

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Металорізальні верстати та інструмент

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка стенду для дослідження коливань
пакетів лопаток турбомашин

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи М-218м

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та системи

Середа О. А.

(прізвище та ініціали)

Керівники

Івченко Л. Й.

(прізвище та ініціали)

Комочкін М. С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Фролов М. В.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Машинобудівний, Машинобудівний
 Кафедра «Металорізальні верстати та інструмент»
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Металорізальні верстати та системи
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮЗавідувач кафедри МВтаІМ. В. Фролов« 12 » 12 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Среди Олександра Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка стану для дослідження коливань пакетів лопаток турбомашин

керівник проекту (роботи) Івченко Леонід Йосипович, проф. кафедри,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом закладу вищої освіти від « 29 » жовтня 2019 року № 343

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12.12.2019

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Частота обертання робочого колеса турбіни = до 25000 об/хв, температура середовища для роботи робочого колеса = 20°, кількість лопаток у робочому колесі = 94, мінімальна ступінь підвищення тиску = 4,5.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз літературних джерел, 2) Методика виконання роботи, 3) Розробка конструкції стану, 4) Розробка програми для оцінювання результатів, 5) Розділ з охорони праці.

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

Принципова схема стануСкладальне креслення стануКреслення відцентрового колесаКреслення колектору вимірювального пристроюКреслення напрямної лопаткиКреслення робочої лопаткиАлгоритм роботи стану

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Івченко Л.Й., проф.	02.09.19	14.09.19
2	Івченко Л.Й., проф.	02.09.19	01.10.19
3	Івченко Л.Й., проф.	02.09.19	22.10.19
4	Івченко Л.Й., проф.	02.09.19	08.11.19
5	Шмирко В.У., доцент	04.10.19	29.11.19
Н.контр.	Комочкін М.С., ст. викл.	11.12.19	

7. Дата видачі завдання « 02 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	14.09.19	виконан
2	Методика виконання роботи	02.10.19	виконан
3	Розробка конструкції стенду	22.10.19	виконан
4	Розробка програми для оцінювання результатів	08.11.19	виконан
5	Розділ з охорони праці	29.11.19	виконан

Студент(ка)

Л. Серда
(підпис)

О. А. Серда
(прізвище та ініціали)

Керівники проекту (роботи)

Л. Й. Івченко
(підпис)

Л. Й. Івченко
(прізвище та ініціали)

М. С. Комочкін
(підпис)

М. С. Комочкін
(прізвище та ініціали)

https://library.krok.edu.ua/media/library/category/knmzd/rpnd/rpnd-0209_2015.doc

[0:09:43] **Yah**Найдено 1% / 1% совпадений по адресу: <http://kz1.fatwords.org/safia/redkie-knigi-obshchestvennie-nauki/main.html>

[0:09:52] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №482 [3] (200029 миллисек.): **Yandex** (

[0:09:53] **Go** Найдено 1% / 1% совпадений по адресу: http://www.lcard.ru/download/e270_hw.pdf

[0:09:54] **Yah**Найдено 1% / 1% совпадений по адресу: <http://docs.likenul.com/docs/index-14281.html>

[0:10:02] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №487 [3] (200028 миллисек.): **Yandex** (

[0:10:02] **Yah**Найдено 1% / 1% совпадений по адресу:

https://www.twirpx.com/files/science/physics/mmmethods/dimensional_analysis_similarity/

[0:10:06] **Yah**Найдено 1% / 1% совпадений по адресу:

https://pidruchniki.com/1058032049924/pravo/dogovir_pro_peredannya_viklyuchnih_maynovih_prav_intelektu_alnoyi_vlasnosti

[0:20:50] Тип проверки: *Стандартная*

[0:20:50] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 31%)**

[0:20:50] **Уникальность текста 76% / 73%** (Проигнорировано подстановок: 0%)

[0:42:16] **Yah**Найдено 7% / 11% совпадений по адресу: https://studopedia.com.ua/1_133096_avyaryno-ryatuvalni-sluzhbi.html

[0:42:19] **Yah**Найдено 10% / 14% совпадений по адресу:

https://protocol.ua/ua/kodeks_tsivilnogo_zahistu_ukraini_stattya_23/

[0:42:20] **Go** Найдено 1% / 1% совпадений по адресу:

http://banking.uabs.sumdu.edu.ua/images/department/banking/dipldoc/zrazku_final.pdf

[0:42:30] **Go** Найдено 1% / 1% совпадений по адресу: <http://bmc.fbmi.kpi.ua/uploads/diplom/pugach-pavlo-romanovich.pdf>

[0:47:36] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №2 [3] (116427 миллисек.): **Yandex** (

[0:47:37] Тип проверки: *Экспресс*

[0:47:37] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 31%)**

[0:47:37] **Уникальность текста 88% / 86%** (Проигнорировано подстановок: 0%)

Перевірку на плагіат магістерської роботи студента Середи О.А. було проведено у програмному забезпеченні Antiplagiarism.net 4.8.0. Перевірку виконав зав. каф. Фролов М.В.

12.12.2019



М. В. Фролов

РЕФЕРАТ

ПЗ: 88 с., 4 додатки, 30 рисунків, 30 джерел.

Проводиться огляд та аналіз існуючих установок для дослідження динаміки робочих коліс авіадвигунів, а також діаграми зносу лопаток та перегляд гіпотези щодо пакетних коливань. Пропонується нове обладнання для дослідження даного явища.

Об'єкт дослідження – робочі лопатки турбін газотурбінних двигунів.

Мета роботи – експериментальне доведення теорії про коливання лопаток пакетами шляхом розробки необхідного обладнання та методу дослідження.

Метод дослідження – експериментальний, лазерно-стробоскопічний. За допомогою спеціально розробленого вимірювального пристрою для цього обладнання.

Наукова новизна полягає у розробці передумов виникнення коливань лопаток пакетами та їх впливу на трибологічні характеристики контактних поверхонь лопаток турбіни ГТД.

Практичною цінністю роботи є можливість розробки методів керування процесами резонансних коливань, зменшуючи тим самим навантаження на контактних поверхнях лопаток турбіни і, як наслідок, зменшення їх зносу.

Основні положення доповідалися на науковій конференції НУЗП «Тиждень науки 2019», опубліковані у збірнику тез доповідей, а також подана заява на патент України. Дана робота брала участь у XII Міжнародних молодіжних науково-технічних читаннях ім. А. Ф. Можайського, де отримала диплом III ступені, опубліковані тези у науковому збірнику доповідей.

ЛОПАТКА, ЗНОШУВАННЯ БАНДАЖНИХ ПОЛИЦЬ, ПАКЕТНІ КОЛИВАННЯ, ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ЛАЗЕРНИЙ ДАТЧИК.

ABSTRACT

Explanatory note: 88 pages, 4 annexes, 30 pictures, 30 sources.

A review and analysis of existing facilities for the study of the dynamics of aircraft engines impellers and blades wear charts and reviewing hypotheses about the package fluctuations. New equipment is proposed to study the phenomenon.

The object of study - working turbine blades of gas turbine engines.

Purpose - experimental proof of the theory of vibrations packages blades by developing the necessary equipment and methods.

Research methods - experimental laser strobe. Using specially developed measuring device for this equipment.

Scientific innovation is to develop the prerequisites of blades fluctuations packages and their influence on the tribological properties of contact surfaces of turbine blades of gas turbine engines.

Practical value is the possibility of developing methods for process control resonant oscillation, thus reducing the load on the contact surfaces of turbine blades and, consequently, reducing their wear.

Key provisions were presented at a scientific conference NUZP "Science Week 2019", published in the Proceedings of abstracts and filed a patent application for Ukraine. This work took part in the XII International Youth Scientific and technical readings to them. AF Mozhaiskogo which received a bachelor's degree, theses published in Scientific Journal reports.

**BLADES, WEAR BANDAGE SHELF, BATCH FLUCTUATIONS,
MEASURING DEVICES, LASER SENSORS.**

ЗМІСТ

Завдання на проект	2
Реферат.....	3
Перелік умовних позначень.....	7
Вступ	8
1 Аналіз літературних джерел	9
1.1 Принцип роботи ГТД	9
1.2 Огляд існуючих аналогів.....	10
1.3 Аналіз пристроїв для вимірювання	14
1.4 Огляд існуючих конструкцій соплових апаратів	15
1.5 Огляд існуючих конструкцій відцентрових коліс	16
2 Методика виконання роботи.....	19
2.1 Аналіз та обґрунтування	19
2.2 Обробка результатів	20
2.3 Об'єкт дослідження	21
2.4 Вибір привода компресора стенду.....	22
2.5 Вибір підшипників	23
2.6 Вибір датчиків	24
2.7 Вибір муфти.....	25
3 Розробка конструкції стенду.....	27
3.1 Принципова схема стенду	27
3.2 Розрахунок робочого колеса компресора стенду.....	28
3.3 Визначення власної частоти коливання досліджуваної лопатки	39
3.4 Розробка вимірювального пристрою.....	43
3.5 Розробка прямого апарату.....	46
4 Розробка програми для оцінювання результатів досліджень	47
4.1 Опис зв'язків системи «стенд-комп'ютер»	47
4.2 Логіка блоку керування.....	48

4.3 Програмне забезпечення для обробки даних на ЕОМ.....	49
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	53
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	53
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	55
5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	59
5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	65
Висновки.....	77
Перелік посилань.....	78
Додаток А Нагорода за участь у молодіжних науково-технічних читаннях.....	82
Додаток Б Заява про видачу патенту України.....	83
Додаток В Договір про передання права власності на корисну модель.....	85
Додаток Г Специфікація на складальне креслення стенду.....	87

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- ВДТ – відео-дисплейний термінал;
- ГОСТ – (рос.) Государственный стандарт;
- ГТД – газотурбінний двигун;
- ДСН – Державні санітарні норми;
- ДБН – Державні будівельні норми;
- ДСТУ – державний стандарт України;
- ДТРД – двоконтурний турбореактивний двигун;
- ЕОМ – електронна обчислювальна машина;
- ЄС – Європейський союз;
- ККД – коефіцієнт корисної дії;
- МЮУ – міністерство юстиції України;
- НПАОП – нормативно-правові акти з охорони праці;
- ПЗ – пояснювальна записка;
- ПЗ – (розд. 4) програмне забезпечення;
- ПК – персональний комп'ютер;
- ПУЕ – правила улаштування електроустановок;
- СУОП – система управління охороною праці;
- ТВД – турбогвинтовий двигун;
- ТРД – турбореактивний двигун;
- ЦЗ – цивільний захист.

ВСТУП

У сучасному авіамоторобудуванні, як і в загальному машинобудуванні, існує поняття «ресурс роботи» машини, вузла, деталі, який відіграє найважливішу роль у їх створенні. Лімітуючою ресурс авіадвигуна ланкою є робоча лопатка турбіни газотурбінного двигуна (далі ГТД), оскільки, втомна міцність буде залежати від зношування контактних поверхонь лопаток. Знос контактних поверхонь визначається навантаженнями на цю поверхню, такими як: амплітуда коливань, питоме навантаження, частота, температура. Ці навантаження не є стабільними, вони весь час змінюються у часі, тобто є динамічними.

Складність проблеми вивчення процесів зношування саме і полягає у цій динаміці. У літературних джерелах дані проблеми майже не висвітлюються бо, як правило, вони вивчаються у статичі.

Існує гіпотеза про те, що коливання лопаток відбувається пакетами [1], проте, ні кількість лопаток у пакетах, ні кількість самих пакетів – не є визначеними. Від чого залежить дана кількість і як вона змінюється – також невідомо. Додатково постає питання керування даним процесом.

Для виконання цих досліджень постає необхідність у розробці випробувального стенду, який в лабораторних умовах зміг би отримати дані про коливання. Конструкції, які можливо було б використати для даного експерименту, дуже складні у виготовленні а бо ж не відповідають вимогам поставленої задачі.

Розробка методів керування дала б можливість уникнути або значно зменшити резонансні коливання і, тим самим, навантаження на контактних поверхнях. Враховуючи вище сказане, дана робота є безсумнівно актуальною.

1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Принцип роботи ГТД

У ході розвитку авіамоторобудівної промисловості з'явилися різноманітні типи газотурбінних двигунів (далі ГТД). Їх можна розділити на три групи: турбореактивні (ТРД), турбогвинтові (ТВД) та проміжне положення займають турбореактивні двоконтурні двигуни (ДТРД). ГТД відрізняються між собою конструктивними особливостями елементів. Наприклад, розрізняють двигуни з відцентровими компресорами, осьовими та осе-відцентровими; з трубчастими, кільцевими та трубчасто-кільцевими камерами згоряння; петельними та прямоточними спрямуваннями газів; з осьовими та радіальними турбінами. Проте, кожний двигун має компресори, вхідні та проміжні. Компресори слугують для подачі на робочі лопатки необхідної кількості повітря для їх запуску та подальшого підтримання. Під час роботи авіадвигуна, робочі лопатки працюють в жорстких умовах та випробовують різні види навантаження: амплітуду, частоту коливання, високий тиск газів, високі температури тощо [6].

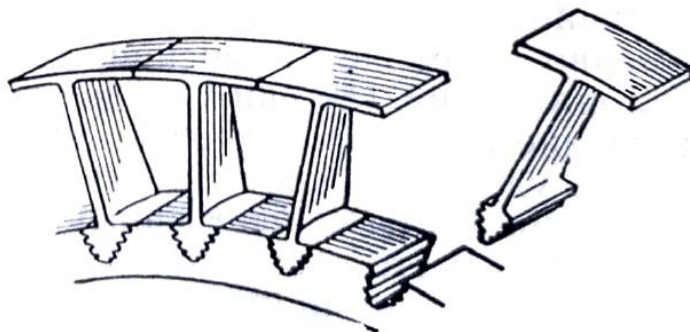


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд бандажованих лопаток [6]

У сучасних ГТД застосовуються конструкції бандажів із замкненими на коло робочими лопатками. З'єднання здійснюється за рахунок сил тертя, зумовлених впливом відцентрових сил або натягом під час складання.

Бандажування лопаток дозволило знизити рівень динамічних напружень в них. Водночас, з'являється явище коливання таких бандажованих лопаток пакетами. При цьому, кількість таких пакетів (секторів), та лопаток у них на робочому колесі турбомашини може бути різною [1].

Контроль фактичного зношування бандажних полиць лопаток по робочому колесу та побудова колової діаграми (рис. 1.2) за його результатами свідчать про нерівномірний знос контактних поверхонь бандажних полиць. На ГТД з різним ресурсом роботи величина зносу лопаток сягає від 0...1,5 мм (катастрофічний знос до 750%). Подібних екстремумів зносу на одному робочому колесі може бути декілька. Саме явище пакетного коливання може пояснювати максимальні величини зносу лопаток, розташованих на стиках секторів.

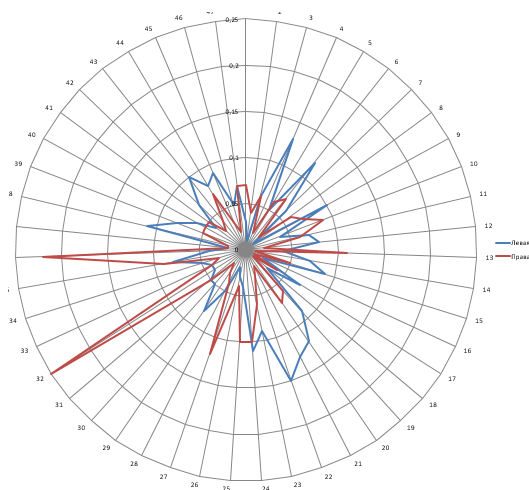


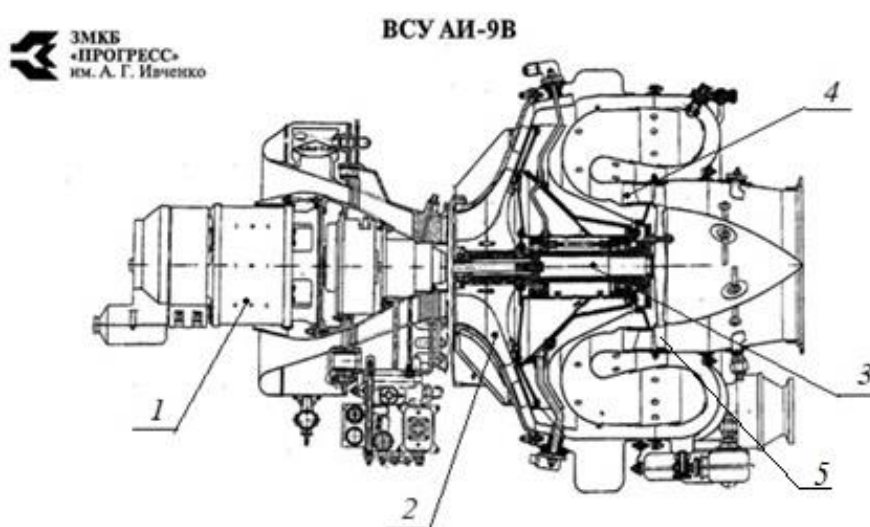
Рисунок 1.2 – Приклад колової діаграми зносу лопаток турбіни по бандажних полицях

1.2 Огляд існуючих аналогів

Для запуску ГТД також використовуються допоміжні турбогенераторні двигуни, задачею яких є забезпечення основного двигуна необхідним об'ємом та тиску повітря, достатнім для запуску, а також підсилення всмоктуючого ефекту

основного двигуна та компенсація втрати тиску через проходження повітря каналами.

Основною задачею є розробка установки для експериментального виявлення кількості пакетів за величиною частот коливання лопаток, викликаних потоками стиснутого повітря, що проходить крізь сопловий апарат. Для цього пропонується розробити повітряно-динамічний стенд, у якому за аналог компонування елементів конструкції буде взято пусковий допоміжний турбокомпресорний двигун АІ-9 (рис. 1.3) [7].



1 – електродвигун; 2 – відцентрове колесо; 3 – ротор;
4 – соплові лопатки; 5 – робочі лопатки.

