

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально-науковий інститут

Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри
д-р техн. наук, професор
Л.І. Коростильов
«25» чудесна 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» на тему:

**«ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНИХ ЕФЕКТІВ
ДЕФОРМУВАННЯ СУДНОВИХ ВАЛОПРОВОДІВ»**

Виконав: студентка 6116м групи
Мок Лук'янцева М. В.
(підпис)

Керівник роботи:
Шарун Шарун Г.В..
(підпис)

Миколаїв – 2024 р.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк. 1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут (факультет) Кораблебудівний
Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля
Спеціальність 135 Суднобудування
Освітньо-професійна програма Конструювання та міцність корпусу суден і
плавучих споруд

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор Коростильов Л.І.

«25» грудня 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
Лук'янцева Мар'яна Василівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження нелінійних ефектів деформування суднових
валопроводів.

Investigation of Nonliner Deformation Effects of Ship Shafting Systems.

керівник роботи ст. викл. Шарун Г.В.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи:

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- 4.1. Опис процесів центрування валопроводу різними методами.
- 4.2. Фактори впливу та оптимізація навантажень підшипників судових валопроводів.
- 4.3. Визначення джерел розбіжностей, що спостерігаються під час Jack- up тесту.
- 4.4. Розрахунок колінчастого валу в системі SOLIDWORKS.
- 4.5. Економічна оцінка центрування валопроводу різними методами.
- 4.6. Охорона праці при проведенні експлуатаційних робіт з приладами центрування та валопроводом.

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

5.1. Плакат за дипломною роботою.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
6.1.	Шарун Г.В.		
6.2.	Шарун Г.В..		
6.3.	Шарун Г.В.		
6.4.	Шарун Г.В.		
6.5.	Шарун Г.В.		
6.6.	Шарун Г.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опис процесів центрування валопроводу різними методами.	20.09.2024	
2	Фактори впливу та оптимізація навантажень підшипників судових валопроводів.	10.10.2024	
3	Визначення джерел розбіжностей, що спостерігаються під час Jack- up тесту.	10.11.2024	
4	Розрахунок коленчатого валу в системі SOLIDWORKS.	20.11.2024	
5	Економічна оцінка центрування валопроводу різними методами.	05.12.2024	
6	Охорона праці при проведенні експлуатаційних робіт з приладами центрування та валопроводом.	20.12.2024	

Студент

(підпис) Лук'янцева М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис) Шарун Г.В.
(прізвище та ініціали)

Зміст

Завдання для дипломної роботи	2
Анотація	6
Annotation.....	7
Вступ.....	8
1. Опис процесів центрування валопроводу різними методами	11
1.1. Процес центрування методом Jack-up тест.....	13
1.2. Центрування та визначення навантажень за допомогою датчиків.....	16
1.3. Процес центрування за допомогою лазерного обладнання.....	21
1.4. Висновок.....	25
2. Фактори впливу та оптимізація навантажень підшипників судових валопроводів	27
2.1. Класифікація факторів, що можуть впливати на навантаження підшипників.....	28
2.2. Автоматизація роботи системи та моніторингу підшипників.....	32
2.3. Висновок.....	33
3. Визначення джерел розбіжностей, що спостерігаються під час Jack- up тесту	34
3.1. Опис пропульсивної установки.....	36
3.2. Аналіз та підбір параметрів підшипників для узгодження теоретичних та фактичних результатів.....	37
3.2.1. Визначення жорсткості підшипників.....	38
3.2.2. Визначення зміщень підшипників.....	38
3.2.3. Висновок.....	40
4. Розрахунок коленчатого валу в системі SOLIDWORKS.....	43
4.1. Висновок.....	49
5. Економічна оцінка центрування валопроводу різними методами.....	50
5.1. Витрати та порівняння методів центрування.....	51
5.1.1. Лазерні установки.....	52

5.1.2. Гідродомкрати, Jack-up тест.....	53
5.1.3. Датчики для визначення навантажень та центрування валопроводу у різних умовах.....	54
5.2.Економічні вигідні сторони та ризики методів центрування та визначення навантажень на підшипники.....	55
5.3.Висновок.....	57
6. Охорона праці при проведенні експлуатаційних робіт з приладами центрування та валопроводом.....	59
6.1.При роботі з валопроводом при його центруванні екіпаж повинен дотримуватись певних правил та вимог.....	60
6.2.Робота з гідродомкратами.....	62
6.3.Робота з лазерними приладами.....	64
6.4.Робота з датчиками.....	65
ВИСНОВКИ.....	67
Список використаної літератури.....	68

Анотація

Темою кваліфікаційної роботи є аналіз результатів вимірювань навантажень підшипників суднових валопроводів.

