрахунки та випробування на міцність. Опір втомі. Терміни та визначення, 61с.
31. http://www.s-metall.com.ua/stal_40h.html
32. <http://www.sdelaysam.info/metal/center.shtml>
33. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГРЕБНОГО ГВИНТА ПІД ЧАС
ВІДНОВЛЕННЯ



78

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГМ

д.т.н., проф. Лесюндя П.І. ПІСІЩУК

« 16 » 09 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГРЕБНОГО ГВИНТА
ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ
 08 – 62. МКР.002.00.000 ТЗ

Керівник: д.т.н., проф. каф. ГМ

Валерій САВУЛЯК

Виконав: ст.гр. ЗВ-23м

Дмитро КАТЕРИНЧУК

Вінниця 2024

Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу відповідає стандарту та ДСТУ 3973 – 2000.

1 Назва та об'єкт проектування

НАЗВА: СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГРЕБНОГО ГВИНТА ПІД ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ

.

Умовне позначення: 08-62.МКР.002.00.000 ТЗ.

Гребний гвинт є складовою частиною приводу плавзасобів і забезпечує їх рух.

Привод плавзасобів використовується на морських та річкових суднах і забезпечує їх рух. Основні елементи приводу плавзасобів:

- двигун;
- валопровід;
- гребний гвинт;
- підшипники опор;
- ущільнення.

Головними конструкторськими базами даної деталі є конічний отвір для встановлення гребного гвинта на валопровід.

Для передачі крутного моменту в отворі гвинта нарізано шпонковий паз.

Поверхні, які працюють в спряженні «гребний гвинт - валопровід» зазнають найбільші навантаження і зношуються під впливом фретинг – корозії та навантажень. Крім того, робота в умовах виникнення кавітації та впливу абразиву зношує лопатки.

Найбільш точними є поверхні отвору та передня поверхня гребного гвинта оскільки вони виконані по 6 та 7 квалітету точності, які забезпечуються під час механічної обробки на верстатах з числовим програмним керуванням.

Деталь в цілому технологічна, майже всі поверхні мають добрий доступ під час механічної обробки.

2 Мета, призначення та джерела розробки

Розробка технологічного процесу проводиться на основі завдання на магістерську кваліфікаційну роботу згідно наказу ректора, складеного у відповідності до вимог навчального плану підготовки магістрів у ВНТУ і затвердженого кафедрою ГМ.

Призначенням даної магістерської кваліфікаційної роботи є виконання технологічних та конструкторських розробок для вдосконалення технологічного процесу аналога. Це можливо досягнути шляхом введення необхідних операцій для покращення експлуатаційних властивостей гребного гвинта, проведення необхідних розрахунків оптимальних режимів обробки та модернізації, або проектування нової конструкції окремого технологічного обладнання.

Мета магістерської кваліфікаційної роботи – закріплення і розширення теоретичних та практичних навиків проектування технологічних процесів відновлення деталей та вибору матеріалів.

Джерелами розробки є:

- методика техніко-економічного обґрунтування роботи;
- методика проектування технологічного процесу відновлення гребного гвинта;
- методика модернізації та проектування конструкції технологічного обладнання;
- вимоги до комплекту документів за ДСТУ 3973 - 2000;
- загальні правила розробки технологічних процесів і вибір засобів технологічного оснащення за ДСТУ 3973 - 2000;
- ДЕСТ 14.305-93 – Правила вибору технологічної оснастки;
- технічна література, довідникові видання.

3 Технічні вимоги та економічні показники

3.1 Вимоги до загальної структури і послідовності проектування.

Зміст розділів магістерської кваліфікаційної роботи та строки їх виконання визначаються завданням на дипломну роботу та положенням кафедри по модульно-рейтинговій оцінці рівня та термінів виконання роботи.

Поетапні строки, що вказуються в ТЗ, є орієнтовними. Основними строками виконання робіт вважають строки, які встановлені в плані дослідно-конструкторських робіт та технологічного проектування.