Рисунок 1.3 – Схема допоміжного двигуна АІ-9 [7]

Принцип дії такого допоміжного двигуна наступний: електродвигун 1 розкручує відцентрове колесо, яке створює потік повітря під тиском, проходячи через канали та камеру згоряння, яка підсилює тягу та підвищує тиск, утворений потік газів проходить через напрямний апарат 4, який спрямовує потік під певним кутом атаки на робочі лопатки 5, робоче колесо який встановлене на роторі 3.

Обґрунтоване рішення щодо вибору за аналог пускового двигуна АІ-9 для розробки вище вказаної установки було прийнято з наступних міркувань:

- схема майбутньої установки повинна мати відцентровий компресор;
- відцентрове колесо повинно приводитися в рух від електродвигуна;
- схема повинна мати сопловий апарат для спрямування потоку повітря під певним кутом, кутом атаки;
- слід передбачити частину ротору з робочим колесом турбіни, як об'єкт дослідження у даному експерименті.

Дана модель двигуна задовольняє вказаним умовам. Механіка повітряно-динамічного стенду повинна забезпечувати умови роботи колеса турбіни близькі до реальних. Вважається, що пакетні коливання з'являються внаслідок впливу потоку повітря на робочі лопатки, який проходить крізь напрямний апарат.

Схожу конструкцію з відцентровим компресором можна спостерігати і в допоміжному двигуні РД-45 (ВК-1) [8], де застосовується двостороннє відцентрове колесо, ефективність якого під час роботи зростає у порівнянні з одностороннім.

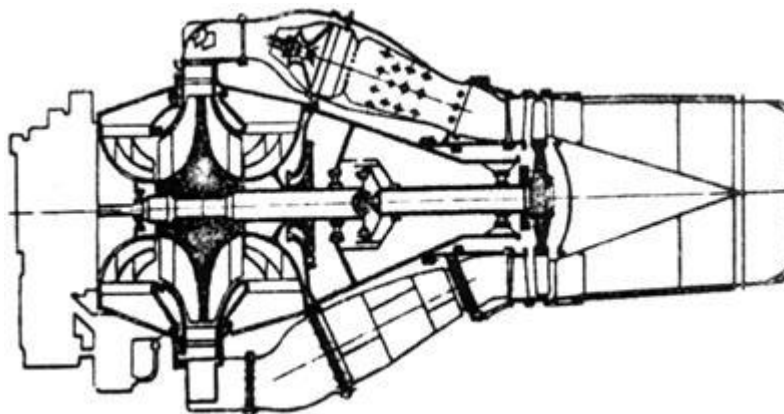


Рисунок 1.4 – Схема допоміжного двигуна РД-45 (ВК-1) [8]

Звісно, інститути з випробувань динамічних властивостей авіадвигунів для цього мають велику номенклатуру випробувальних установок та агрегатів, проте, ні в якому довіднику, чи то джерелі, ще не зустрічалася інформація про дослідження явища пакетних коливань, або конкретної установки для цього, та й взагалі такої літератури надто мало.

Так, у джерелі [3] йдеться мова про повітряні форсунки, що імітують сопловий апарат й спрямовують потік повітря для розгону робочого колеса, проте, повітря в них спрямоване локально в одну точку чи невелику пляму. Для випробувань робочих коліс на динаміку таких форсунок достатньо, але для збудження пакетних коливань необхідно якомога максимально відтворити реальні умови контакту робочих лопаток зі спрямованим повітряним потоком.

Схожі ідеї можна зустріти в джерелах [2 – 5].

Так, наприклад, динамічний розгінний стенд [2] має за привод два електродвигуна постійного струму, що приводять в рух один вал, розташований горизонтально. За сопловий апарат виступають повітряні форсунки, кількісно підібрані у залежності від гармоніки.

За даними джерела [3] розгінний стенд повинен включати привод, опору з об'єктом випробування, що розташований в бронекамері, яка забезпечить безпечне проведення дослідження, а також додаткові системи та вузли, що зможуть забезпечити певні умови роботи досліджуваного об'єкта. Розташування осі стенду горизонтально дозволяє забезпечити більш наближені до експлуатаційних умови випробувань. При використанні у якості привода електродвигуна немає необхідності у великих витратах стиснутого газу (повітря).

За джерелом [4] конструкція складається з гладкого циліндричного валу на двох опорах, до одного кінця якого приєднано робоче колесо відцентрового компресора, проте, дана конструкція є надто простою, та метод вимірювання не підходить для створення установки, що проектується.

Стенд для випробування робочих коліс турбомашин [5] має схожу конструкцію з тією, що проектується у даній роботі, має вал, опори, кожух, відцентрове колесо, вимірювальний апарат, проте, сегнетоелектричні датчики, що застосовуються для вимірювання коливань, не здатні задовольнити заданим умовам, відносяться до датчиків контактного вимірювання, тому не підходять.

1.3 Аналіз пристроїв для вимірювання

Для отримання інформації про відхилення лопаток від стану покою та подальшої її обробки в установці слід передбачити вимірювальний пристрій – кільцевий колектор, оснащений певною кількістю датчиків, пропорційно рівною кількості лопаток робочого колеса, що досліджуватиметься.

Усі датчики за принципом контактної дії можна розділити на два види: контактні та безконтактні. Оскільки у ході експерименту передбачається вимірювати складну систему «диск-лопатки», причому, за високих частот обертання (порядку 10000 – 20000 об/хв), то контактні датчики не підходять в цілому. Під час сканування щупи датчиків повинні весь час знаходитись у контакті з об'єктом вимірювання, що є неможливим та недоцільним у даному випадку. Стенд для випробування робочих коліс турбомашин [5] має схожу конструкцію з тією, що проектується у даній роботі, має вал, опори, кожух, відцентрове колесо, вимірювальний апарат, проте, сегнетоелектричні датчики, що застосовуються для вимірювання коливань, не здатні задовольнити заданим умовам, відносяться до датчиків контактного вимірювання, тому не підходять.

Другий вид датчиків, як і спосіб вимірювання, є безконтактним. Даний вид на наш час є широко розповсюдженим, оскільки має цілу низку переваг перед контактними методами вимірювання. До таких належать датчики наступних типів:

- ультразвукові (сенсорні пристрої, які перетворюють електричний струм у хвилі ультразвуку. За принципом радару уловлюють відбитий звук. Можуть працювати з частотами, вищими з 20000 Гц. Недоліком для стенду даних датчиків є те, що повітряний потік, що виходить з робочого колеса, також має коливання, які будуть псувати вихідні дані);

- оптичні (датчики відстані, мають діапазони вимірювань 90-1000 мм. Принцип роботи базується на застосуванні інфрачервоного діоду, відбитий сигнал якого уловлює сканер датчика. Даний тип не здатен уловлювати частоти коливань).

- лазерні (можливо, єдиний тип, який може бути використаний для розробки стенду. Принцип роботи базується на застосуванні ефекту Доплера. Джерело випромінювання – лазер червоного кольору. Точність вимірювання без суттєвого розсіювання може зберігатись на відстанях до 200 м. Віброметричні властивості дозволяють вимірювати частоти до 50000 Гц).

1.4 Огляд існуючих конструкцій соплових апаратів

Напрямний чи сопловий апарат призначається в турбінах для спрямування потоку повітря під ефективним кутом атаки на робочі лопатки. За конструкцією та методом регулювання соплові апарати бувають різними: регульовані (які мають достатньо складну конструкцію) та нерегульовані (кут атаки встановлюється виконанням лопатки та посадочних гнізд. Також за типом з'єднання можуть бути апарати з фланцевим з'єднанням та набором на диск (рис. 1.5).

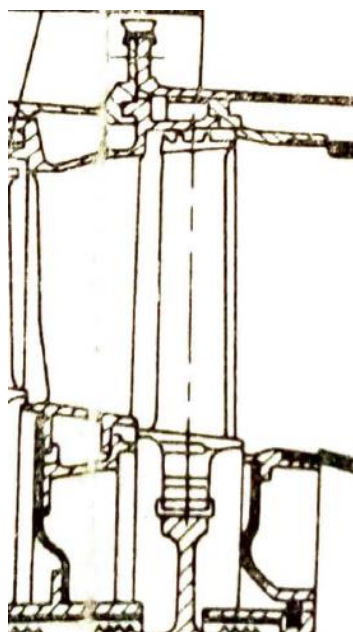
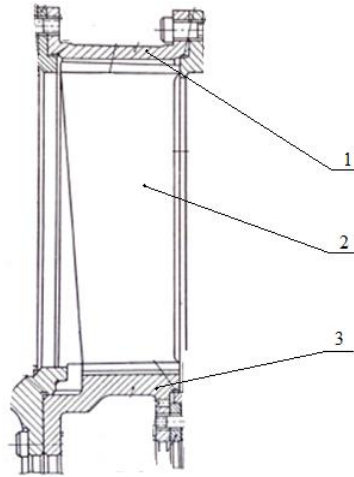


Рисунок 1.5 – Приклад набору соплових лопаток на диск [6]

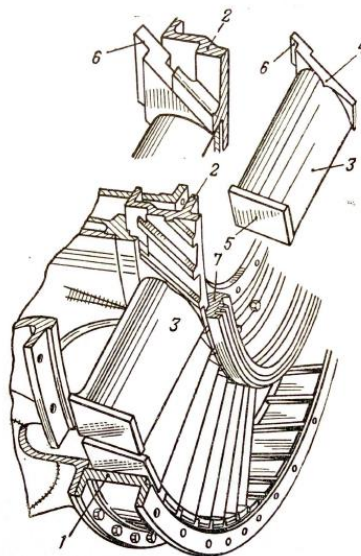
Розглядаються для розробки стенду саме соплові апарати з фланцевим приєднанням до двигунів (рис. 1.6).



1 – зовнішнє кільце; 2 – соплова лопатка; 3 – внутрішнє кільце.

Рисунок 1.6 – Приклад простої конструкції соплового апарату з фланцями [6]

Дана конструкція є нескладною у виготовленні, також може забезпечувати жорстке закріплення за рахунок фланцевого з'єднання. Соплові лопатки в кільцях кріпляться в пазах (рис. 1.7), які також виконані під певним кутом, що налаштовує соплову лопатку.



1 – зовнішнє кільце; 2 – внутрішнє кільце; 3 – соплові лопатки;
4 та 5 – полиці соплової лопатки; 6 – замок для фіксації лопатки;
7 – кільце лабіринтового ущільнення;

Рисунок 1.7 – Приклад конструкції соплового апарату з пазами для лопатки [6]

1.5 Огляд існуючих конструкцій відцентрових коліс

Відцентрові нагнітачі та компресори застосовують для отримання стиснутого повітря, яке має силове значення для пневматичних машин та інструментів. Також застосовуються в різні промисловості для стискання газів. Застосовуються і для наддуву двигунів внутрішнього згоряння, в газотурбінних установках, холодильних установках тощо.

Відцентрові компресори можна розрізнити за наступними ознаками: за конструкцією входу (з одностороннім колесом та двостороннім входом і колесом), за конструкцією лопаток колеса (з радіальними лопатками (рис.1.7) і лопатками, розташованими під кутом до радіусу (рис.1.9) проти обертання (активні лопатки)), за типом колеса (компресори з відкритим (рис.1.8,а), напіввідкритим (рис.1.9) та закритим (рис.1.8,б) колесом), за числом ступенів стискання (одноступінчасті, двоступінчасті та багатоступінчасті), за типом дифузора (з лопатковим та безлопатковим дифузором).

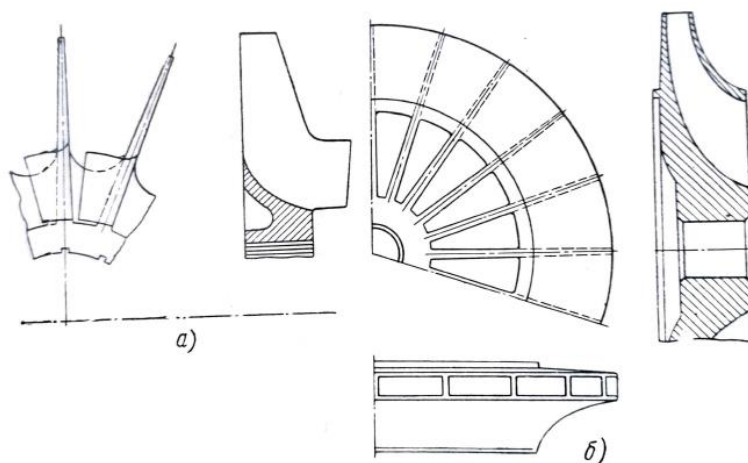


Рисунок 1.8 – Колеса відцентрових компресорів відкритого (а) та закритого (б) типів [6]

Колеса відкритого типу раніше використовувалися частіше, проте, в наш час їх замінили напіввідкриті, оскільки до недоліків відкритих коліс можна віднести недостатню міцністю через вільні лопатки, та великі втрати тиску через

різкий перехід від осьового потоку до радіального. Колеса закритого типу більш ефективні, ніж напівзакриті, проте, вони дуже складні у виготовленні та мають меншу міцність через зарізи передньої стінки при виготовленні, тому, застосовуються рідко.

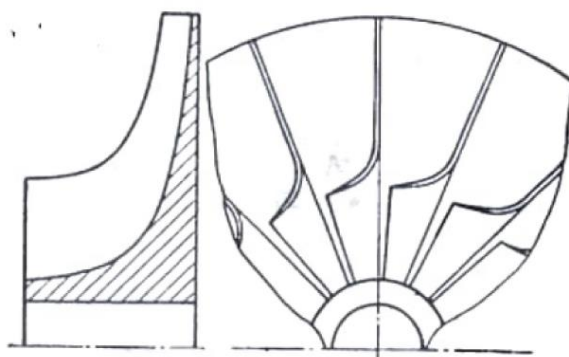


Рисунок 1.9 – Колесо відцентрових компресорів напіввідкритого типу з загнутими назад лопатками [9]

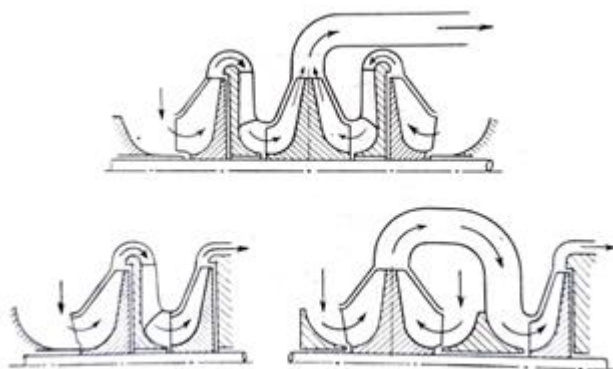


Рисунок 1.10 – Схеми двоступінчастих відцентрових компресорів різного виконання [6]

Колеса напіввідкритого типу використовуються переважно в нагнітачах та компресорах авіаційної техніки, а також в двигунах внутрішнього згорання. Так, виконання колеса з радіальними лопатками під кутом 90° є менш ефективним за колесо з загнутими. Напіввідкриті колеса мають найбільшу допустиму колову швидкість (до 500 м/с) [9].

2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Аналіз та обґрунтування

Як і будь-яка інша, дана робота повинна мати певну послідовність виконання, яка, в свою чергу, повинна мати логічне завершення. Виконання даного дипломного проекту починається з розглядання існуючої проблеми (проблема швидкого зносу лопаток по бандажних полицях), далі зародження ідеї та формування теми проекту. Далі виконується пошук та аналіз літературних джерел, аналіз існуючих конструкцій пускових турбогенераторних двигунів, аналіз вже існуючих систем та методів вимірювання, конструкцій вимірювальних пристроїв, після чого йде обґрунтування отриманої інформації, формування перших висновків, прийняття рішень, на основі яких починається етап розробки.

На етапі розробки висувається ідея можливої конструкції, її принципова схема, за якою має бути зрозумілим, з яких частин повинна складатися установка, для чого вона потрібна, її функції та можливості. Після чого конструкції присвоюється назва – стенд для дослідження. На даному етапі також відбувається розрахунок основних виконавчих органів, таких як відцентрове колесо компресора, розміру ротора даного колеса, розрахунок власної частоти коливання об'єкту вимірювання – робочої лопатки ГТД. Відбувається вибір основних конструктивних елементів: електродвигуна (з необхідною потужністю та частотою обертання, крутним моментом), муфти (для компенсації неспіввісності, передачі крутного моменту на відцентрове колесо), підшипникових опор (з урахуванням доцільності їх застосування, спираючись на тип та клас точності опор, які застосовуються при побудові ГТД), вибір електроніки (датчиків, комп'ютерів, систем керування електродвигуном, перетворювачів сигналів), розробка вимірювального апарату, розробка корпусних та несучих елементів (керуючись розмірами з конструктивних рішень). По закінченні даного етапу розробляється складальне креслення.

Після розробки конструкції відбувається розробка програмного забезпечення. На даному етапі розглядаються можливі існуючі варіанти програм для обробки даних, аналіз їх можливостей, сфери застосувань, огляд та аналіз їх недоліків. Створення нового програмного забезпечення має враховувати недоліки розглянутих існуючих аналогів, також розглядається, які додаткові можливості повинна мати дана розробка (окрім обробки даних та виводу їх на екран, наприклад, новий інтерфейс для більш зрозумілої картини, блок виконавчих команд для керування частотами електродвигуна та робочого колеса ГТД, логічний зсув для слідкування датчиків за лопатками, що досліджуються), на основі чого можна сформулювати завдання для програмістів. Також відбувається опис зв'язків роботи електроніки стенду.

Значна частина роботи присвячується розділу з охорони праці, оскільки приміщення для дослідження має відповідати санітарно-гігієнічним нормам, а сам стенд має відповідати певним нормам безпеки.

Робота завершується висновком про її проведення, отримання результатів, опису можливостей розробленої конструкції, областей її застосування, її вплив на зменшення зносу лопаток турбомашин.