Головною метою було виявити можливі джерела розбіжностей теоретичних та фактичних результатів Jack-up тесту.

У роботі була проаналізована актуальність даної теми. Описані способи вимірювань навантажень на підшипники валопроводу, визначені фактори впливу, розкрита важливість автоматизації системи та моніторингу підшипників та їх оптимізація. Для отримання більш точних результатів вимірювань була проаналізована важливість взаємодії різних методів визначення навантажень на підшипники.

Також були проаналізовані економічні аспекти різних методів для вирівнювання валопроводу та вимірювань навантажень на підшипники. Визначено економічні вигідні сторони та ризики центрування та визначення навантажень на підшипники, що є важливим у судноплавстві.

Графічна частина роботи складається з наступного: теоретичне креслення, 3Dмодель судової установки.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Annotation

The topic of qualification work is the Investigation of nonlinear deformation effects of ship shafting systems.

The main goal was to identify possible sources of discrepancies between the theoretical and actual results of the Jack-up test.

The work analyzes the relevance of this topic. It describes the methods for measuring loads on shaft bearings, identify influencing factors, and highlights the importance of system automation, bearing monitoring, and their optimization. To obtain more accurate measurement results, the importance of interaction of different methods for determining bearing loads was analyzed.

The economic aspects of different methods for shaft alignment and bearing load measurements were also analyzed. The economic beneficial sides and risks of centering and bearing load determination, which are important in shipping, were identify.

The graphic part of the work includes the following: a theoretical drawing, 3D model of the ship installation.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Важливу роль у безпечній та надійній роботі валопровода судна має стан підшипників. Підшипники підтримують вал та забезпечують його обертання з мінімальними втратами енергії. Недопустимий розподіл навантажень на підшипники призводить до їх прискореного зносу та передчасного виходу з ладу.

Центрування валопроводу має важливу роль у належному розподілі навантажень на підшипники. Процедура центрування може виконуватись різними методами.

Центрування забезпечує допустимий розподіл навантажень, що є ключовою проблемою на судах, особливо при використанні суден великої водотоннажності, таких як балкери, танкери, контейнеровози та газовози. Для таких суден дуже важлива економічна ефективність експлуатації. Використовується декілька методів вимірювань навантажень підшипників та центрування: Jack-up тест, датчиками та центрування лазерними пристроями. Більш поширеним з яких Jack-up тест. Результати вимірювань приймалися без усякого сумніву, але застосування програмного забезпечення ShaftDesigner виявило розбіжності між результатами вимірювань і результатами теоретичних розрахунків, що вимагає вдосконалення методів вимірювання та розрахункових моделей.

Дане дослідницьке завдання щодо виявлення можливих джерел розбіжностей було запропоноване компанією Інтелектуальні Морські Технології, яка є розробником програмного забезпечення ShaftDesigner.

Постановка задачі. У 2024 році була виконана серія Jack-up тестів підшипників валопроводів контейнеровозів у ході модернізації пропульсивних установок. Порівняння результатів вимірювання і теоретичних розрахунків підтвердили існування низки розбіжностей. Низка розбіжностей Рис. 1-3

Необхідно виявити можливі причини розбіжностей метою удосконалення розрахункових моделей і методики обробки результатів, отриманих за допомогою Jack-up тестів.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