Зміст стадій проектування та строки їх виконання визначаються завданням на магістерську кваліфікаційну роботу.

3.2 Вихідні дані для технологічного проектування.

Приймаємо наступні вихідні дані для технологічного проектування:

- річний обсяг ремонту гребного гвинта - 150 шт;
- знос поверхонь, що відновлюються, менше 0,2 мм від встановлених робочим кресленням.

3.3 Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації.

З метою підвищення надійності, ремонтпридатності та економічності експлуатації технологічного обладнання, що розробляється, слід максимально застосувати стандартні вироби.

Рівень стандартизації та уніфікації конструкції повинен складати не менше 80%.

3.4 Вимоги до техніки безпеки та охорони навколишнього середовища

Конструктивні рішення повинні відповідати вимогам безпеки згідно встановлених параметрів відповідних стандартів по охороні праці та безпеці виробництва.

Викиди в навколишнє середовище не повинні перевищувати параметри, встановлені екологічним паспортом підприємства.

3.5 Стадії та етапи розробки.

Проектування технологічного процесу повинно проводитись з використанням варіантного пошуку раціонального рішення, включати такі основні етапи:

- техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу відновлення гребного гвинта;
- розробка основної проектної задачі:
- технологічне проектування технологічного процесу;
- розробка обладнання та пристосування для технологічного процесу;
- економічна ефективність розробок.

3.6 Порядок контролю та приймання.

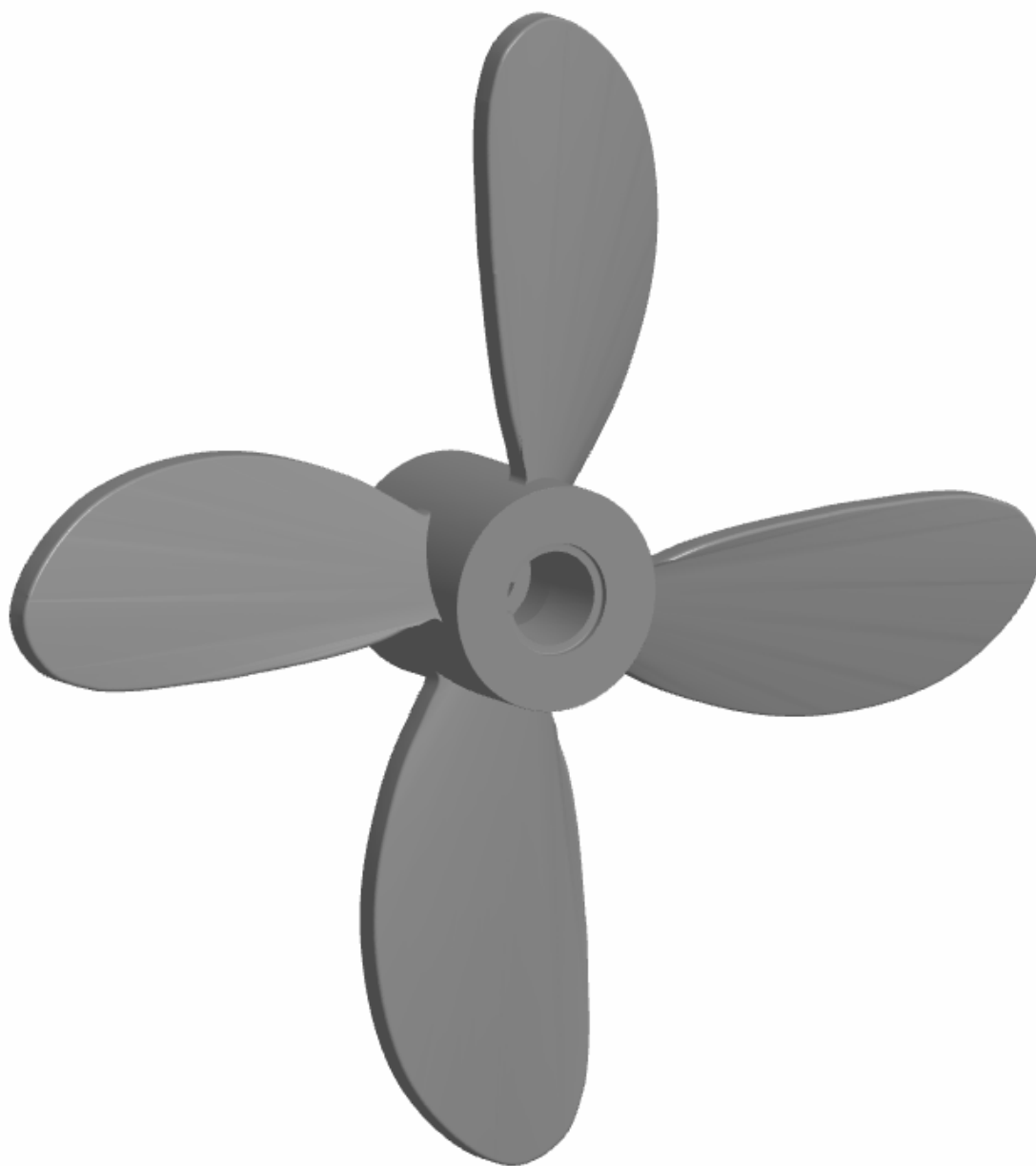
Контроль та приймання розробок виконується у відповідності до „ Положення про дипломне проектування” на кафедрі ГМ.