2.2 Обробка результатів

Як буде описано нижче у розділі 3, принцип роботи стенду полягає у розгоні робочого колеса ГТД та утворення коливань лопаток. Оскільки, згідно з [1] коливання лопаток секторами на робочому колесі відбуваються в осьовому напрямку відносно ротору турбіни, то датчики вимірювального апарату мають уловити відхилення цих лопаток, або частоту їх коливання також в осьовому напрямку. Лазерний промінь, потрапивши на перо лопатки, відбивається та повертається до датчика, відстань та частота коливання фіксуються датчиком (фіксуються світлові коливання за принципом Доплера, та фактична відстань до лопатки у момент спрацювання датчика). Сигнал датчика в аналоговому вигляді (перша інформація) потрапляє до аналого-цифрового перетворювача (далі АЦП), призначеного для перетворення напруги (аналогового сигналу) в дискретний

двійковий код, зрозумілий електронним обчислювальним машинам (далі ЕОМ), у тому числі і комп'ютерам. Проте, двійковий код не несе у собі ніякої інформації у чистому вигляді. Для цього необхідно пропустити його через певне програмне забезпечення, яке зможе асоціювати його з необхідною фізичною величиною (наприклад, напруга, струм чи частота зміни полярності напруги в розмірну величину в мм чи частоту) (на програмному рівні це має вигляд ряду систем рівнянь, нерівностей та математичних залежностей). Для налаштування правильного відображення, перед дослідженням робочих лопаток слід встановити та виміряти еталонну модель для встановлення необхідної залежності напруги на вході АЦП від датчика з величинами (а також для обнуління датчиків), дані яких будуть виведені на екран ЕОМ. Окрім виведення на екран цифрових значень для кожної з лопаток, програмне забезпечення для обробки має передбачати графічне виведення інформації, схоже на колову діаграму зносу лопаток турбомашин. Це дасть змогу спостерігати за ділянками, на яких можуть бути проміжки між пакетами лопаток під час коливання, та процеси зміни кількості лопаток у кожному з пакетів.

2.3 Об'єкт дослідження

Для дослідження на повітряно-динамічному стенді застосовується робоче колесо третьої ступені компресора низького тиску ГТД АІ-25. Об'єктом дослідження є робочі лопатки цього колеса. Такі лопатки (рис. 2.1) мають бандажні полиці, та певні розміри, які дозволяють без проблем розташовувати лазерні датчики напроти цих лопаток. Розглядається варіант бандажування лопаток в кільце з натягом (рис. 2.1). Таке з'єднання має переваги, оскільки закріплення лопатки у робочому колесі розглядається як балка на двох опорах. Проте, паралельно з цим з'являється і недолік, пов'язаний зі зносом бандажних полиць у результаті їх взаємодії між собою під впливом коливань. Під час коливання системи «лопатки-полиці» з'являються розриви контакту бандажних полиць, відбувається удар з проковзуванням та знос лопаток по полицях, про що і свідчить колова діаграма зносу (рис. 1.2).

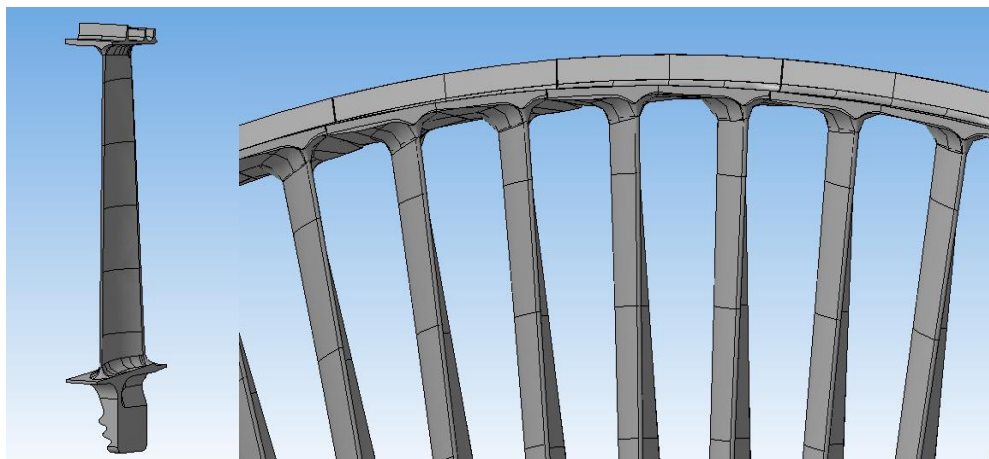


Рисунок 2.1 – 3D-модель лопатки з бандажною полицею та приклад бандажування в кільце з натягом

2.4 Вибір привода компресора стенду

Для приведення стенду в дію відцентрове колесо повинно обертатись. Для цього необхідно визначитись з приводом. Треба обрати електродвигун, який здатний буде забезпечити необхідну частоту обертання робочого колеса, починаючи з 10000 хв^{-1} . Повинен мати запас частоти обертання до 30000 хв^{-1} , а з цим – і запас потужності. Для цього пропонується електродвигун вітчизняного виробника моделі ДАВ-50В [10] (рис. 2.2).

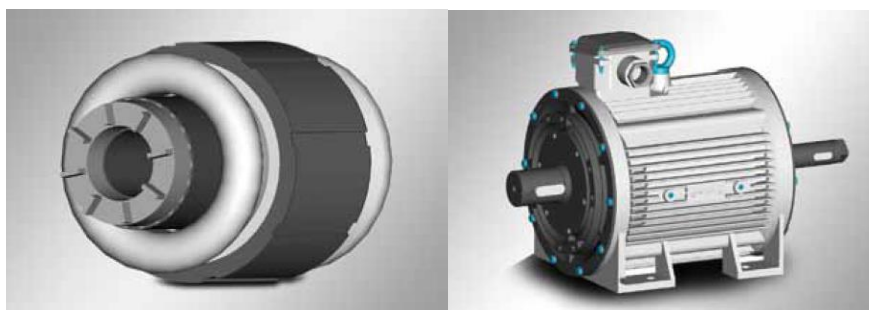


Рисунок 2.2 – зовнішній вигляд електродвигуна ДАВ-50В без корпусу – зліва, та в одному з варіантів виконання у корпусі – справа [10].

Дана модель представляє собою асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором вбудованого виконання (може поставлятися і в

корпусі) для приводів турбокомпресорів кліматичних установок, вентиляторів тощо. Живлення та керування електродвигуном здійснюється від частотного перетворювача. Двигун характеризується наступними параметрами [10]:

- напруга живлення 380 В;
- номінальна частота обертання 20000–30000 об/хв;
- діапазон регулювання частоти обертання 1000–40000 об/хв;
- корисна потужність на валу 5–50 кВт;
- ККД 93%;
- діапазон робочих температур від -60 до 100°С;
- маса ротора 4 кг;
- маса електродвигуна ≤ 20 кг.

Для побудови взято виконання корпусу, яке використовується для електродвигунів серії АІР [11].

2.5 Вибір підшипників

До підшипникових опор в авіамоторобудуванні виносяться окремі більш жорсткі вимоги, пов'язані з підвищеною точністю, довговічністю, високими частотами.

Це, переважно, однорядні підшипники кочення, кулькові та роликові з антифрикційними сепараторами. Зокрема, перевага віддається швидкохідним підшипникам кочення, тип яких обирається з урахуванням навантажень осьових і радіальних. Для роторів ГТД застосовуються підшипники кочення високого класу точності (В – 2 або 4 класу точності) з добре збалансованими сепараторами, елементи яких виготовлені зі сталі ШХ15, а сепаратори – з кованої бронзи або текстоліту [6]. Для побудови стенду будуть використані кулькові однорядні підшипники другого класу точності, які притаманні конструкціям авіадвигунів.

Також можуть бути застосовані гібридні підшипники виробника SNR Aerospace (де кільця виконані з молібденової сталі, а тіла кочення з кераміки або чистої сталі, виплавленої у вакуумі. З авіаційним мастилом на основі

літєвого мила). Можуть бути застосовані і гїбридні підшипники SKF або NSK [12].

2.6 Вибір датчиків

Вибір лазерного датчика.

Для розробки вимірювального пристрою було обрано високочастотний лазерний віброметричний датчик типу LV-2 (рис. 7.2) [13]. Даний пристрій складається з вимірювальної головки (яка, власне, і буде задіяна у даному вимірювальному апараті), гнучкого кабелю та електронного блоку-перетворювача сигналу.

До властивостей даного пристрою належать наступні [13]:

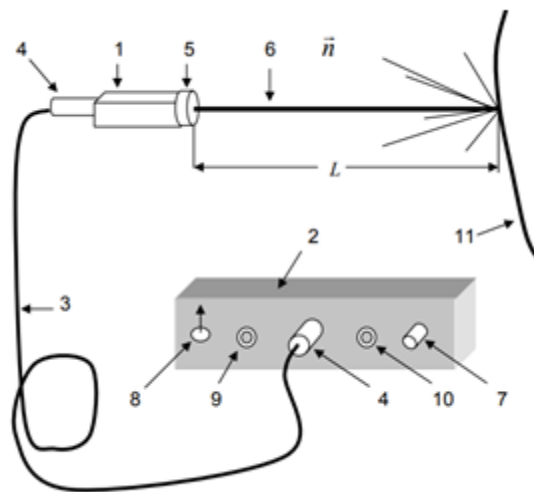
- оперативний контроль та діагностування механізмів для виявлення ресурсу, що залишився;
- зняття інформації з великої кількості пробних точок;
- дослідження високотемпературних об'єктів;
- дослідження малогабаритних об'єктів;
- дослідження поверхонь з низькою густиною та механічною жорсткістю (звукопоглинальні поверхні);
- прецизійні вимірювання параметрів вібрації (віброшвидкість, віброприскорення).



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд віброметричного пристрою LV-2 [13]

Важливими характеристиками такого датчика є максимальна вимірювана частота $f_{max} = 50$ кГц (50000 кол/с) та межі відстані вимірювання $L = (0,01 - 5,0)$ м (рис. 2.4).

Для вимірювального пристрою стенду важливою складовою є вимірювальна оптична головка даного віброметра, габарити якої складають $100 \times 24 \times 24$ мм. Така головка легко розміститься на корпусі вимірювального пристрою у кількості 47 штук.



- 1 – вимірювальна головка; 2 – електронний блок; 3 – сполучний кабель; 4 – рознім МР-10; 5 – об'єктив; 6 – промінь лазера;
 7 – аналоговий вихід, рознім ВНС; 8 – тумблер живлення; 9 – індикація рівня заряду акумулятора; 10 – індикація рівня оптичного сигналу;
 11 – поверхня, яка досліджується.

Рисунок 2.4 – Схема віброметричного пристрою LV-2 [13]

Вибір датчиків кута повороту та частоти обертання.

Для отримання інформації про частоту коливання та її подальшого контролю на електродвигуні та на роторі турбіни має встановлюватись датчик кута повороту, також для узгодження зсуву реєстру лазерних датчиків з частотою обертання робочого колеса, а також відстеження певної лопатки на роторі має бути встановлений датчик кута повороту. Обидві умов задовольняє вибір датчика серії ERM 2484 від виробництва HEIDENHAIN (рис. 2.5) [14].

Вбудований датчик частоти та кута повороту складається з намагніченого вимірювального кільця та зчитуючої головки. Завдяки шкалі типу MAGNODUR та магнітно-резистивному принципу зчитування даний датчик стійкий до забруднень.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд датчика серії ERM 2484 [14]

Даному датчику притаманні наступні параметри [14]:

- | | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| - інтерфейс | змінний струм; |
| - період сигналу | 400 мкм (по периметру); |
| - кількість штрихів | 900 (на повний оберт); |
| - точність шкали | $\pm 10''$; |
| - допустима частота обертання | ≤ 25000 об/хв; |
| - температура експлуатації | від -10 до 100°C . |

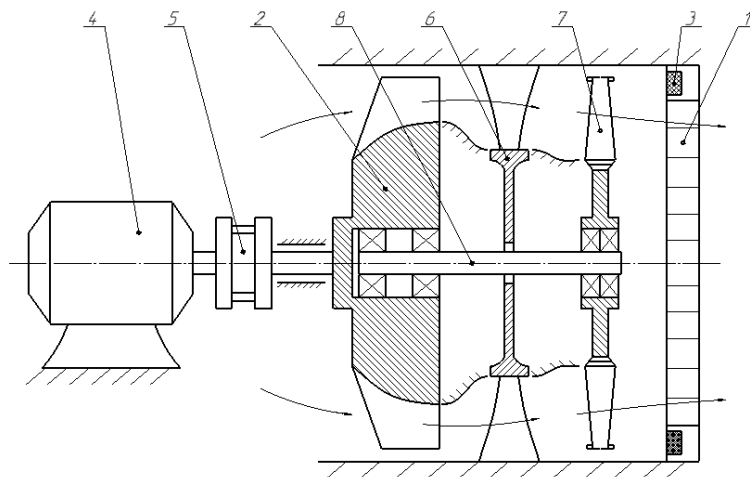
2.7 Вибір муфти

Встановлювати відцентрове колесо на вал електродвигуна недоцільно, оскільки, відхилення від співвісності валів та ротору дасть додаткові навантаження на них, додаткові вібрації, які зроблять неточними дані, та втрату швидкостей обертання. Забезпечити передачу крутного моменту від електродвигуна на вал компресора може муфта. Для розробки стенду використовується евольвентна муфта [31], яка може компенсувати відхилення від співвісності та витримає високі частоти обертання.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДУ

3.1 Принципова схема стенду

Принцип дії повітряно-динамічного стенду (рис. 3.1) полягає у наступному: електродвигун 4 через муфту 5 приводить в дію відцентрове колесо 2, створений при цьому потік повітря під тиском проходить через напрямний апарат 6 та розкручує робоче колесо турбіни 7. Через наявність напрямних лопаток у напрямному апараті, в робочому колесі турбіни виникають коливання робочих лопаток пакетами. Лазерні датчики 3, розташовані у вимірювальному пристрої 1, повинні відстежувати та фіксувати дане явище коливання.



- 1 – вимірювальний пристрій; 2 – відцентрове колесо компресора;
 3 – датчики; 4 – електродвигун; 5 – муфта;
 6 – напрямний апарат; 7 – робоче колесо турбіни; 8 – ротор турбіни.

Рисунок 3.1 – Принципова схема стенду

Деталі та вузли повинні задовольняти умовам міцності та жорсткості, що вплине на жорсткість всієї конструкції стенду. Також забезпечувати відповідну жорсткість мають усі з'єднання вузлів стенду, оскільки це вплине на точність вимірювань у ході експерименту. Під час проектування слід ізолювати конструкцію від впливу можливих зовнішніх коливань.

3.2 Розрахунок робочого колеса компресора стенду

За [9] для розрахунку одноступінчастого відцентрового компресора необхідно задати наступні вихідні дані: продуктивність компресора V_n в м³/с, тиск та температуру газу на всмоктуванні p_n та T_n , кінцевий тиск p_k . Оскільки, компресор стенду має приблизно відтворювати характеристики ГТД АІ-25, то продуктивність $V_n = 37$ м³/с (з перерахунку масової продуктивності $G_B = 45$ кг/с), кінцевий тиск можна визначити з формули ступеня підвищення тиску:

$$\pi_k = \frac{p_k}{p_n}, \quad (3.1)$$

де π_k – ступінь підвищення тиску компресора (для ГТД АІ-25 $\pi_k = 8$, максимально допустиме для однієї ступені відцентрового компресора $\pi_k = 4,5$ [9], тому приймаємо максимально допустиме значення);

p_n – тиск газу (повітря) біля входу компресора, Па (для першої і єдиної ступені компресора стенду він дорівнює тиску повітря $P_0 = 101325$ Па [26]);

p_k – тиск газу на кінці компресора, Па.

З формули (3.1) визначаємо тиск на кінці майбутнього компресора:

$$p_k = p_0 \times \pi_k, \quad (3.2)$$

$$p_k = 101325 \times 4,5 = 455960 \text{ Па.}$$

Температура газу на всмоктуванні компресора стандартна $T_n = 20^\circ$.

Визначення газодинамічних характеристик робочого колеса.

Для визначення стану газу біля входу в робоче колесо задаються швидкістю газу, яка потім уточняється. За відомою максимально допустимою коловою швидкістю u_2 (для авіаційних відцентрових робочих коліс $u_2 = 500$ м/с [9]) визначаємо швидкість газу біля входу компресора:

$$c_0 \approx (0,25 - 0,32) \times u_2, \quad (3.3)$$

$$c_0 = 0,25 \times 500 = 125 \text{ м/с.}$$

Швидкість газу c'_1 до входу на лопатки повинна бути на 5-10% більша, ніж c_0 .

$$c'_1 = 125 + \frac{125 \times 5}{100} = 130 \text{ м/с.}$$

Швидкість c_1 після входу на лопатки визначається зі співвідношення:

$$c_1 = \frac{c'_1}{\tau_1}, \quad (3.4)$$

де τ_1 – коефіцієнт, що враховує зменшення вхідного перерізу, викликане наявністю лопаток, $\tau_1 = 0,8 \div 0,85$ [9].

$$c_1 = \frac{130}{0,85} = 152 \text{ м/с.}$$

Оскільки тиск p_H та температура T_H відносяться до стану газу при $c = 0$, (у даному випадку до атмосферного повітря), то зниження ентальпії та температури унаслідок збільшення швидкості до c_1 визначиться з рівнянь:

$$\Delta i_1 = i_H - i_1 = \frac{c_1^2}{2}, \quad (3.5)$$

$$\Delta T_1 = \frac{c_1^2}{2c_p}, \quad (3.6)$$

де i_H, i_1 – показники ентропії на вході компресора та виході відповідно;
 c_p – питома теплоємність газу, Дж/кгград (у даному випадку для повітря $c_p = 1010$ Дж/кгград [26]).

$$\Delta i_1 = \frac{152^2}{2} = 11552,$$

$$\Delta T_1 = \frac{152^2}{2 \times 1010} = 11^\circ \text{C}.$$

За малих втрат у всмоктуючій камері процес розширення можна наближено порівняти з ізоентропічним. Тоді тиск при швидкості c_1 визначиться з рівняння:

$$p_1 = p_H \times \left(\frac{T_1}{T_H}\right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (3.7)$$

де k – показник адіабати (для повітря $k = 1,4$ [26]);

T_1 – температура повітря на швидкості c_1 , град, визначається за формулою (3.8):

$$T_1 = T_H - \Delta T_1, \quad (3.8)$$

$$T_1 = 20 - 11 = 9^\circ\text{C},$$

$$p_1 = 101325 \times \left(\frac{9}{20}\right)^{\frac{1,4}{1,4-1}} = 6194 \text{ Па}.$$

Задаючись за експериментальними даними для схожих конструкцій величиною політропічного К.К.Д. на розрахунковому режимі $\eta_{\text{пол}} = 0,78 \div 0,85$ [9], визначаємо число політропи:

$$\sigma = \frac{k}{k-1} \times \eta_{\text{пол}}, \quad (3.9)$$

$$\sigma = \frac{1,4}{1,4-1} \times 0,8 = 2,8.$$

За заданим кінцевим тиском p_k температура в кінці стискання може бути приблизно визначена за формулою (3.9):

$$T_k = T_1 \times \left(\frac{p_k}{p_1}\right)^{\frac{1}{\sigma}}, \quad (3.10)$$

$$T_k = 9 \times \left(\frac{455960}{6194}\right)^{\frac{1}{2,8}} = 42^\circ\text{C}.$$

Робота політропного стискання:

$$l_{\text{пол}} = \sigma \times R \times (T_k - T_1), \quad (3.11)$$

де R – питома газова стала, (для повітря $R = 287$ Дж/кгК [26]).

$$l_{\text{пол}} = 2.8 \times 287 \times (42 - 9) = 26520 \text{ Дж/кг}.$$

Ефективна робота:

$$l_{\text{еф}} = l_{\text{пол}} + \Delta K, \quad (3.12)$$

де

$$\Delta K = \frac{c_k^2 - c_1^2}{2}, \quad (3.13)$$

де c_k – швидкість газу на виході з компресора, м/с (для першого розрахунку приймаємо меншою за c_1 , $c_k = 130$ м/с).

$$\Delta K = \frac{130^2 - 152^2}{2} = -3102 \text{ Дж/кг},$$

$$l_{\text{еф}} = 26520 + (-3102) = 24768 \text{ Дж/кг}.$$

Повна внутрішня робота (без механічних втрат у підшипниках):

$$l_0 = i_k - i_1 + \Delta K = \frac{k}{k-1} \times R \times (T_k - T_1) + \Delta K, \quad (3.14)$$

$$l_0 = \frac{1.4}{1.4-1} \times 287 \times (42 - 9) + (-3102) = 30047 \text{ Дж/кг}$$

де i_1, i_k – показники ізотропи на швидкості c_1 та кінці компресора відповідно.