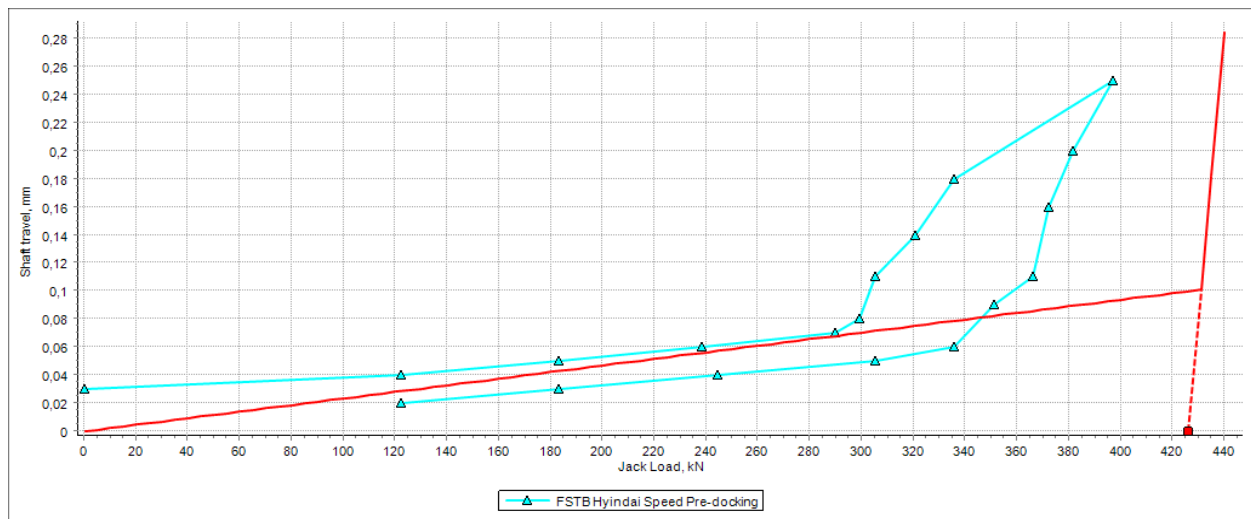


Рис.1. Розбіжність розрахунків для носового дейдвуд ного підшипника.

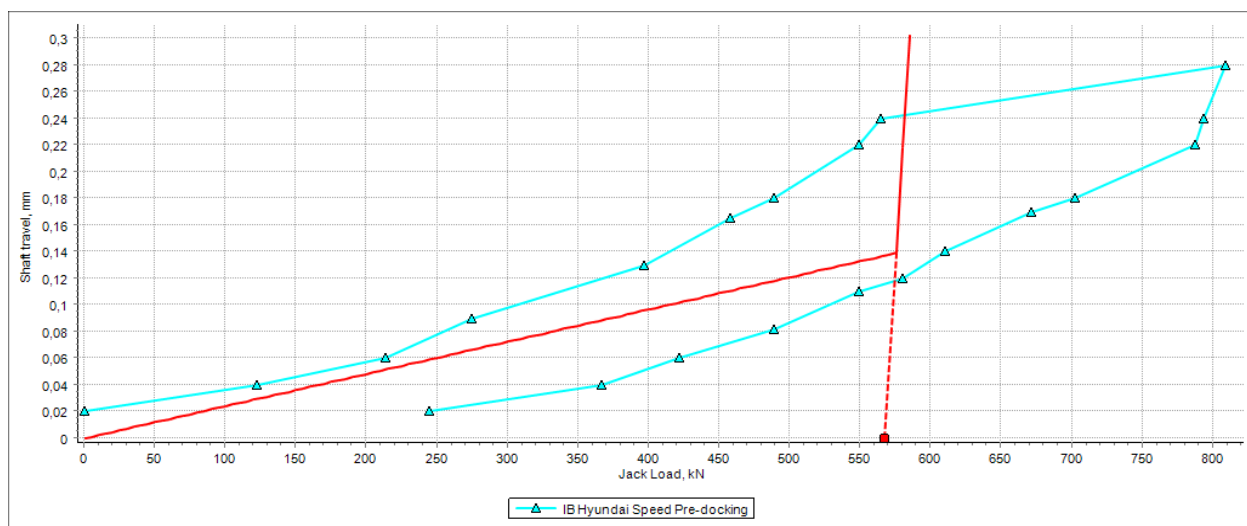


Рис. 2. Розбіжність розрахунків для проміжного підшипника.