Технічне завдання оформлюється у відповідності з загальними вимогами до текстових конструкторських документів за ДСТУ 3973 - 2000, на листах формату А4.

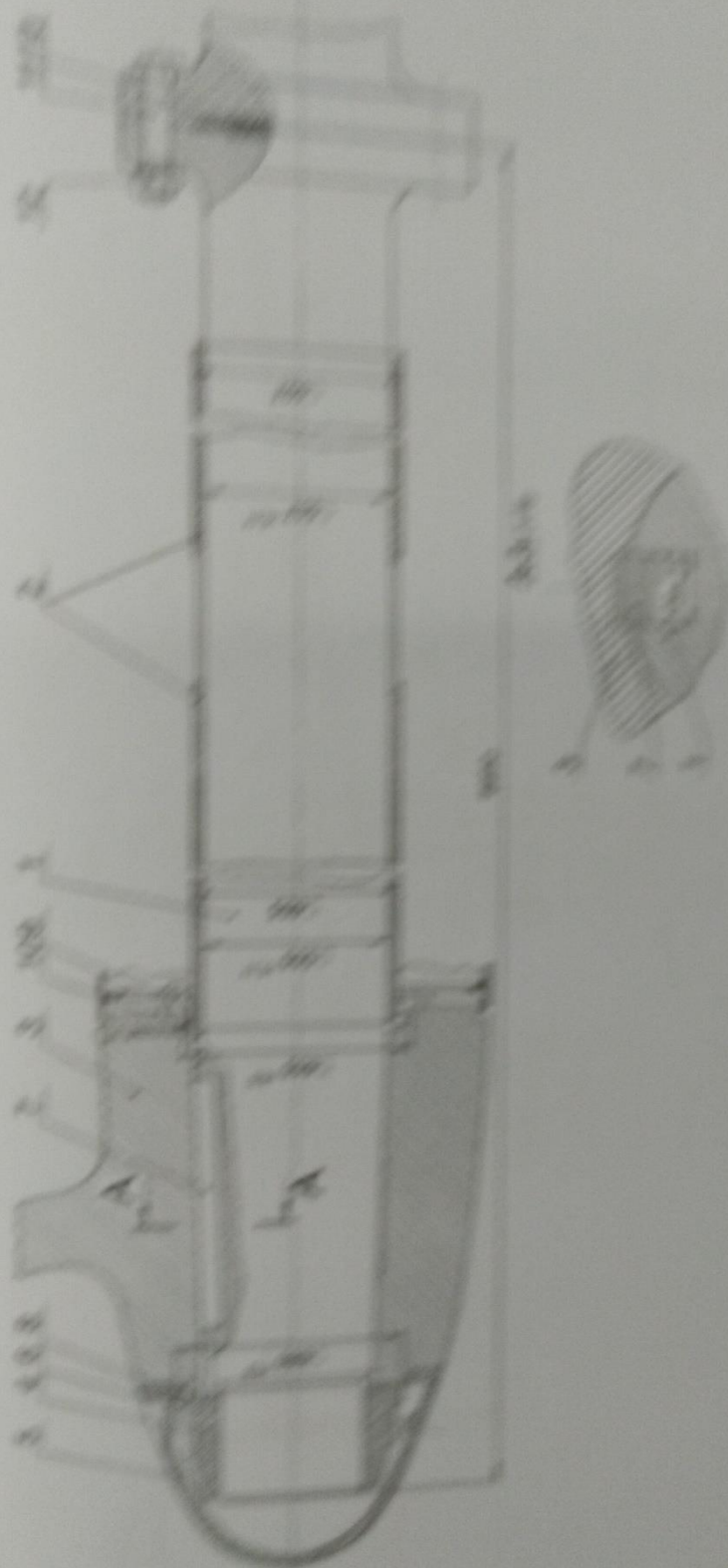
Додаток В
(обов'язковий)