Внутрішній к.к.д.:

$$\eta_i = \frac{l_{\text{еф}}}{l_0} = 1 - (1 - \eta_{\text{пол}}) \times \frac{l}{l_0}, \quad (3.15)$$

де

$$l = i_k - i_1 \quad (3.16)$$

$$\eta_i = \frac{24768}{30047} = 0,82 .$$

Газодинамічний к.к.д.:

$$\eta_h = \alpha \times \eta_i , \quad (3.17)$$

де α – газодинамічний коефіцієнт (для попереднього розрахунку приймається $\alpha = 1,02 \div 1,05$).

$$\eta_h = 1,03 \times 0,82 = 0,85.$$

За обраним типом ступені компресора (кут лопаток $\beta_{2л}$, тип дифузора), визначаємо коефіцієнт закручення:

$$\varphi_{2\infty} = 1 - \varphi_{2r} \times \text{ctg} \beta_{2л}, \quad (3.18)$$

де $\beta_{2л}$ – кут лопаток робочого колеса компресора, град. (для ступенів авіаційного типу $\beta_{2л} = 90^\circ$, тобто прямі лопатки [9]);

$\varphi_{2\infty}$ – коефіцієнт втрат у дифузори (для компресорів авіаційного типу дифузор береться безлопатковий, $\varphi_{2\infty} = 0,25 \div 0,32$ [9]).

$$\varphi_{2\infty} = 1 - 0,28 \times \text{ctg}90 = 1.$$

Коефіцієнт закручення при скінченній кількості лопаток:

$$\varphi_2 = \mu \times \varphi_{2\infty}, \quad (3.19)$$

де μ – коефіцієнт циркуляції, який визначається за поправкою Стодоли:

$$\mu = 1 - \frac{\pi}{z} \times \sin\beta_{2л}, \quad (3.20)$$

де z – кількість лопаток робочого колеса компресора (оптимально ефективна кількість приймається 24 за [9]).

$$\mu = 1 - \frac{3,14}{24} \times \sin 0 = 1.$$

$$\varphi_2 = 1 \times 1 = 1.$$

Коефіцієнт напору:

$$\psi = \eta_h \times \varphi_2, \quad (3.21)$$

$$\psi = 0,85 \times 1 = 0,85.$$

Робота по Ейлеру:

$$l_e = \frac{l_0}{\alpha}, \quad (3.22)$$

$$l_e = \frac{30047}{1,03} = 29172 \text{ Дж/кг.}$$

Необхідна колова швидкість:

$$u_2 = \sqrt{\frac{l_{e\phi}}{\psi}}, \quad (3.23)$$

або

$$u_2 = \sqrt{\frac{l_e}{\varphi_2}}, \quad (3.24)$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{24768}{0,85}} = \sqrt{\frac{29172}{1}} = 171 \text{ м/с.}$$

Отже, необхідна колова швидкість 171 м/с менша за максимально допустиму для відцентрових коліс авіаційних компресорів 500 м/с, це свідчить про правильність виконання розрахунку та доцільність даного робочого колеса компресора стенду. Дивлячись на те, що отримана колова швидкість значно менша максимально допустимої, для побудови відцентрового колеса можна підвищити значення даної швидкості до 250 м/с. У зв'язку з обмеженою ступеню підвищення тиску слід вдвічі зменшити витрати повітря з 37 м³/с до 18 м³/с.

Визначення діаметру входу в колесо.

За [9] шляхом приведення пропонується формула для розрахунку діаметру входу повітря в відцентрове колесо:

$$D_0 = 3,25 \times \sqrt[3]{\frac{V_H \times k_c}{n \times (1 - \xi^2) \times k_D \times k_{v_0}}}, \quad (3.25)$$

де

$$3,25 = \sqrt[3]{\frac{4 \times 60 \times \sqrt{2}}{\pi^2}}, \quad (3.26)$$

V_H – об'єм повітря, що всмоктується, віднесений до початкових умов, $\text{м}^3/\text{с}$ (прийнята величина $V_H = 18 \text{ м}^3/\text{с}$);

k_c – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря (приймається $k_c = 1,15$ [9]);

n – стала визначена частота обертів відцентрового колеса (приймається $n = 15000 \text{ хв}^{-1}$);

ξ – величина, яку враховують з конструктивних рішень (для першого або єдиного колеса у компресорі приймається $\xi = 0,5$);

k_D – коефіцієнт, що враховує оптимальність обраного діаметру входу колеса з конструктивних рішень ($k_D = 1,05$ [9]);

k_{v_0} – коефіцієнт, що враховує, наскільки збільшується питомий об'єм повітря, що всмоктується при розширенні у зв'язку з підвищенням його швидкості (приймається $k_{v_0} = 0,95$ [9]).

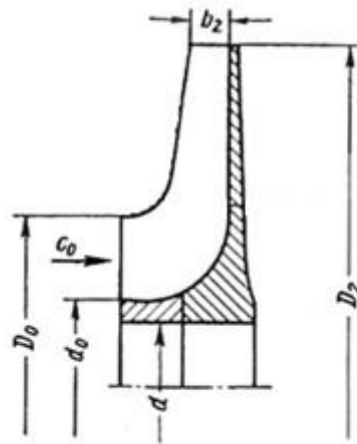


Рисунок 3.2 – Загальна схема позначення розмірів відцентрового колеса [9]

$$D_0 = 3,25 \times \sqrt[3]{\frac{18 \times 1,15}{15000 \times (1 - 0,5^2) \times 1,05 \times 0,95}} = 0,123 \text{ м.}$$

Отриманий діаметр округлюємо до $D_0 = 0,140 \text{ м}$.

Зовнішній діаметр колеса, виходячи з умов міцності:

$$D_2 = \frac{60 \times u_2}{\pi \times n}, \quad (3.27)$$

$$D_2 = \frac{60 \times 250}{3,14 \times 15000} = 0,318 \text{ м.}$$

Отриманий зовнішній діаметр округлюємо до конструктивно прийняттого розміру $D_2 = 0,320$ м.

Із залежності (3.28) можна визначити зовнішній діаметр колеса, прийнявши сталу величину:

$$D_2 = C_D \times \sqrt{\frac{V_H}{u_2}}, \quad (3.28)$$

де C_D – стала величина (прийнята $C_D = 1,2$).

тоді

$$D_2 = 1,2 \times \sqrt{\frac{18}{250}} = 0,322 \text{ м.}$$

Оскільки для визначення частоти обертів застосовується відома формула (3.29):

$$n = \frac{60 \times u_2}{\pi \times D_2}, \quad (3.29)$$

то спираючись на рівняння (3.28) можна отримати наступну залежність числа обертів від продуктивності:

$$n = C_n \times \frac{u_2^{\frac{3}{2}}}{V_H^{\frac{3}{2}}}, \quad (3.30)$$

де C_n – стала величина, яка дорівнює:

$$C_n = \frac{60}{\pi \times C_D}, \quad (3.31)$$

$$C_n = \frac{60}{3,14 \times 1,2} = 15,9,$$

$$n = 15,9 \times \frac{250^{\frac{3}{2}}}{18^{\frac{1}{2}}} = 14814 \text{ хв}^{-1}.$$

Ширина робочого колеса на вході:

$$b_1 = \frac{V_H}{\pi \times D_0 \times \tau_1 \times c_{1r} \times k_{v1}}, \quad (3.32)$$

$$b_2 = \frac{V_H}{\pi \times D_2 \times \tau_2 \times c_{2r} \times k_{v2}}, \quad (3.33)$$

де τ_1 та τ_2 – коефіцієнти, що враховують зменшення площі в циліндричних перерізах при вході потоку на лопатки та виході з колеса відповідно, зумовлене наявністю лопаток;

k_{v1} та k_{v2} – коефіцієнти, що враховують зміну питомого об'єму повітря, які визначаються зі співвідношень:

$$k_{v1} = \frac{v_H}{v_1} \approx k_{v0}, \quad (3.34)$$

$$k_{v2} = \frac{v_H}{v_{2k}} = \frac{v_H}{v_1} \times \frac{v_1}{v_{2k}} = k_{v1} \times \frac{v_1}{v_{2k}}, \quad (3.35)$$

де v_H , v_1 , v_{2k} – питомі об'єми повітря відповідно при початкових умовах, вході на лопатки робочого колеса та виході з нього, м³/кг.

Питомий об'єм повітря за станом за робочим колесом компресора:

$$\frac{v_{2k}}{v_1} = \left(\frac{T_1}{T_{2k}} \right)^{\sigma-1}, \quad (3.36)$$

де T_{2k} – температура газу за робочим колесом:

$$T_{2k} = T_1 + \frac{1}{c_p} \times \left(\frac{l_{e\phi}}{\eta_i} - \frac{c_{2r}^2 - c_{1r}^2}{2} \right), \quad (3.37)$$

де c_{1r} , c_{2r} – дійсні швидкості повітря на вході та виході з робочого колеса компресора, м/с (враховуючи нову встановлену колову швидкість та з перерахунком за формулою (3.4) $c_{1r} = 78$ м/с), c_{2r} визначається за формулою:

$$\sigma - 1 = \frac{1}{n-1}, \quad (3.38)$$

$$c_{2r} = \varphi_{2r} \times u_2, \quad (3.39)$$

$$c_{2r} = 0,28 \times 250 = 70 \text{ м/с.}$$

$$T_{2k} = 9 + \frac{1}{1010} \times \left(\frac{24768}{0,82} - \frac{70^2 - 78^2}{2} \right) = 39^\circ \text{C.}$$

$$\frac{v_{2k}}{v_1} = \left(\frac{9}{39} \right)^{\frac{1}{15000-1}} = 1.$$

Приймаємо коефіцієнти $k_{v1} = 1$, $k_{v2} = 1$.

Коефіцієнти $\tau_1 = 0,85$ та $\tau_2 = 0,95$ [9].

$$b_1 = \frac{18}{3,14 \times 0,130 \times 0,85 \times 78 \times 1} = 0,066 \text{ м,}$$

$$b_2 = \frac{18}{3,14 \times 0,320 \times 0,95 \times 70 \times 1} = 0,027 \text{ м.}$$

Приймаємо наступні ширини для колеса: $b_1 = 0,070$ м, $b_2 = 0,030$ м.

Діаметр валу. Діаметр валу обирають по діаметру втулки:

$$d = d_0 - (10 \div 30) \text{ мм,} \quad (3.40)$$

де величина d_0 визначається за формулою (3.41):

$$d_0 = D_0 \times \xi, \quad (3.41)$$

$$d_0 = 140 \times 0,6 = 85 \text{ мм},$$

$$d = 85 - 30 = 55 \text{ мм}.$$

Потужність на валу компресора:

$$N_e = \frac{m \times l_{\text{ef}}}{10^3 \times \eta_i \times \eta_{\text{мех}}} = \frac{m \times l_0}{10^3 \times \eta_{\text{мех}}}, \quad (3.42)$$

де m – масова продуктивність компресора, кг/с (у перерахунку зі встановленої об’ємної продуктивності $V_H = 18 \text{ м}^3/\text{с}$ – $m = 22 \text{ кг/с}$);

$\eta_{\text{мех}}$ – коефіцієнт, що враховує механічні втрати у підшипниках, приймається $\eta_{\text{мех}} = 0,97$ [9]. Приведемо потужність до $m = 1 \text{ кг/с}$:

$$N_e = \frac{1 \times 24768}{10^3 \times 0,82 \times 0,97} = 31 \text{ кВт}.$$

Як видно з потужності, для запуску стенда необхідний електродвигун з потужністю, не меншою, ніж потужність на валу компресора. За отриманими даним необхідно орієнтуватись при виборі привода для стенду.

За [6] обираємо товщину лопаток, радіуси округлень, товщину диску на периферії та інші розміри, необхідні для побудови креслення відцентрового колеса. У якості матеріалу для виготовлення відцентрового колеса використовується титановий сплав ВТ8-1.

3.3 Визначення власної частоти коливання досліджуваної лопатки

Даний розрахунок проводиться для орієнтування на діапазон частот коливань, в межах якого необхідно починати вимірювання, та налаштувати датчики.

На лопатки газових турбін, як і на лопатки осьових компресорів, діють під час роботи двигуна сили, що змінюються періодично. Якщо часто збуджуваних коливань співпадає з частотою власних коливань лопаток, то виникає явище резонансу. Таке явище неминуче викликає руйнування лопаток, а значить – і виходу всього авіадвигуна із ладу. Лопатка третьої ступені турбіни низького тиску ТРД АІ-25 має складний, змінний по площі, переріз.

Для порівняння експериментально отриманих даних про частоти власних коливань з розрахунковими, необхідно провести розрахунок останніх.

Колівання лопаток поділяються на певні групи (форми) або види коливань. Найпоширенішими серед них є 1, 2, 3 та 4 форми (рис. 3.3). Найбільш впливовою може бути перша форма, котра призводить до поломки лопатки біля її кореня та особливо актуальна в даній роботі, оскільки, такі коливання будуть викликані під час роботи за рахунок наявності соплового апарату. Інші форми коливань збільшуються за частотою по мірі зростання їх ступеня найменування, також є небезпечними, не менш за першу, коли вони входять в резонанс зі збуджуючими (вимушеними) коливаннями.

Площа та момент інерції поперечного перерізу лопатки можуть змінюватись вздовж її довжини за різним законом. Даний розрахунок буде проведено за усталеним більш розповсюдженим законом, де площа і момент інерції змінюються по довжині лопатки лінійно [6]:

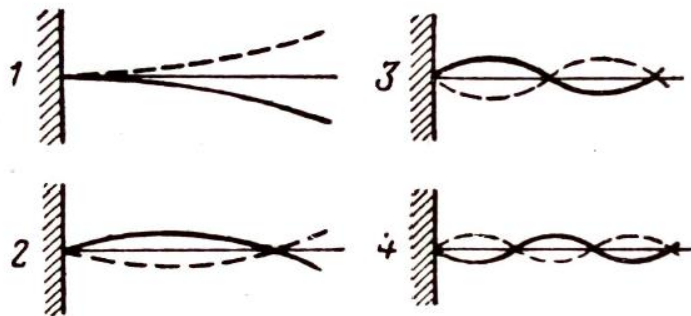


Рисунок 3.3 – Перші 4 форми згинальних коливань [6]

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F_k \times \left(1 - c \times \frac{x}{l}\right) \\ J_x &= J_k \times \left(1 - c \times \frac{x}{l}\right), \end{aligned} \right\} \quad (3.43)$$

де F_k та J_k – площа та момент інерції поперечного перерізу кореневого перерізу, а відстань x відміряється від закріпленого кінця лопатки. У такому випадку відношення J/F лишається сталим;

c – згинальна жорсткість лопатки (в Н/см), або величина вантажу, яка дає деформацію, рівну одиниці.

Частота при першій формі коливань визначається за формулою С. П. Тимошенко [25]:

$$f = \frac{\alpha}{l^2} \times \sqrt{\frac{E \times J_k}{\rho \times F_k}}, \quad (3.44)$$

де l – довжина робочої частини лопатки, см, (тут $l = 7$ см); α – коефіцієнт пропорційності, що залежить від величини:

$$c = \frac{F_k - F_B}{F_k} = \frac{J_k - J_B}{J_k}, \quad (3.45)$$

де F_B , J_B – площа та момент інерції поперечного перерізу при вершині лопатки відповідно;

$\frac{E}{\rho}$ – відношення модуля пружності матеріалу лопатки до густини даного матеріалу (для титанового сплаву $\frac{E}{\rho} = 2,48 \times 10^8$ [6]).

Площі перерізів лопатки та моменти інерції визначимо на електронній моделі реальної лопатки у програмному забезпеченні «КОМПАС 3D».