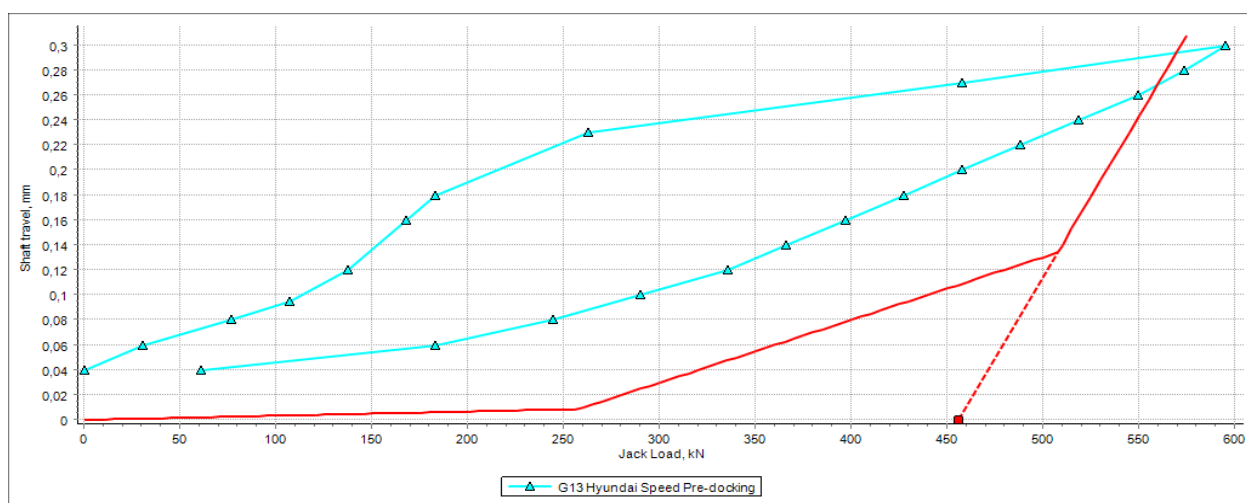


Рис. 3. Розбіжність розрахунків для підшипника тв1 двигуна.

Мета роботи. Вивчити джерела розбіжностей, які спостерігаються при обробці результатів підйому валу гідродомкратом, та розробити рекомендації для уточнення моделі валопроводу з метою точнішого вимірювання навантажень на підшипники.

Робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаної літератури з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи складається з 69 сторінок.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
					Опис процесів центрування валопроводу різними методами				Літ.	Арк.	Аркушів		
Студент		Лук'янцева М. В.										11	15
Консульт.		Шарун Г.В..							НУК				
Керівник		Шарун Г.В..											
Зав. кафедр.		Коростильов Л.І.											

1. Опис процесів центрування валопроводу різними методами

Неправильне центрування може призвести недопустимого навантаження підшипників та небажаних вібрацій, які викликають додаткові експлуатаційні розходи, скорочують термін служби обладнання.

По-перше, допустимий розподіл навантажень на підшипники спричиняє їхній прискорений знос та передчасний вихід з ладу. Через неправильне центрування підшипник отримує більше навантаження на одну частину, ніж на іншу. Таке явище може мати серйозні наслідки як для підшипників, так і для загальної роботи механізму.

По-друге, неправильне центрування може вплинути на утворення додаткових вібрацій у процесі роботи установки, що сприяє подальшому зносу підшипників і появі механічних пошкоджень. Виникнення вібрацій призводить до збільшення температури в зоні контакту підшипника з валом, відповідно збільшення тертя. Це негативно впливає на властивості мастильного матеріалу. Це, як наслідок, призводить до зростання споживання енергії.

Крім того, можливе явище зниження здатності сприйняття навантаження, що може визиває механічні пошкодження у системах з високими навантаженнями. Зношування може призвести до недопустимого розподілу навантажень на підшипники, що потребує частої їх заміни через поломки та збільшує витрати на технічне обслуговування.

Таким чином, значимість коректного центрування валу велика, вона безпосередньо впливає на допустимий розподіл навантажень, що забезпечує довговічність та надійність підшипників. Ця процедура дозволяє завчасно виявити потенційні проблеми установки та оперативно їх усунути, забезпечуючи безперебійну експлуатацію суднових установок.

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1. Процес центрування методом Jack-up тест

Jack-up тест — це важлива процедура, яка призначена для оцінки стану підшипників та валів у судових системах.

Він проводиться під час встановлення валопроводу, у процесі технічного огляду. Це робиться для того, щоб визначити роботу підшипників у різних умовах. Тест допомагає визначити, чи відповідають підшипники технічним вимогам, визначає небезпечні вигини, які можуть впливати на роботу судна.

Його суть полягає у підйомі валу з використанням гідравлічних домкратів для оцінки навантажень на підшипники, вертикального переміщення та деформацій валу відносно підшипників.

Домкрати необхідно обирати залежно від площі тиску. Самі гідравлічні домкрати оснащені манометрами для виміру тиску, необхідної для підйому валу. Варто не обирати домкрати великої вантажопідйомності, через те що манометр буде більш точним у діапазоні високого тиску.