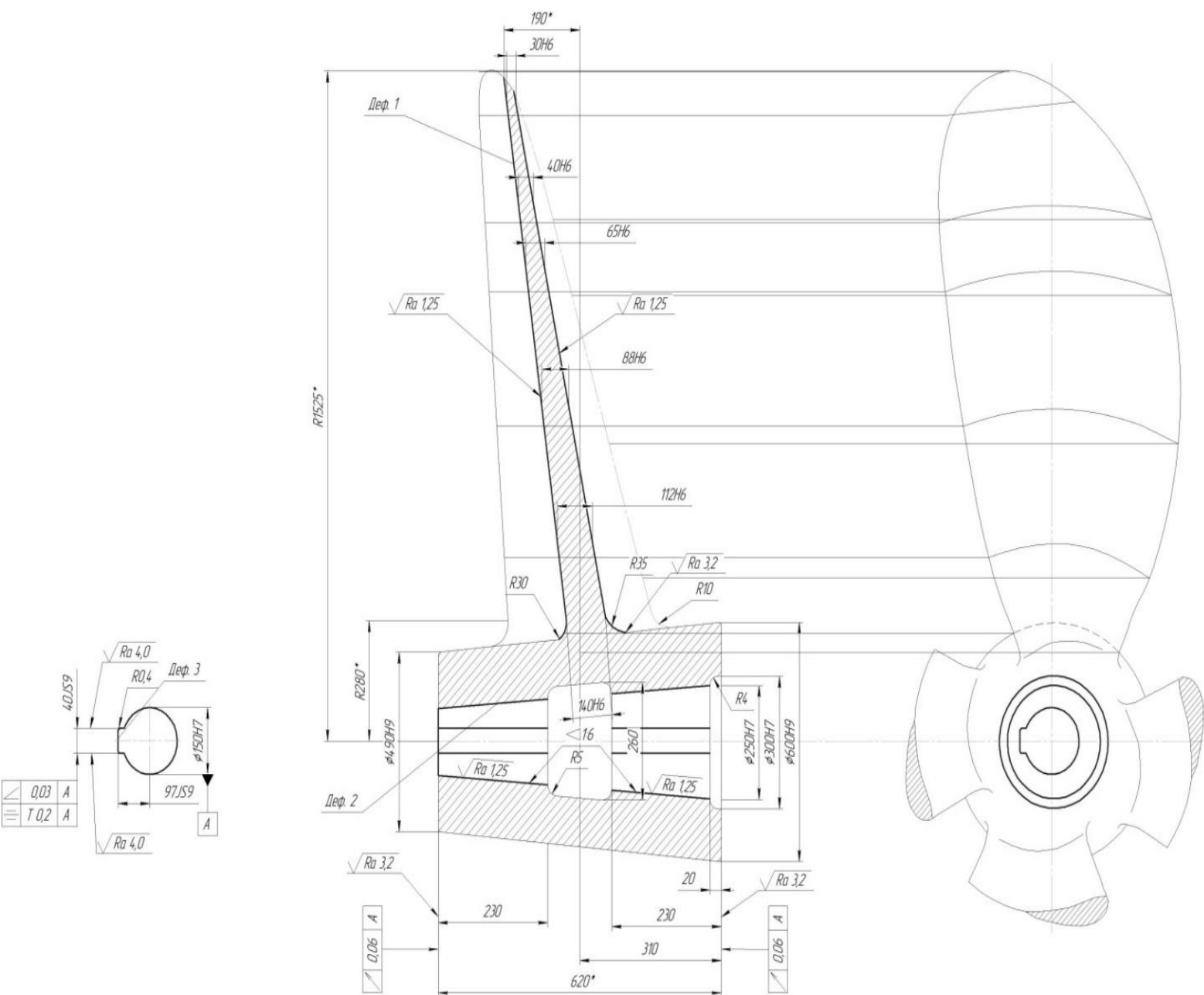
ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГРЕБНОГО ГВИНТА ПІД ЧАС
ВІДНОВЛЕННЯ