За схемою (рис. 3.4) визначаємо площу перерізу та момент інерції:

Площі перерізів біля кореня та при вершині лопатки:

$$F_k = 0,395 \text{ см}^2, F_g = 0,289 \text{ см}^2.$$

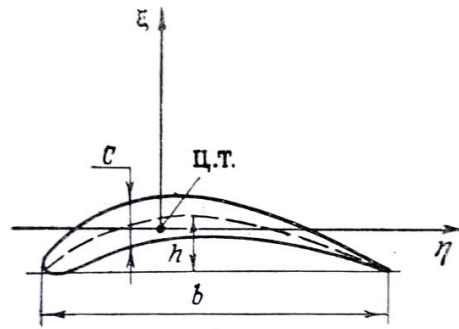


Рисунок 3.4 – До розрахунку площі та моменту інерції перерізу [6]

Для визначення моменту інерції перерізу застосуємо наступну формулу [9]:

$$J \cong 0,04 \times b \times c^3 \times (1 + q^2), \quad (3.46)$$

де c – (тут) максимальна товщина профілю лопатки, см;

b – найбільший розмір профілю перерізу лопатки, см;

q – залежність висоти середньої лінії профілю від його найбільшої товщини:

$$q = \frac{h}{c}, \quad (3.47)$$

Для перерізу при вершині лопатки значення будуть наступними:

$$q = \frac{0,262}{0,20} = 1,31 \text{ см},$$

$$J_B \cong 0,04 \times 1,964 \times 0,20^3 \times (1 + 1,31^2) = 0,0017 \text{ см}^4,$$

Момент інерції перерізу біля кореня $J_K = 0,0051 \text{ см}^4$.

$$c = \frac{0,395 - 0,289}{0,395} = 0,27.$$

За графіком залежності $\alpha = f(c)$ обираємо коефіцієнт пропорційності $\alpha = 19$ [6].

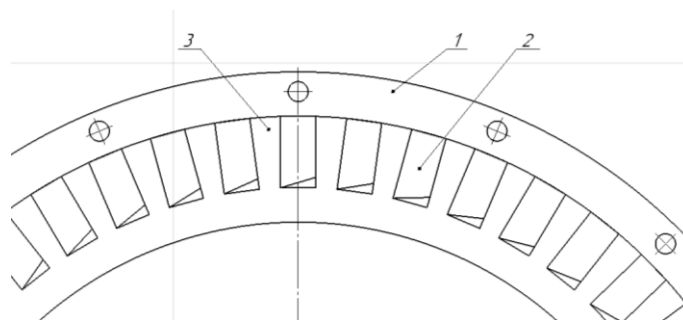
Розраховуємо частоту власних коливань 1 форми:

$$f = \frac{19}{7^2} \times \sqrt{\frac{2,48 \times 10^8 \times 0,0051}{0,395}} = 694 \text{ Гц (кол/с)}.$$

Даний метод визначення (Релея) дає наближено точно значення частоти власних коливань, існують також й інші методи, що будуть точнішими на 1 – 1,5 % мінімум, проте, для даної роботи необхідно знати хоча б приблизно, в яких діапазонах значень можуть знаходитись ці частоти для конкретних лопаток, які будуть задіяні в експерименті. Оскільки, розрахунок проводився для однієї лопатки, то у бандажованому кільці частота власних коливань лопаток буде меншої, оскільки у такому випадку вона буде розглядатись як балка на двох опорах.

3.4 Розробка вимірювального пристрою

Вимірювальний пристрій у стенді, що розробляється, призначено для фіксування датчиків у нерухомому стані, які будуть зчитувати інформацію про стан лопаток. Також у даному пристрої передбачається стакан для підшипника ротора робочого колеса турбіни, це дасть змогу зменшити габарити всього стенду в цілому. Також таке виконання колектору вимірювального пристрою робить неможливим запуск стенду без його наявності та наявності захисного кожуху робочого колеса турбіни, що підвищує рівень безпеки під час експлуатації даної установки.



1 – фланець; 2 – паз для встановлення датчика; 3 – тіло корпусу.

Рисунок 3.5 – Принципова схема колектору вимірювального пристрою

Конструкція колектору вимірювального апарату (рис. 3.5) складається з фланцю 1 для з'єднання його зі стендом, тіла корпусу 3 (основної несучої частини) та пазів (відповідно до розмірів корпусу датчика) 2 для встановлення датчиків. У радіальному напрямку на торцях пазів передбачається по два різьбових отвори розміру М3 для закріплення датчиків. Кількість пазів колектору повинна бути пропорційно рівна кількості лопаток робочого колеса, що досліджується. Для даного випадку кількість пазів становить 47.

Зовнішні розміри вимірювального пристрою обмежуються розміром робочого колеса, що досліджується та конструктивною доцільністю. Це стосується і розміру напрямної потоку повітря всередині колектору. Середній діаметр розташування датчиків обирається також конструктивним чином, проте, з урахуванням висоти робочої лопатки, що досліджується та висоти розташування променя датчика на лопатці.

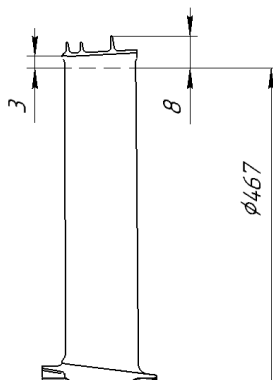
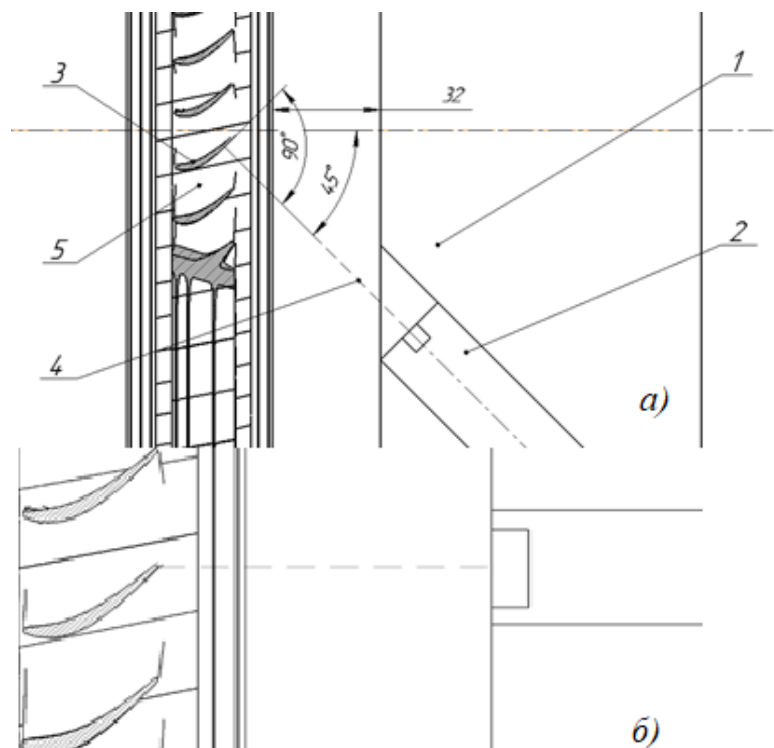


Рисунок 3.6 – Схема визначення площини вимірювання

Точкою для вимірювання обирається задній край пера лопатки під бандажною полицею, на відстані 3 мм від її верхньої точки (рис. 3.6).

Даний вибір спрямування променю лазера (рис. 3.7,б) зроблено з урахуванням форми коливань та коливання бандажованих лопаток групою в осьовому напрямку. Проте, розглядаються також й інші варіанти спрямування, такі як спрямування променю на перо лопатки під прямим кутом (рис. 3.7,а), а також спрямування променю на торець бандажної полиці, що потягне за собою і деякі зміни в конструкції колектору.

В якості матеріалу для розробки колектору вимірювального апарату необхідно і достатньо буде використати конструкційну сталь 45, оскільки алюмінієві сплави не забезпечать достатньої жорсткості конструкції, оскільки, вимірювальний апарат також виконує й роль задньої опори стелу.



1 – корпус вимірювального пристрою; 2 – лазерний датчик; (вимірювальна головка); 3 – робоча лопатка; 4 – спрямований лазерний промінь; 5 – робоче колесо турбіни.

Рисунок 3.7 – Схеми спрямування скануючих променів:
 а) спрямування променю під прямим кутом до пера лопатки;
 б) спрямування променю на перо лопатки паралельно осі ротора.

3.5 Розробка напрямного апарату

Серед розглянутих конструкцій у розділі 1 оптимальним рішенням було прийнято розробити напрямний апарат спрощеної конструкції, який буде складатись із зовнішнього кільця, внутрішнього кільця та напрямних лопаток. Обидва кільця повинні мати фланці для приєднання апарату до основної конструкції стенду. Кількість лопаток у напрямному апараті відповідає кількості лопаток у такому ж апараті третьої ступені турбіни низького тиску ГТД АІ-25.

Напрямна лопатка повинна спрямовувати повітряний потік на робочу лопатку турбіни під кутом, кутом атаки (для ефективної роботи колеса турбіни він повинен бути близьким до прямого) (рис. 3.8). Такий кут атаки забезпечить найбільш ефективну роботу колеса. Також слід керуватись умовою про відстань між напрямною та робочою лопатками, яка має знаходитись у діапазоні (12 – 17) мм [6].

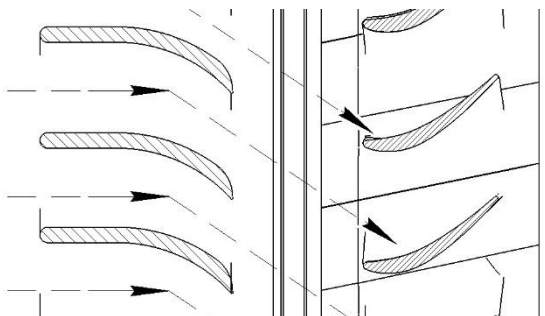


Рисунок 3.8 – Схема спрямування потоку повітря напрямними лопатками

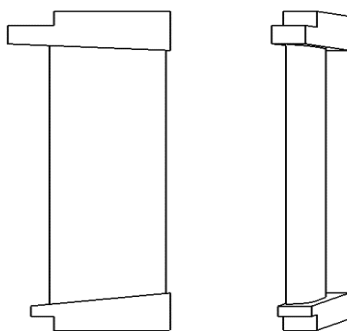
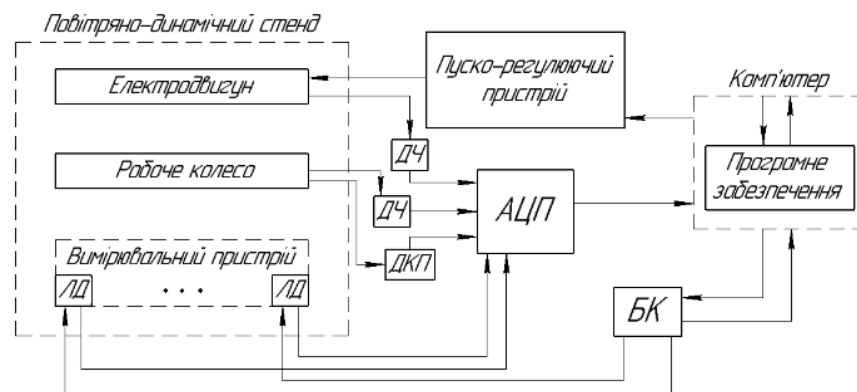


Рисунок 3.9 – Ескіз напрямної лопатки спрощеної конструкції, що розробляється

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Опис зв'язків системи «стенд-комп'ютер»

Як було описано у розділі 2, датчики частоти обертання (таходатчики) необхідні на валу відцентрового колеса (або на валу електродвигуна) для контролю частоти його обертання, на роторі робочого колеса з лопатками, які досліджуються – для контролю частоти, при якій буде проводитись дослідження, а також для фіксування даної частоти комп'ютером для посилення команд на блок керування вимірювального пристрою. Датчик кута повороту, встановлений на роторі робочого колеса турбіни призначений для слідкування за положенням обраної і-тої лопатки таким же і-тим каналом зв'язку датчиків вимірювального пристрою.



АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ДЧ – датчик частоти;
ДКП – датчик кута повороту; БК – блок керування;
ЛД – лазерні датчики.

Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритму роботи стенду та його зв'язок з комп'ютером

Як видно зі схеми зв'язків (рис. 4.1), сигнали від усіх датчиків спрямовані до АЦП, який перетворює їх у дискретний код, зрозумілий для ЕОМ (електронної обчислювальної машини). Дана система має зворотні зв'язки, що

дозволяє контролювати частоту обертів валів, визначати кут положення робочого колеса, що досліджується.

4.2 Логіка блоку керування

Блок керування, зображений на блок-схемі (рис. 4.1), призначений для контролю та керування лазерними датчиками. У цьому полягає принцип роботи вимірювального пристрою. Під час обертання робочого колеса турбіни за допомогою датчика кута повороту можна слідкувати за положенням умовної точки на робочому колесі, наприклад, за i -тою лопаткою. Якщо підключити лазерні датчики напряму до обчислювальної машини – конкретної інформації не буде отримано, частота обертання колеса висока, комплекс датчиків буде фіксувати лише випадкові величини. За допомогою блоку керування можна впорядкувати роботу вимірювального пристрою. Логіка блоку полягає у постійному зсуві реєстру на одиницю. Такий зсув повинен відбуватися за встановленою умовою:

$$\frac{1}{360^\circ/47} = \frac{1}{7,66^\circ} \quad (4.1)$$

де 360 – повний оберт робочого колеса турбіни, градус;

47 – кількість пар лопаток на робочому колесі турбіни.

Як видно з рівняння (4.1), один зсув реєстру повинен відбуватися після кожного повороту робочого колеса на $7,66^\circ$. Таким чином відбуватиметься фіксування кожної другої лопатки. Це значить, що якщо i -тий визначений лазерний віброметричний датчик у даний момент часу фіксує i -ту лопатку у певному положенні і сигнал від датчика надходить до ЕОМ по i -му каналу АЦП, то в наступний момент часу, коли i -та лопатка повернеться на кут $7,66^\circ$, на i -тий канал зв'язку АЦП буде надходити сигнал від i -тої лопатки, яку зчитує вже датчик $i+1$ (тобто наступний). Таке правило повинно виконуватись для всіх 47 датчиків одночасно. Для зменшення затримки передачі сигналу слід застосувати

паралельне підключення АЦП до ЕОМ. За рахунок встановленого на робоче колесо турбіни датчика частоти, блок керування повинен вирівнювати частоту зсуву реєстрів з частотою обертання ротора турбіни. Також блок керування повинен мати можливість компенсувати затримку сигналу у реальному часі, пов'язану з недосконалістю провідників, наявністю в них електричного опору та опору в системах керування.

4.3 Програмне забезпечення для обробки даних на ЕОМ

Для отримання та обробки результатів отриманих даних у ході експерименту, а також правильного їх відображення на обчислювальній машині, необхідно застосувати спеціальне програмне забезпечення, а за його відсутності – розробити нове.

Програмне забезпечення для обробки даних, отриманих у ході експерименту, повинно задовольняти наступним умовам:

- реєстрація і запис даних у реальному часі;
- можливість підключення АЦП різного типу;
- можливість роботи в багатоканальному режимі;
- запис і обробка даних;
- виведення на екран даних у різних формах відображення;
- коригування еталонних значень перед початком роботи;
- можливість керування частотами електродвигуна (додаткова опція);
- можливість управління блоком керування вимірювального пристрою;
- можливість компенсувати похибки вимірювання та затримки сигналу;
- можливість роботи з паралельно підключеними кількома АЦП;
- можливість відображення колових діаграм коливання лопаток;
- керування режимами роботи стенду.

У процесі проектування було розглянуто два програмних забезпечення, які могли б підійти для вирішення даної задачі. Програмне забезпечення L-Graph [27] не підходить в цілому, оскільки призначене для обробки даних, отриманих лише з АЦП типу L-Card, обмежує область його застосування, проте, також не

підходить і спосіб відображення сигналу на екрані, оскільки в програмі він лише один і має вигляд скоріше діапазону значень, аніж точне значення. Друге програмне забезпечення має достатньо широку область застосування – це PowerGraph [28].

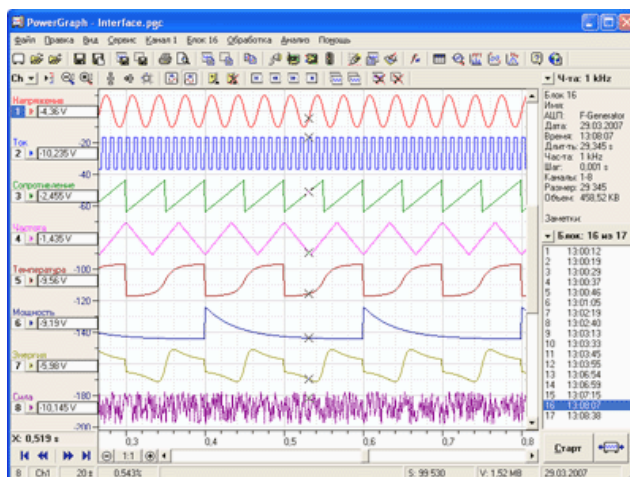


Рисунок 4.2 – Вигляд інтерфейсу програмного забезпечення PowerGraph [28]

Більшу частину умов програма PowerGraph здатна задовольнити, оскільки має наступні можливості [28]:

- збір даних з різноманітних пристроїв та приладів;
- реєстрація, візуалізація та обробка сигналів у режимі реального часу;
- збереження, редагування, математична обробка та аналіз даних.

Також додатково PowerGraph має наступні можливості:

- підтримка будь-яких швидкостей запису;
- необмежений розмір даних, що реєструються;
- запис довільного набору каналів (до 32) – необхідно збільшити до 50;
- програмна і апаратна синхронізація збору даних;
- використання індивідуальних налаштувань для кожного типу вимірювань.

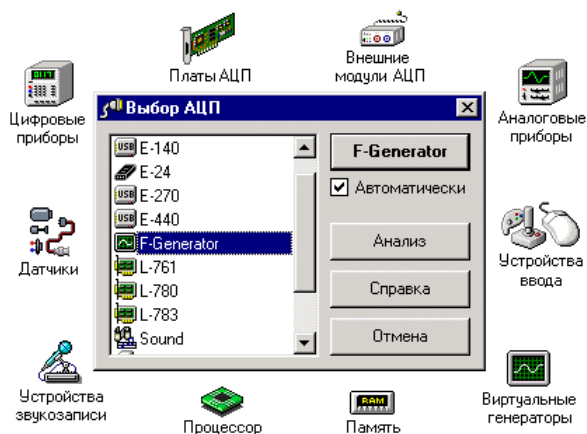


Рисунок 4.3 – Зображення підключення можливих пристроїв до програми PowerGraph [28]

Якщо взяти програмний продукт PowerGraph за основу для розробки ПЗ для обробки даних, отриманих зі стенду, то необхідно провести певні доробки, такі як відображення даних у вигляді кільцевого графіку коливань лопаток колеса турбіни. Наприклад, як зображено на рис. 4.4:

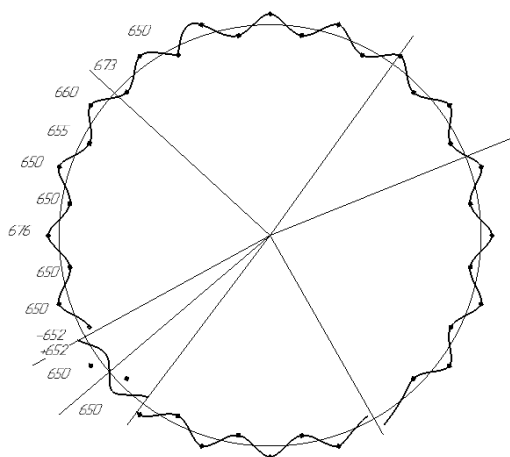


Рисунок 4.4 – Приклад відображення даних у вигляді кільцевого графіку коливання лопаток

Таке відображення даних у реальному часі зможе дати інформацію і про кількість пакетів лопаток, і про кількість лопаток в кожному пакеті окремо, про що можна судити по суттєвим різницям частот сусідніх лопаток, а також коливання крайніх лопаток сусідніх пакетів у протифазі. Проте, якщо різницю

частот крайніх лопаток двох пакетів можна спостерігати без проблем, за умови, якщо в них різні частоти коливання, то належність до різних пакетів лопаток, які коливаються з однаковою частотою у протифазі, може бути випущеною з виду. Оскільки, система покаже, що лопатки коливаються з однаковою частотою і не більше того. Тому, слід врахувати періоди коливань сусідніх пакетів та період розриву між крайніми лопатками, коли коливання не спостерігаються. Для цього є необхідним і достатнім виконання умови 4.2:

$$T > T_1 = T_2, \text{ якщо } f_1 = f_2. \quad (4.2)$$

де T – період розриву між крайніми лопатками сусідніх пакетів;

T_1, T_2 – періоди коливань сусідніх пакетів лопаток.

В програмне забезпечення, що розробляється, має бути додана можливість маніпулювання та налаштування блоку керування вимірювального пристрою. Це дасть змогу узгоджувати та вирівнювати частоту обертання ротору турбіни (за наявності на ньому датчиків руху та положення) з частотою зсуву реєстрів каналів зв'язку АЦП (або це ще можна назвати логічним переслідуванням лопаток). Шлях проходження даних від датчика до зображення на екрані можна зобразити у вигляді схеми (рис. 4.5):



Рисунок 4.5 – Схема шляху проходження даних

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Тема дипломного проекту: «Розробка стенду для дослідження коливань пакетів лопаток турбомашин». Протягом виконання дипломного проекту розробляється стенд – установка для дослідження коливань лопаток турбін авіадвигунів, яка складається з електродвигуна, компресора (який розраховується у розділі 3), електроніки та комп'ютерної техніки для контролю та керування процесами роботи, вимірювальних лазерних датчиків, корпусу. Проводиться розробка вимірювального пристрою для визначення частот коливання лопаток ГТД. Розглянуто основні потенційні небезпеки (небезпечні та шкідливі фактори, що можуть виникати протягом складання конструкції, її випробування та приведення в експлуатацію в цілому). За природою дії на організм людини дані фактори можна поділити на фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні та пов'язані з порушеннями санітарно-гігієнічних умов, правил пожежної безпеки, проявом наслідків надзвичайних ситуацій. Кожній переліченій групі факторів притаманні певний вид небезпеки, причини її прояву, небажані наслідки у результаті негативного впливу на здоров'я людини.

Під час складання конструкції стенду та приведення його в експлуатацію можливі наступні фізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- ураження електричним струмом під час монтажу чи експлуатації стенду, пов'язане з порушенням правил електробезпеки чи відсутністю захисного заземлення;
- травмування кінцівок від падіння підвішеної конструкції стенду, у разі невиконання правил з техніки безпеки під час монтажу та експлуатації підвісних установок, поганого її закріплення та неперевірених вчасно з'єднань;
- травмування відкинутими рухомими частинами під час запуску стенду, у зв'язку з незакріпленням їх належним чином;

- травмування верхніх кінцівок від робочих коліс, що обертаються, у разі невстановлених захисних сіток;
- травмування від вибуху електрообладнання у разі неправильного його монтажу та недотримання правил електробезпеки;
- порушення зорової функції від прямого потрапляння в очі лазерних променів датчиків у разі порушення правил лазерної безпеки;
- порушення зорової активності від довгого перебування біля моніторів у разі недотримання правил роботи з комп'ютерної технікою;
- травмування опорно-рухового апарату людини під час підняття важких деталей масою понад 10 кг, у зв'язку з невикористанням допоміжних підйомних засобів;
- порушення слухової функції від високочастотного шуму компресора, у разі проведення дослідів без засобів захисту.

Потенційні небезпеки біологічного характеру:

- порушення зорової функції від потрапляння мастильних речовин під час запуску та експлуатації стенду, у зв'язку з недотримання правил техніки безпеки під час експлуатації даних установок або через надмірне використання мастильних засобів;
- отруєння при потрапленні розпилених мастильних речовин в дихальні шляхи у разі надмірного їх використання та недотримання правил гігієни дихальних шляхів під час випробування установок;
- отруєння речовинами, що виділяються під час загоряння комп'ютерної техніки та іншого виду електроніки у разі недотримання правил електробезпеки та виходу зі строю електрообладнання.

Потенційні небезпеки психофізіологічного характеру:

- роздратованість, різкість, неадекватні дії, нервово-емоційні навантаження під час роботи на стенді пов'язані зі стресовими ситуаціями;
- нервово-психічне перевантаження під час роботи зі стендом, пов'язане з незадовільною організацією робочих місць у приміщенні для

дослідження, порушення раціоналізації їх розташування, порушення чи недостатнього врахування ергономічних вимог.

Потенційні небезпеки при порушенні санітарно-гігієнічних умов:

- захворювання дихальних шляхів під час перебування у приміщенні зі стендом для дослідження, у разі відсутності належного провітрювання приміщення чи відсутності ефективної загальної вентиляції, а також при відсутності витяжної системи для відводу потоку повітря, що створюється стендом;
- порушення зорової активності та поступове її погіршення під час перебування у приміщенні для стенду, пов'язане з неналежним рівнем освітленості у разі відсутності чи неправильного вибору загального штучного освітлення, а також за відсутності природного;
- зниження працездатності, втома, сонливість під час роботи зі стендом у разі порушення вимог до умов праці та відпочинку.

Потенційні небезпеки при порушенні правил пожежної безпеки:

виникнення загоряння, пожежі чи її підсилення та поширення у приміщенні зі стендом у зв'язку з несправністю електрообладнання, коротким замиканням електрообладнання, порушенням правил пожежогасіння, відсутністю чи неправильним вибором засобів пожежогасіння (вогнегасників тощо), неналежна ізоляція електропровідників.

Потенційні небезпеки, пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій:

- травмування, загибель людини (людей) у разі неправильних чи неадекватних дій персоналу в умовах надзвичайної ситуації та під час ліквідації її наслідків, а також у зв'язку з невідповідністю персоналу поведінці під час надзвичайних ситуацій.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання потенційних небезпек: фізичних, хімічних, біологічних психофізіологічного характеру, під час виконання дослідження слід

дотримуватись наступних вимог: НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок», ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація», ДСТУ ГОСТ 12.2.061: 2009 «ССБТ. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць», ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож (EN ISO 14120:2015, IDT; ISO 14120:2015, IDT)», ДСТУ EN 13155-2018 «Крани вантажопідіймальні. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплюючі знімні» (EN 13155:2003 + A2:2009, IDT)», ДСТУ EN 418-2003 «Безпечність машин. Пристрої аварійної зупинки. Функціонування і принципи проектування», «Технічний регламент безпеки машин», ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення».

З метою постійного контролю й нагляду за станом охорони праці роботодавець створює систему управління охороною праці на підприємстві відповідно до статті 13 Закону України «Про охорону праці» (СУОПП), яка здійснює професійний відбір персоналу, навчання працівників безпечним методам праці, технічну підготовку виробництва з урахуванням вимог охорони праці, розробляє нормативно правові акти підприємства з охорони праці (інструкції, положення тощо), нормалізує санітарно-гігієнічні умови праці, забезпечує працівників засобами індивідуального та колективного захисту та здійснює контроль, облік і аналіз роботи підприємства в галузі охорони праці [20].

Відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» передбачено проходження працівниками на підприємстві інструктажів, а також, один раз на три роки навчання з охорони праці, атестація та перевірка знань. З метою навчання працівників правильному та безпечному для себе і навколишнього середовища виконанню своїх трудових обов'язків проводяться інструктажі: спеціалістами служби з охорони праці – вступний інструктаж у разі прийняття на роботу працівників; безпосередньо керівником робіт до початку роботи на робочому місці

проводиться первинний інструктаж з урахуванням усіх специфічних особливостей, властивих для виконання даного виду робіт, а також зо всіма працівниками 1 раз на півроку (або 1 раз в квартал при роботі з підвищеною небезпекою) проводиться повторний інструктаж; при ліквідації аварій та стихійних лих безпосередньо керівник робіт здійснює цільовий інструктаж, що фіксується в наряд-допуску [23].

Для забезпечення безпеки від ураження електрострумом слід враховувати, що електроживлення повітряно-динамічного стенду та електронних обчислювальних машин (далі ЕОМ), у тому числі і ПК, здійснюється від мережі змінного струму напругою 220-380 В і частотою 50 Гц. Відповідно до вимог «ПУЕ», таке обладнання характеризується як електроустановки до 1000 В, тому, згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення даного обладнання у будь-яку пору року не повинно перевищувати – 4 Ом. Також конструкцією виробничого обладнання передбачено захист від ураження електричним струмом у випадках помилкових дій працюючого: струмопровідні частини обладнання ізольовані чи огорожені або розташовані в недоступних для людей місцях. Електрообладнання, що має відкриті струмопровідні частини, розміщене всередині корпусів (шаф, блоків) із дверима, які закриваються, або закриті захисними кожухами при розміщенні в доступних для людей місцях. У схемі електричного ланцюга виробничого обладнання передбачено пристрій централізованого відключення від мережі живлення всього електричного ланцюга. Враховано заземлення (занулення) металевих частин виробничого обладнання, які через пошкодження ізоляції можуть опинитися під електричною напругою небезпечної величини. З метою занулення працівника біля стенду та під ним необхідно розташувати дерев'яний трап [21].

У процесі проектування дипломного проекту було проведено аналіз і визначено, що спроектований стенд відповідає вимогам «Технічного регламенту безпеки машин» [17] і є безпечним під час монтажу, експлуатації та ремонту. Також стенд і його компоненти та з'єднання є в достатній мірі стійкими для уникнення перекидання, падіння чи некерованих рухів під час монтажу та експлуатації за рахунок розташування риболтів відповідно розташування центру мас всієї

установки. Всі складові частини стенду та їх механічні з'єднання здатні витримувати навантаження, яким вони піддаються під час експлуатації.

Для даної лабораторії, в якій розміщені також персональні комп'ютери з візуальними дисплейними терміналами (далі ПК з ВДТ), згідно з вимогами директиви ЕС 90/270 ЕЕС визначені вимоги та ергономічні характеристики до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що будуть працювати з ПК:

- символи на екрані чіткі і добре розрізняються (на рівні сучасних моніторів);
- зображення позбавлене блимання (частота зміни кадрів повинна бути не менше 60 Гц);
- яскравість та/або контрастність легко регулюються (за допомогою додаткових клавіш на моніторі);
- екрани вільні від відблисків і відбиття (монітори з матовим дисплейним покриттям);
- випромінювання знижені до надзвичайно малих (сучасні монітори виготовляються з вбудованими фільтрами, також можна застосувати спеціальні фільтруючі окуляри від УФ-випромінювання).

Відповідно до ДСТУ EN 418-2003 загальна схема живлення ЕОМ та стенду повинна мати як окремі до кожної групи вимикачі напруги живлення, так і центральний вимикач, а також блок автоматичного розімкнення ланцюга живлення у разі виникнення короткого замикання, пожежі, непередбачуваної поломки [24].

Відповідно до ДСТУ EN 13155-2018 для підйому та переміщення деталей масою більше ніж 8 кг, а також складальних одиниць масою більше ніж 20 кг передбачено оснащення приміщення індивідуальним підйомним пристроєм, або наявність такого (наприклад, домкрати, пересувні підйомники, рохлі тощо).

Відповідно до ДСТУ EN ISO 14120:2017 безпечна зона повинна відокремлюватися захисною огорожею, або, для стенду у даному випадку, з урахуванням того, що конструкція підвісна, передбачити відокремлення безпечної

зони лініями, що наносяться білою фарбою на підлозі (товщина лінії не повинна бути меншою за 7см).

5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії та гігієни для приміщення, у якому буде встановлюватися стенд та електрообладнання для його контролю (далі – лабораторія) розроблено відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за №472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

Температурні показники повітря, що входять до мікрокліматичних умов приміщення, не повинні виходити за межі 18-20°C в холодну пору року та 21-23°C в теплу пору року (незначні відхилення від оптимальної температури 20°C). Допустима відносна вологість повітря – 40-60% (незначні відхилення від оптимальної вологості 75%). Тиск в лабораторії не повинен виходити за допустимі межі 550-950 мм.рт.ст., але лише за умови поступової його зміни. Оптимальна швидкість повітря в лабораторному приміщенні не повинна перевищувати 0,2-0,3 м/с.

Забезпечення таких параметрів буде не лише безпечним для здоров'я працівників, але й впливатиме на працездатність електрообладнання. У лабораторії передбачається оснащення системою водяного опалення (може бути централізована система всієї будівлі, до якої входить дане приміщення), також для контролю мікрокліматичних умов може бути застосовано побутовий кондиціонер. Для запобігання різкої зміни тиску та швидкості повітря від роботи компресора стенду в лабораторії передбачається витяжна установка для відводу надлишкового повітря, яка може бути під'єднана до стенду.

Природне освітлення приміщення здійснюється за рахунок наявності вікна в лабораторному приміщенні. Штучне освітлення здійснено системою загального рівномірного освітлення, норма освітленості якого на робочих поверхнях становить 200-300 лк згідно з ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» рівень шуму у робочих зонах не повинен перевищувати 80 дБ. У разі перевищення регламентованого допустимого рівня шуму від роботи компресора стенду необхідно застосувати засоби індивідуального захисту, наприклад, беруші або шумозахисні навушники.

Для створення комфортних умов проведення досліджень проведено розрахунок загального рівномірного штучного освітлення у лабораторному приміщенні для випробувань повітряно-динамічного стенду

Розрахунок загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь виконується за методом світлового потоку (коефіцієнта використання) [16].

Вибір системи освітлення. Згідно з ДБН В.2.5.-28-2018 розряд зорових робіт в лабораторному приміщенні (Vв).

Визначення рівня нормованої освітленості E_n . За кількісну характеристику освітленості у приміщенні береться найменша освітленість, яка для Vв розряду зорових робіт становить $E_n = 200$ лк.

Вибір джерела світла. З економічної точки зору раціонально застосувати люмінесцентні лампи типу ЛБ. Люмінесцентні лампи білого кольору ЛБ мають спектральний склад (2500-2800) К.

Вибір типу світильника. У залежності від умов навколишнього середовища обирається тип світильників ЛСП. Відношення світлового потоку, що випромінюється світильником у нижню півсферу до повного світлового потоку для світильників переважно прямого світла 75%. Крива сили світла типу Д – косинусна. Ступінь захисту світильника від пилу та вологи IP64 згідно з ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)». Коефіцієнт світильника L/h - відношення відстані L між рядами або сусідніми світильниками у ряді до висоти h їхнього підвісу над робочою поверхнею, $L/h = 1,2$ [16].

Оцінка коефіцієнта запасу та коефіцієнта нерівномірності (мінімального) освітлення. У залежності від виробничих умов (відсутність парів кислот і лугів,

запиленість менше 1мг/м^3) коефіцієнт запасу $k_3 = 1,3$ [16]. Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості) $z = 1,1$ для люмінесцентних ламп низького тиску.

Оцінка коефіцієнтів відбиття від поверхонь приміщення (від стелі – ρ_c ; стін – $\rho_{ст}$; підлоги – $\rho_{п}$). У залежності від виділення пилу у процесі роботи обираємо для світлого приміщення з мінімальним виділенням пилу: $\rho_c = 70\%$; $\rho_{ст} = 50\%$; $\rho_{п} = 30\%$.

Чисельне значення індексу приміщення. Значення індексу визначають за рівнянням:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)}, \quad (5.1)$$

де A – довжина приміщення, м ($A = 6$ м);

B – ширина приміщення, м ($B = 4$ м);

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

Визначається на формулою 5.2:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]}, \quad (5.2)$$

де L_{max} – максимально допустима відстань між рядами світильників, м.

Визначається наступним чином:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p}, \quad (5.3)$$

де N_p – кількість рядів світильників у приміщенні. Розраховується за наступною формулою:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \times [L/h]}, \quad (5.4)$$

де H – висота приміщення, м ($H = 3,5$ м);

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м (як правило, висота умовної робочої поверхні $h_p = 0,8$ м [16]);

$$N_p = \frac{4}{(3,5-0,8) \times 1,2} = 2,$$

$$L_{max} = \frac{4}{2} = 2 \text{ м},$$

$$h = \frac{2}{1,2} = 1,7 \text{ м},$$

$$i = \frac{6 \times 4}{1,7 \times (6+4)} = 1,4.$$

Висота звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h ,$$

$$h_3 = 3,5 - 0,8 - 1,7 = 1 \text{ м}.$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку η . Обирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь, $\eta = 51$ % [16].