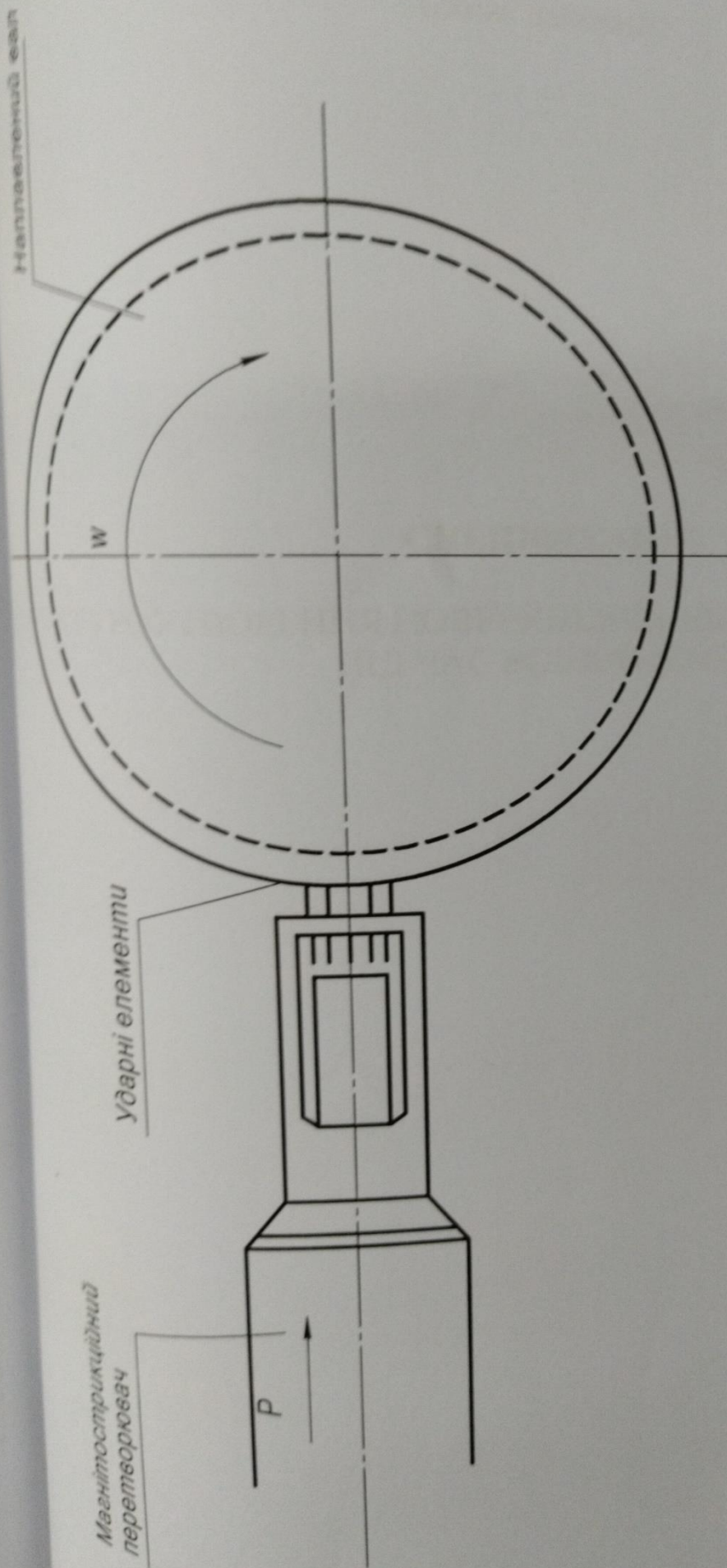


3-D модель гребного гвинта





Гребный гвинт судна

[illegible]

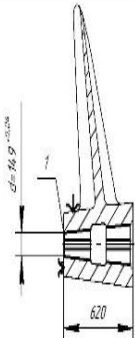
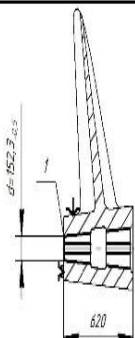
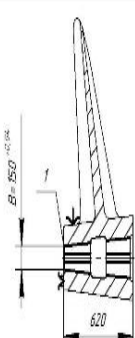
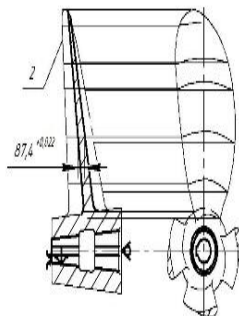
Додаток Г
(обов'язковий)

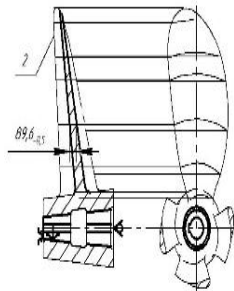
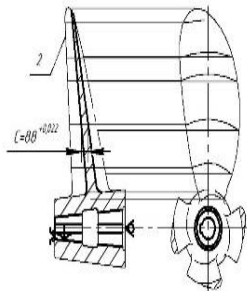
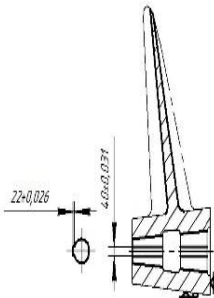
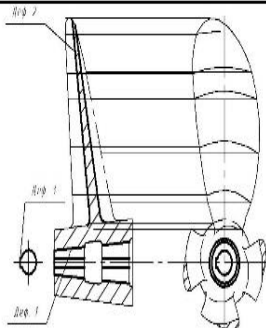
СПЕЦІФІКАЦІЯ

**СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГРЕБНОГО ГВИНТА ПІД ЧАС
ВІДНОВЛЕННЯ**

[illegible]