Визначення світлового потоку

Сумарний світловий потік:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \times S \times k_3 \times z}{\eta}, \quad (5.5)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м²;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \times 24 \times 1,3 \times 1,1}{0,51} = 13459 \text{ лм.}$$

Умовна загальна кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = \frac{A \times B}{L_{max}^2}, \quad (5.6)$$

$$N^* = \frac{6 \times 4}{2^2} = 6.$$

Світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{л}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{л}}, \quad (5.7)$$

де $N_{л}$ – загальна кількість ламп у приміщенні:

$$N_{л} = N^* \times n, \quad (5.8)$$

де n – кількість ламп в одному світильнику (для типу ЛСП $n = 2$ [16]).

$$N_{л} = 6 \times 2 = 12,$$

$$\Phi_{л}^* = \frac{13459}{12} = 1122 \text{ лм.}$$

За [16] обираємо люмінесцентну лампу 20ЛБ1200 з фактичним світловим потоком $\Phi_{л} = 1200$ лм та потужністю 20 Вт.

Коефіцієнт співвідношення світлових потоків:

$$m = \frac{\Phi_l^*}{\Phi_l}, \quad (5.9)$$

$$m = \frac{1122}{1200} = 0,94.$$

Оптимальна кількість світильників у приміщенні:

$$N = N^* \times m, \quad (5.10)$$

$$N = 6 \times 0,94 \approx 6.$$

Фактична кількість світильників $N_\Phi = 6$, які будуть розташовані у два ряди по три світильники у кожному.

Загальна розрахункова освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_l \times N_l \times \eta}{S \times k_3 \times z}, \quad (5.11)$$

$$E_p = \frac{1200 \times 12 \times 0,51}{24 \times 1,3 \times 1,1} = 214 \text{ лк.}$$

При правильному виборі типу та кількості ламп повинна виконуватись умова:

$$E_p = (-10\% \dots + 20\%) \times E_H, \quad (5.12)$$

$$E_p = 180 < 214 < 240 \text{ лк.}$$

Згідно з виконанням умови (5.12) вибір виконано вірно.

Схема розташування світильників на плані приміщення (рис.5.1). У загальному рівномірному освітленні стандартні лампи, як правило, розташовують у вершинах квадратних, прямокутних або ромбічних полів.

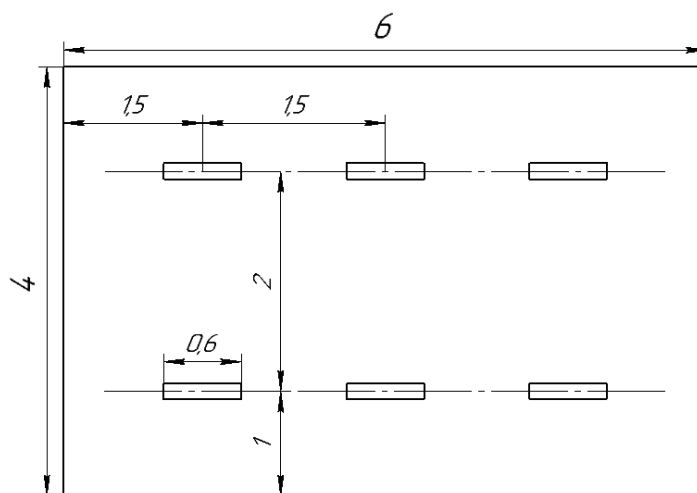


Рисунок 5.1 – Схема розміщення світильників у приміщенні

5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Заходи з пожежної безпеки.

Під час проведення дослідження в лабораторному приміщенні для запобігання потенційних небезпек, що пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки, слід дотримуватись наступних вимог: ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT)», ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», «Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників».

Оскільки, дана лабораторія для стенду складається в основному з електрообладнання (блоки керування, ПК з ВДТ, лазерні датчики тощо), а робота самого стенду забезпечується від електродвигуна, то відповідно до ДСТУ EN 2:2014 у даному приміщенні можлива пожежа класу А – горіння твердих речовин (за наявності паперових документів, пластмасових корпусів, дерев'яних меблів) та Е – горіння електроустановок, що перебувають під напругою. Відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 за вибухопожежною та пожежною небезпекою лабораторне

приміщення відноситься до категорії Д – негорючі речовини та матеріали у холодному стані (до таких матеріалів можна віднести дерев'яні меблі та пластикові корпуси електрообладнання, деяка кількість мастильної речовини в підшипниках стенду). Відповідно до ДБН В.1.1-7:2016 лабораторне приміщення відповідає II ступеню вогнестійкості. Відповідно до ДБН В.2.5-56:2014 лабораторне приміщення оснащено засобами виявлення загорянь і пожеж: автоматичними сигналізаторами про пожежу та системою електричної пожежної сигналізації. Відповідно до «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» в приміщенні загальною площею 24м² повинен бути 1 вуглекислотний вогнегасник місткістю 5л для гасіння невеликих початкових вогнищ загоряння металевих виробів та горючих рідин, а також електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В.

Заходи з цивільного захисту.

Згідно з кодексом цивільного захисту України [18] силам і засобам цивільного захисту дано наступні визначення:

Сили цивільного захисту – аварійно-рятувальні формування, спеціалізовані служби, спеціалізовані служби та інші формування цивільного захисту, призначені для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт з ліквідації надзвичайних ситуацій.

Засоби цивільного захисту – протипожежна, аварійно-рятувальна та інша спеціальна техніка, обладнання, механізм, прилади, інструменти, вироби медичного призначення, лікарські засоби, засоби колективного та індивідуального захисту, які призначені та використовуються під час виконання завдань цивільного захисту.

З Кодексу цивільного захисту України [18] про сили цивільного захисту у «Главі 5. Сили цивільного захисту» йдеться про наступне:

Стаття 22. Склад та основні завдання сил цивільного захисту

1) До сил цивільного захисту належать:

- оперативно-рятувальна служба цивільного захисту;
- аварійно-рятувальні служби;
- формування цивільного захисту;

- спеціалізовані служби цивільного захисту;
- пожежно-рятувальні підрозділи (частини);
- добровільні формування цивільного захисту.

2) Основними завданнями сил цивільного захисту є:

- проведення робіт та вжиття заходів щодо запобігання надзвичайним ситуаціям, захисту населення і територій від них;
- проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт;
- гасіння пожеж;
- ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій в умовах екстремальних температур, задимленості, загазованості, загрози вибухів, обвалів, зсувів, затоплень, радіоактивного, хімічного забруднення та біологічного зараження, інших небезпечних проявів;
- проведення піротехнічних робіт, пов'язаних із знешкодженням вибухонебезпечних предметів, що залишилися на території України після воєн, сучасних боєприпасів та підричних засобів (крім вибухових пристроїв, що використовуються у терористичних цілях), крім територій, які надані для розміщення і постійної діяльності військових частин, військових навчальних закладів, підприємств та організацій Збройних Сил України, інших військових формувань;
- проведення вибухових робіт для запобігання виникненню надзвичайних ситуацій та ліквідації їх наслідків;
- проведення робіт щодо життєзабезпечення постраждалих;
- надання екстреної медичної допомоги постраждалим у районі надзвичайної ситуації і транспортування їх до закладів охорони здоров'я;
- здійснення перевезень матеріально-технічних засобів, призначених для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та надання гуманітарної допомоги постраждалим внаслідок таких ситуацій;

- надання допомоги іноземним державам щодо проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;

- проведення аварійно-рятувального обслуговування суб'єктів господарювання та окремих територій, на яких існує небезпека виникнення надзвичайних ситуацій.

3) Сили цивільного захисту можуть залучатися до проведення відновлювальних робіт.

Стаття 23. Аварійно-рятувальні служби

1) Аварійно-рятувальні служби поділяються на:

- державні, регіональні, комунальні, об'єктові та громадських організацій;

- спеціалізовані та неспеціалізовані;

- професійні та непрофесійні.

2) Аварійно-рятувальні служби утворюються:

- державні - центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, іншими центральними органами виконавчої влади;

- регіональні - Радою міністрів Автономної Республіки Крим, місцевими державними адміністраціями в Автономній Республіці Крим, області, містах Києві та Севастополі відповідно;

- комунальні - органами місцевого самоврядування у містах, районах міста, селищі, селі;

- об'єктові - керівником суб'єкта господарювання, що експлуатує об'єкти підвищеної небезпеки;

- громадських організацій - громадською організацією відповідно до закону.

3) Державні, регіональні, комунальні аварійно-рятувальні служби і аварійно-рятувальні служби громадських організацій, створені на професійній основі, є юридичними особами.

4) Спеціалізовані професійні аварійно-рятувальні служби, діяльність яких пов'язана з організацією та проведенням гірничорятувальних робіт, є воєнізованими.

5) Непрофесійні об'єктові аварійно-рятувальні служби створюються з числа інженерно-технічних та інших досвідчених працівників суб'єктів господарювання, які мають необхідні знання та навички у проведенні аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт і здатні за станом здоров'я виконувати роботи в екстремальних умовах.

6) Працівники аварійно-рятувальної служби поділяються на основних та допоміжних.

7) До основних працівників аварійно-рятувальної служби належать працівники, які організують і виконують аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи та забезпечують готовність аварійно-рятувальних служб до проведення таких робіт. Основні працівники професійної аварійно-рятувальної служби поділяються на керівних та рядових.

8) До допоміжних працівників професійної аварійно-рятувальної служби належать працівники, які забезпечують її повсякденну діяльність.

9) Особливим видом аварійно-рятувальних служб є служби медицини катастроф, які діють у складі центрів екстреної медичної допомоги та медицини катастроф системи екстреної медичної допомоги, що створюються органами влади Автономної Республіки Крим, областей, міст Києва та Севастополя відповідно до закону.

Типове положення про центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф затверджується Кабінетом Міністрів України.

10) Статут аварійно-рятувальної служби або положення про аварійно-рятувальну службу розробляється на підставі типового статуту (положення) аварійно-рятувальної служби та затверджується органом виконавчої влади, органом місцевого самоврядування, суб'єктом господарювання, які утворили таку службу.

11) Державні, комунальні аварійно-рятувальні служби та аварійно-рятувальні служби громадських організацій набувають статусу юридичної особи з дня їх державної реєстрації у порядку, встановленому законом для державної реєстрації юридичних осіб. Статути державних, комунальних аварійно-рятувальних служб та аварійно-рятувальних служб громадських організацій, які подаються державному реєстратору, мають бути погоджені з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

12) На аварійно-рятувальні служби покладається виконання таких завдань:

- аварійно-рятувальне обслуговування на договірній основі суб'єктів господарювання та окремих територій, на яких існує небезпека виникнення надзвичайних ситуацій;
- подання місцевим державним адміністраціям, органам місцевого самоврядування та суб'єктам господарювання пропозицій щодо поліпшення протиаварійного стану суб'єктів господарювання і територій та усунення виявлених порушень вимог щодо дотримання техногенної безпеки;
- невідкладне інформування керівників суб'єктів господарювання, які експлуатують об'єкти підвищеної небезпеки, про виявлення порушень вимог пожежної та техногенної безпеки на таких суб'єктах господарювання;
- проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;
- виконання робіт із запобігання виникненню та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій і щодо захисту від них населення і територій;
- захист навколишнього природного середовища та локалізація зони впливу шкідливих і небезпечних факторів, що виникають під час аварій та катастроф;
- забезпечення готовності своїх органів управління, сил і засобів до дій за призначенням;

- пошук і рятування людей на уражених об'єктах і територіях, надання у можливих межах невідкладної, у тому числі медичної, допомоги особам, які перебувають у небезпечному для життя й здоров'я стані, на місці події та під час евакуації до лікувальних закладів;
- ліквідація особливо небезпечних проявів надзвичайних ситуацій в умовах екстремальних температур, задимленості, загазованості, загрози вибухів, обвалів, зсувів, затоплень, радіаційного та бактеріального зараження, інших небезпечних проявів;
- контроль за готовністю об'єктів і територій, що ними обслуговуються, до проведення робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- участь у розробленні та погодженні планів локалізації і ліквідації аварій на об'єктах і територіях, що ними обслуговуються;
- організація ремонту та технічного обслуговування аварійно-рятувальних засобів, розроблення та виробництво їх окремих зразків;
- участь у підготовці працівників підприємств, установ та організацій і населення до дій в умовах надзвичайних ситуацій.

13) Аварійно-рятувальні служби мають право на:

- отримання від місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування та суб'єктів господарювання інформації, необхідної для виконання покладених на службу завдань;
- безперешкодний доступ на об'єкти суб'єктів господарювання та їх територію для виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- встановлення вимог щодо додержання заходів безпеки для всіх осіб, які перебувають у зоні надзвичайної ситуації;
- проведення під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій документування, кіно- і відеозйомки, фотографування та звукозапису;
- тимчасову заборону або обмеження руху транспортних засобів і пішоходів поблизу та в межах зони надзвичайної ситуації.

14) Завдання і функції конкретних аварійно-рятувальних служб визначаються їх статутами чи положеннями, які погоджуються з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, та затверджуються згідно із законодавством.

15) Матеріально-технічне та фінансове забезпечення діяльності аварійно-рятувальних служб здійснюється за рахунок коштів державного та місцевого бюджетів, підприємств, установ, організацій, що створюють аварійно-рятувальні служби, коштів від надання додаткових платних послуг, а також добровільних пожертвувань юридичних і фізичних осіб, інших не заборонених законодавством джерел.

Стаття 24. Оперативно-рятувальна служба цивільного захисту

1) Оперативно-рятувальна служба цивільного захисту функціонує в системі центрального органу виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, і складається з органів управління, аварійно-рятувальних формувань центрального підпорядкування, аварійно-рятувальних формувань спеціального призначення, спеціальних авіаційних, морських та інших формувань, державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин), навчальних центрів, формувань та підрозділів забезпечення.

2) Організація та порядок повсякденної діяльності Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та функціонування її під час виконання завдань за призначенням визначаються Положенням про Оперативно-рятувальну службу цивільного захисту, що затверджується центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

3) Для аварійно-рятувальних формувань центрального підпорядкування Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту рішенням керівника центрального органу виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує

державну політику у сфері цивільного захисту, встановлюються зони відповідальності щодо реагування на надзвичайні ситуації.

4) Критерії утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частини) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та перелік суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини), визначаються Кабінетом Міністрів України.

5) До повноважень Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту належить:

- аварійно-рятувальне обслуговування на договірній основі об'єктів підвищеної небезпеки та окремих територій, що перебувають у власності, володінні або користуванні суб'єктів господарювання, на яких існує небезпека виникнення надзвичайних ситуацій, перелік яких визначається Кабінетом Міністрів України;

{Пункт 1 частини п'ятої статті 24 в редакції Закону № 353-VII від 20.06.2013}

- подання місцевим державним адміністраціям, органам місцевого самоврядування та суб'єктам господарювання пропозицій щодо поліпшення протиаварійного стану об'єктів підвищеної небезпеки та окремих територій, що перебувають у власності, володінні або користуванні суб'єктів господарювання, та усунення виявлених порушень вимог щодо дотримання техногенної безпеки;

- невідкладне інформування керівників суб'єктів господарювання, що експлуатують об'єкти підвищеної небезпеки, про виявлення порушень вимог техногенної безпеки;

- отримання від місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування та суб'єктів господарювання інформації, необхідної для виконання покладених на службу завдань;

- безперешкодний доступ на об'єкти суб'єктів господарювання та їх територію для виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, гасіння пожеж;

- право вимагати від усіх осіб, які перебувають у зоні надзвичайної ситуації, додержання встановлених заходів безпеки;
- проведення під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій документування, кіно- і відеозйомки, фотографування та звукозапису;
- участь у роботі комісій з розслідування причин виникнення надзвичайних ситуацій у суб'єктів господарювання і на територіях, що нею обслуговуються;
- тимчасова заборона або обмеження руху транспортних засобів і пішоходів поблизу та в межах зони надзвичайної ситуації, місці гасіння пожежі, а також доступу громадян на окремі об'єкти і території;
- здійснення аварійно-рятувального забезпечення туристичних груп та окремих туристів.

6) Повноваження Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та інших професійних аварійно-рятувальних служб можуть бути обмежені на територіях та у суб'єктів господарювання, у яких відповідно до Закону України "Про державну таємницю" встановлено спеціальні перепускні та внутрішньооб'єктові режими.

7) Для здійснення заходів з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій органи управління і формування Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту використовують спеціальні транспортні засоби. Перевага таких засобів у дорожньому русі, а також правила встановлення спеціальних світлових і звукових сигнальних пристроїв та нанесення кольорово-графічних позначень на них визначаються актами законодавства.

Стаття 25. Спеціалізовані служби цивільного захисту

1) Спеціалізовані служби цивільного захисту (енергетики, захисту сільськогосподарських тварин і рослин, інженерні, комунально-технічні, матеріального забезпечення, медичні, зв'язку і оповіщення, протипожежні, торгівлі та харчування, технічні, транспортного забезпечення, охорони громадського порядку) утворюються для проведення спеціальних робіт і заходів

з цивільного захисту та їх забезпечення, що потребують залучення фахівців певної спеціальності, техніки і майна спеціального призначення:

- об'єктові - на суб'єкті господарювання (шляхом формування з працівників суб'єкта господарювання ланок, команд, груп, що складають відповідні спеціалізовані служби цивільного захисту) - керівником суб'єкта господарювання;

- галузеві - у системі центрального органу виконавчої влади (шляхом зведення об'єктових підрозділів у відповідну галузеву спеціалізовану службу цивільного захисту) - центральним органом виконавчої влади. Перелік центральних органів виконавчої влади, в яких утворюються спеціалізовані служби цивільного захисту, визначається Положенням про єдину державну систему цивільного захисту;

- територіальні (шляхом об'єднання об'єктових підрозділів у відповідну територіальну спеціалізовану службу цивільного захисту місцевого рівня або об'єднання територіальних спеціалізованих служб цивільного захисту місцевого рівня у регіональну спеціалізовану службу цивільного захисту):

- в Автономній Республіці Крим - Радою міністрів Автономної Республіки Крим або іншим органом, визначеним відповідно до нормативно-правових актів Верховної Ради Автономної Республіки Крим;

- б) в області, містах Києві та Севастополі, районі - місцевою державною адміністрацією;

- в) у місті обласного значення - органом місцевого самоврядування.

2) Органом управління спеціалізованою службою цивільного захисту є:

- відповідний орган, визначений Верховною Радою Автономної Республіки Крим, місцевою державною адміністрацією, органом місцевого самоврядування;

- відповідний структурний підрозділ центрального органу виконавчої влади.

3) Спеціалізовані служби цивільного захисту мають право на:

- отримання від місцевих державних адміністрацій, органів місцевого самоврядування та суб'єктів господарювання інформації, необхідної для проведення робіт з цивільного захисту;

- безперешкодний доступ на об'єкти суб'єктів господарювання і їх територію для виконання аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;

- встановлення вимог щодо додержання заходів безпеки для всіх осіб, які перебувають у зоні надзвичайної ситуації.

4) Права і обов'язки працівників суб'єкта господарювання, що призначаються до складу спеціалізованих служб цивільного захисту, визначаються цим Кодексом та іншими законодавчими актами.

5) Порядок утворення та функціонування спеціалізованих служб цивільного захисту визначається положенням про них, яке затверджується Кабінетом Міністрів України.

Висновок. Проаналізувавши основні потенційні небезпеки, що можуть виникати, даною роботою зазначається, що своєчасне дотримання нормативно-правових актів дасть можливість зберегти здоров'я дослідників протягом всього робочого часу та часу перебування в лабораторному приміщенні взагалі.

ВИСНОВКИ

1. Було проведено аналіз літературних джерел, огляд існуючих конструкцій, пошук аналогів за якими у подальшому буде розроблено повітряно-динамічний стенд. Аналіз існуючих конструкцій коліс відцентрових компресорів і напрямних апаратів. Піднята проблема швидкого зносу лопаток турбін. Висунута гіпотеза про коливання лопаток пакетами, що і призводить до швидкого зносу.

2. Розроблено методику виконання роботи, де описано, що і в якій послідовності повинно виконуватись при створенні установки для вимірювання коливань лопаток турбін. Проведено вибір вимірювальних елементів – датчиків, без яких стенд не зможе працювати належним чином.

3. Запропоновано розроблений варіант принципової схеми стенду. Проведено розрахунок колеса відцентрового компресора, який буде розганяти потоком повітря робоче колесо турбіни, а також розрахунок та вибір розмірів відцентрового колеса. Проведено розрахунок власної частоти коливання робочої лопатки за першою формою коливань. Розроблено складальне креслення стенду.

4. Розроблено метод для вимірювання коливання лопаток пакетами. Розглянуто існуючі програмні засоби для обробки даних та запропоновано розробити програму для обробки даних, отриманих у ході експерименту. Розроблено алгоритм функціонування стенду та взаємодії його з комп'ютером.

5. Розроблено розділ з охорони праці та цивільного захисту, де проводиться аналіз потенційних небезпек, які може нести стенд під час його монтажу та експлуатації. Проведено розрахунок штучного освітлення для забезпечення комфортних умов праці дослідників в лабораторному приміщенні. Розроблено ряд рекомендацій по забезпеченню безпеки.

Як результат, дана установка та спосіб вимірювання дадуть можливість у подальшому контролювати процес пакетного коливання та дозволить знайти нові способи їх усунення, або відхилення від діапазону таких коливань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вибрации в технике: справочник: в 6-ти т./ В. Н. Челомей и др. Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов/ В. Н. Челомей, под ред. Ф. М. Диментберга и К. С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544с.

2. Ножницкий Ю. А. Исследование конструкционного демпфирования колебаний рабочих лопаток турбомашин на динамических разгонных стендах/ Ю. А. Ножницкий, Ю. А. Федина, Д. В. Шадрин// Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2012. – №3(34). – С. 314 – 320.

3. Ножницкий Ю. А. Новые возможности применения разгонных стендов для обеспечения прочностной надежности газотурбинных двигателей/ Ю. А. Ножницкий, Ю. А. Федина, Д. В. Шадрин и др. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2015. – Том 14 (№3, Ч. 1). – С. 314 – 320.

4. Автоматизированный универсальный стенд для испытаний лепестковых газодинамических опор: пат. RU77430U1 Россия / Цыкунов А. В., Левина Г. А., Манаков Ю. А., Дрокин В. В. – заявка на пуб. 05.04.2008

5. Стенд для испытания рабочих колес турбомашин: а. с. SU1132166А

6. Скубачевский Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей/ Г. С. Скубачевский. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1969. – 544с.

7. Двигатель газотурбинный вспомогательный (турбогенератор) АИ-9: техническое описание. – в/о Авиаэкспорт. – М. СССР, – 53 с.

8. Гусева Р.И. Особенности конструкции, организация работы авиационных двигателей: учеб. Пособие. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. – 100 с.

9. Центробежные компрессорные машины/ Ф.М. Чистяков, В.В. Игнатенко, Н.Т. Романенко и др. – М.: Машиностроение, 1969. – 328 с.

10. Електродвигуни. Технічний каталог. – ВОО «СКБ Укрелектромаш», 2007, – 24 с.

11. Габаритные и установочные размеры электродвигателя АИР [электронный ресурс]: [сайт]. – режим доступа: <https://systemax.ua/elektrodivigateli/trehfaznyie-obshepromyshlennyeelektrodivigateli/air/> – назва з екрану.

12. Подшипники. Каталог продукции SKF [электронный ресурс]: [сайт]. – режим доступа: <https://www.skf.com/ru/products/index.html> – назва з екрану.

13. Лазерный виброметр/ Лазерный преобразователь LV-2 [электронный ресурс]: [сайт]. – Режим доступа: <http://lasertechnics.org/firma.html> – назва з екрану.

14. Датчики. Оглядовий каталог. – HEIDENHAIN, 2015. – 64 с.

15. ГОСТ 5006-55. Муфты зубчатые общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 1955. – 12 с.

16. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень методом світлового потоку» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання/ Укл. В.І. Шмирко, О.В. Коробко, А.Є. Островська. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 34 с.

17. Технічний регламент безпеки машин [Електронний ресурс] – Чинний від 2013-08-12. : станом на 11.07.2018 р. – К. : КМ України, 2013. – 76 с. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-p> – (Постанова).

18. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] – Чинний від 2012-11-21. : станом на 01.01.2018 р. – К. : ВР України, 2012. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. – (Закон України).

19. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження вогнегасних властивостей первинних засобів пожежогасіння, визначення їх типів та розрахунок кількості» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці

в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форм навчання / Укл. А.С. Петрищев, С.М. Журавель– Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 26 с.

20. Про охорону праці [Електронний ресурс] : закон України. – Чинний від 1992-10-14 : станом на 20.01.2018. – К. : ВР України, 1992. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. – (Закон України).

21. Правила улаштування електроустановок [Текст] : ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с. – (Правила).

22. ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація [Електронний ресурс] : ДСТУ 7239:2011. – На заміну ГОСТ 12.4.011-89 ; чинний від 2011-08-01. – К. : Держнагляд охорони праці України, 2011. – Режим доступу: http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/dstu_7239_2011.pdf. – (Національний стандарт України).

23. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-4.12-05. – На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93 ; чинний від 2005-02-26. – К. : Держнагляд охорони праці України, 2005. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

24. Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож (EN ISO 14120:2015, IDT; ISO 14120:2015, IDT) [Текст] : ДСТУ EN ISO 14120:2017. – На заміну ДСТУ EN ISO 14120:2016; чинний з 2019-01-01. – (Державний Стандарт України).

25. Тимошенко С.П. Теория колебаний в инженерном деле/ С. П. Тимошенко; пер. с англ. Н. А. Шошина. – 3-е изд. – Л.: М.: Гос. технико-теорет. изд-во, 1934. – 344 с.

26. Учебно-методическая литература [електронний ресурс]: [сайт]. – Режим доступу: <https://www.studmed.ru/> – назва з екрану.

27. Разработка и производство электронного измерительного оборудования L-Card [электронный ресурс]: [сайт]. – Режим доступа: <https://www.lcard.ru/> – назва з екрану.

28. Программное обеспечение «PowerGraph» [электронный ресурс]: [сайт]. – Режим доступа: <http://www.powergraph.ru/> – назва з екрану.

29. Справочник химика 21 [электронный ресурс]: [сайт]. – Режим доступа: <https://chem21.info/> – назва з екрану.

30. СТП 15-96. Стандарт підприємства. Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги і правила оформлення. – Запоріжжя, ЗНТУ, 1997. – 29 с.

Додаток А

Нагорода за участь у молодіжних науково-технічних читаннях



Додаток Б

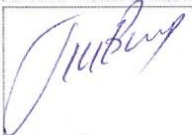


Заява про видачу патенту України

Порядковий номер заявки, визначений заявником 18/504(2970)		Дата одержання		
(22) Дата подання заявки	Пріоритет	(51) МПК	ЕВ	(21) Номер заявки
(86) Реєстраційний номер та дата подання міжнародної заявки, установлені відомством-одержувачем				
(87) Номер і дата міжнародної публікації міжнародної заявки				
ЗАЯВА про видачу патенту України		Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України Державне підприємство "Український інститут промислової власності" вул. Глазунова, 1, м. Київ-42, 01601		
Подаючи нижчезазначені документи, прошу (просимо) видати: <input type="checkbox"/> патент України на винахід <input type="checkbox"/> позицію виключено <input checked="" type="checkbox"/> патент України на корисну модель				
(71) Заявник(и)				Код за ЄДРПОУ (для українських заявників)
Національний університет «Запорізька політехніка» /НУ «Запорізька політехніка»/ Вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063				0 2 0 7 0 8 4 9
(ззначається повне ім'я або найменування заявника(ів), його (їх) місце проживання або місцезнаходження та код держави згідно із стандартом VOIB ST.3. Дані про місце проживання винахідників-заявників наводяться за кодом (72)				
Прощу (просимо) встановити пріоритет заявки пунктів формули винаходу за заявкою N _____ за датою: <input type="checkbox"/> подання попередньої заявки в державі - учасниці Паризької конвенції (навести дані за кодами (31), (32), (33)) <input type="checkbox"/> подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку (навести дані за кодом (62)) <input type="checkbox"/> подання до Установи попередньої заявки (навести дані за кодом (66))				
(31) Номер попередньої заявки	(32) Дата подання попередньої заявки	(33) Код держави подання попередньої заявки згідно із стандартом VOIB ST.3	(62) Номер та дата подання до Установи попередньої заявки, з якої виділено цю заявку	(66) Номер та дата подання до Установи попередньої заявки
(54) Назва винаходу (корисної моделі) «Стенд для випробувань робочих коліс турбін газотурбінних установок»				
98) Адреса для листування : вул. Жуковського , 64, м. Запоріжжя, 69063, патентно-інформаційний відділ, НДЧ НУ «Запорізька політехніка»				
Телефон /061/ 769-82-35		Телеграф	факс /061/224-42-36	
(74) Повне ім'я та реєстраційний номер представника у справах інтелектуальної власності або повне ім'я іншої довіреної особи Висоцька Наталя Іванівна, начальник патентно-інформаційного відділу НДЧ НУ «Запорізька політехніка»				

Б.2 Заява про видачу патенту України

Прошу (просимо) прискорити публікацію заявки

Перелік документів, що додаються	Кількість арк.	Кількість прим.	
<input checked="" type="checkbox"/> опис винаходу	6	3	Підстави щодо виникнення права на подання заявки й одержання патенту (без подання документів), якщо винахідник(и) не є заявником(ами): <input checked="" type="checkbox"/> є документ про передачу прав винахідником(ами) або роботодавцем(ями) правонаступнику(ам) договір № <u>866</u> -ЮР від <u>06.11.2019</u> р. <input type="checkbox"/> є документ про право спадкування
<input checked="" type="checkbox"/> формула винаходу	1	3	
<input checked="" type="checkbox"/> креслення та інші ілюстративні матеріали	2	3	
<input checked="" type="checkbox"/> реферат	1	3	
<input checked="" type="checkbox"/> документ про сплату збору за подання заявки	1	1	
<input checked="" type="checkbox"/> документ, який підтверджує наявність підстав для зменшення збору або звільнення від сплати збору	1	1	
<input type="checkbox"/> документ про депонування штаму			
<input type="checkbox"/> копія попередньої заявки, яка підтверджує право на пріоритет			
<input type="checkbox"/> переклад заявки українською мовою			
<input checked="" type="checkbox"/> документ, який підтверджує повноваження довіреної особи (довіреність)	1	1	
<input type="checkbox"/> інші документи:			
<input type="checkbox"/> міжнародний звіт про пошук			

(72) Винахідник(и) Винахідник(и)-заявник(и) (повне ім'я)	Місце проживання та код держави згідно із стандартом ВОІВ ST. 3 (для іноземних осіб - тільки код держави)	Підпис(и) винахідника(ів)- заявника(ів)
Івченко Леонід Йосипович	69035, м. Запоріжжя вул. Маяковського 7 кв. 66	
Комочкін Микола Сергійович	69071 м. Запоріжжя вул. Підмосковна буд. 19	
Середа Олександр Анатолійович	70002 м. Вільнянськ, Вільнянський район, Запорізька обл. вул. Чернишевського буд. 19	

Я (ми)

(повне ім'я)

прошу (просимо) не згадувати мене (нас) як винахідника(ів) при публікації відомостей стосовно заявки на видачу патенту

Підпис(и) винахідника(ів)

Проректор з НР та МД НУ «Запорізька політехніка»

Підпис(и) заявника(ів)

В.В. Наумик

Дата підпису

Якщо заявником є юридична особа, то підпис особи, що має на це повноваження, із зазначенням посади скріплюється печаткою. Якщо всі винахідники виступають заявниками, то їх підписи наводяться за кодом (72).

Примітка: Потрібно позначити значком "X".

Додаток В

Договір про передавання права власності на корисну модель

1

Договір № 866-01

між роботодавцем і винахідниками про передавання права власності на корисну модель

м. Запоріжжя

06. 11 2019 р.

Автори, доктор технічних наук, професор кафедри МВ та І Івченко Леонід Йосипович, аспірант кафедри МВ та І Комочкін Микола Сергійович, студент гр. М-218м кафедри МВ та І Серета Олександр Анатолійович заявки на корисну модель «Стенд для випробувань робочих коліс турбін газотурбінних установок», створеної за кафедральною науково-дослідною роботою № 01318, далі «Винахідники», з одного боку, і роботодавець, Національний університет «Запорізька політехніка» (НУ «Запорізька політехніка»), в особі проректора з наукової роботи та міжнародної діяльності, доктора технічних наук, професора Наумика Валерія Владилєновича, який діє на підставі доручення університету № 10 від 04.07.2019 року та іменується далі – „Роботодавець”, з другого боку, уклали цей договір про наступне:

1 Винахідники передають Роботодавцю свої права на отримання патенту України на корисну модель на вказану заявку.

2 Роботодавець згоден прийняти право на отримання патенту на вказану корисну модель та забезпечити надання Винахідникам консультацій патентознавцем, начальником патентно-інформаційного відділу, Висоцькою Наталею Іванівною при підготовці матеріалів заявки на корисну модель та у чотиримісячний термін з моменту підписання цього договору подати до Укрпатенту заявку на корисну модель.

Зобов'язується виконувати всі юридично значимі дії для отримання патенту України на корисну модель, підтримання його чинності та винагородження після реалізації або використання корисної моделі.

3 Роботодавець зобов'язується інформувати Винахідників про використання винаходу, про продаж на нього ліцензій, про передавання прав на патент третім особам та про намір відмови від подальшого підтримання чинності дії патенту.

4 Роботодавець бере на себе зобов'язання у випадках використання патенту на корисну модель у науковій роботі або на підприємствах, а також в інших випадках використання патенту, доход розподіляти в наступній пропорції:

– Винахідникам – 70%:

Івченко Л.Й. - 24% ; Комочкіну М.С. - 24% ; Сереті О.А. – 22%.

– Роботодавцю – 30 %.

Примітка. Показники, перелічені у даному пункті договору, конкретизуються в окремій угоді сторін після отримання патенту та розрахунку економічної вигоди університетом.

5 Винахідник бере на себе зобов'язання сприяти Роботодавцям в оформленні матеріалів заявки на корисну модель, має право використовувати матеріали заявки на корисну модель у своїй науковій роботі.

6 Суперечки, пов'язані з невиконанням сторонами зобов'язань цього договору, розглядаються в порядку, запроваджені законодавством України.

Умови договору можуть змінюватись лише за згодою обох сторін.

7 У випадку невиконання Роботодавцем другого розділу з цього договору Винахідники, у відповідності з чинним законодавством, отримують право самостійно вирішувати питання, пов'язані з поданням заявки на отримання патенту на корисну модель.

В.2 Договір про передання права власності на корисну модель

2

8 Зміни та доповнення до цього договору можуть бути оформлені додатковим договором або двостороннім протоколом з обов'язковими підписами обох сторін.

9 Цей договір у частині конкретних умов його виконання є конфіденційним та не підлягає розголошенню або переданню третім особам.

10 Цей договір набирає чинності з моменту його підписання і діє до припинення чинності патенту.

11 Цей договір підписується в 5 примірниках: перший зберігається у Роботодавця, три – в Українському інституті інтелектуальної власності, один – у Винахідників.

Підстава для складання договору: Закон України “Про охорону прав на винаходи і корисні моделі”.

Адреси сторін:

- Роботодавець: НУ «Запорізька політехніка», 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64.

- Винахідники:

Івченко Леонід Йосипович 69035, м. Запоріжжя, пр. Маяковського, 6.7, кв. 66.

Комочкін Микола Сергійович 69071 м. Запоріжжя вул. Підмосковна буд. 19

Середа Олександр Анатолійович 70002 м. Вільнянськ, Вільнянський район, Запорізька обл. вул. Чернишевського буд. 19.

Проректор з НР та МД НУ «Запорізька політехніка»,
д-р техн. наук, проф.



В.В. Наумик

М.П.

Доктор технічних наук,
професор кафедри МВ та І

Л.Й. Івченко

Аспірант
кафедри МВ та І

М.С. Комочкін

студент гр. М-218м
кафедри МВ та І

О.А. Середа

Узгоджено:
Гол. бухгалтер

О.М. Силенко

Начальник юрид. відділу

Т.М. Петрова

Начальник НДЧ

В.М. Сажнев

Начальник патентно-інформаційного
відділу, патентознавець

Н.І. Висоцька

Додаток Г

Специфікація на складальне креслення стенду

Г.2 Специфікація на складальне креслення стенду