Маршрут відновлення гребного гвинта

№	Найменування операції та технічних переходів	Схема відновлення	Обладнання
005	Мийно-очисна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Мити деталь розчином МС-8.		Струменева-канверсна мийна машина Гейзер АПЧ
010	Дефектувальна 1. Дефектувати деталь.		Контрольний стіл.
015	Розточувальна (попередня) 1. Встановити та зняти деталь. 2. Розточити поверхню 1 до розміру $d=14,9^{+0,04}_{-0,04}$ мм.		Вертикальний токарний верстат СКАА64.5131
020	Напильовальна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Напильити поверхню 1 до розміру $d=152,3^{+0,3}_{-0,3}$ мм.		Установка для автоматичної напильки 4-50x7000
025	Розточувальна 1. Встановити та зняти деталь. 2. Розточити поверхню 1 наочню до розміру $B=150,08^{+0,16}_{-0,16}$ мм. 3. Розточити поверхню 1 наочно до розміру $B=150,17^{+0,04}_{-0,04}$ мм.		Вертикальний токарний верстат СКАА64.5131
030	Шліфувальна (попередня) 1. Встановити та зняти деталь. 2. Шліфувати поверхню 2 попередньо до розміру $87,4^{+0,02}_{-0,02}$ мм.		Шліфувальна машина Дніпро-М МШК-2300П.

035	<i>Наплавлювальна</i> 1. Встановити та зняти деталь. 2. Наплавити поверхню 2 до розміру $89,6_{-0,1}^{+0,1}$ мм.		1. Універсальний зварювальний джерело ВДУ-505. 2. Зварювальний апарат інверторного типу ММА-210А «ТЕМІ».
040	<i>Шліфувальна</i> 1. Встановити та зняти деталь. 2. Шліфувати поверхню 2 до розміру $(-89,38_{-0,01}^{+0,01})$ мм (обидві). 3. Шліфувати поверхню 2 начисто до розміру $(-89,3_{-0,01}^{+0,01})$ мм. 4. Шліфувати поверхню 2 начисто до розміру $(-88,96_{-0,01}^{+0,01})$ мм.		Шліфувальна машина Дніпро-М МШК-2300П.
045	<i>Протягувальна</i> 1. Встановити та зняти деталь. 2. Протягувати поверхню 3 до розміру $40,159_{-0,001}^{+0,001}$ мм по довжині і $22,159_{-0,001}^{+0,001}$ мм по глибині.		Спеціальний протягувальний верстат.
050	<i>Термічна</i> 1. Встановити та зняти деталь. 2. Провести високий відпуск при температурі 630°C з витримкою 3 години.		Пильник лінійний багатопроменевий "ДОЧМЕТ" 212.
055	<i>Контрольна</i> 1. Встановити та зняти деталь. 2. Контролювати розмір поверхні 1 до розміру $\phi=150\text{H7}$ мм. 3. Контролювати розмір поверхні 2 до розміру 88H6 мм. 4. Контролювати розміри поверхні 3 до розміру $40,159$ та $22,159$ мм.		Контрольний стіл.

Додаток Д
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ
ЗАПОЗИЧЕНЬ
СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГРЕБНОГО ГВИНТА ПІД ЧАС
ВІДНОВЛЕННЯ**

ПРОВЕДЕННЯ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЙВІСЬШІЙ ТІПОВІЙ ЗАДАЧІ

Назва роботи: «Структурно-логічне оформлення тексту роботи, що має планованість»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(диплом)

Навчальний заклад: Київська державна академія вищої освіти «Українська академія економіки та права»
(назва, адреса)

Назва роботи: Повідомлення про подібність

Оригінальність: 82% Схожість: 18%

Аналіз звіту подібності (відповідно до вимог):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені згідно з вимогами та мають титли.

2. Виявлені у роботі запозичення не мають титли, але їх наявність є необхідною умовою для цінності роботи і відсутності самостійності її виконання. Роботу направляти на доопрацювання.

3. Виявлені у роботі запозичення з недобросовісними і мають титли, але в них містяться наводні спотворення тексту, що вказує на свідоме порушення недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку:

(підпис)

Шевченко В. І.

(прізвище, ім'я)

Ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований системою Титли під роботою.

Автор роботи

(підпис)

Катеринчук Д. О.

(прізвище, ім'я)

Керівник роботи

(підпис)

Савченко В. І.

(прізвище, ім'я)