Перед початком тесту необхідно перевірити рівномірність роботи обладнання та точність визначення. Нерівномірний підйом валу призводить до неточності результатів. Також вимірити зазори проміжного кормового та кормового підшипника двигуна. Якщо на якомусь з цих підшипників є нижній зазор, то для нього необхідно провести додаткові дії.

Для встановлення домкратів обираються контрольні точки. Заміри виконуються зазвичай для носового дейдвудного, біля проміжного, підшипника двигуна та маховика (рис 1.1.1).

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

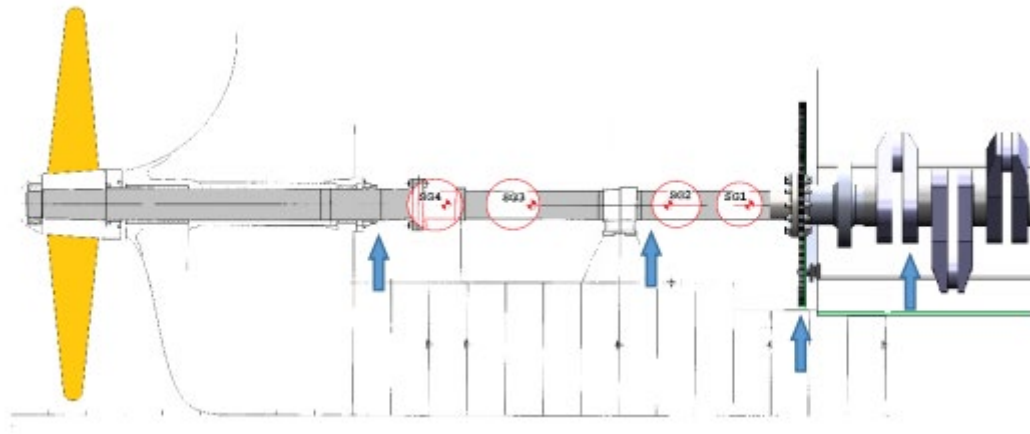


Рис.1.1.1 Загальна схема розташування гідродомкратів

Для забезпечення точності можуть використовувують додаткові аксесуари, наприклад це може бути шкали або механічні індикатори зміщення, індикатор часового типу.

Встановлення домкрату для вимірювання проміжного підшипника виконується на жорсткій основі якомога близько до підшипнику. Наочно можемо спостерігати на рис. 1.1.2.

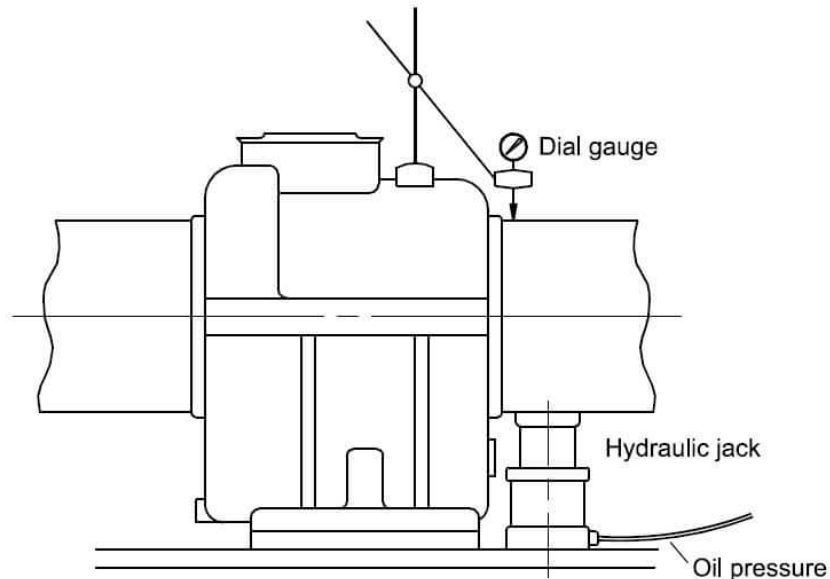


Рис. 1.1.2 Розташування домкрату біля проміжного підшипника.

За допомогою домкратів починають плавно підіймати вал у контрольованих умовах, зазвичай у межах 0,5-1 мм.

Jack-up тест маховика трохи відрізняється від інших підшипників. Домкрат повинен стояти на жорсткій основі, маховик повинен стояти на домкраті двома зубцями. Між домкратом та маховиком ставлять суцільний сталевий стержень для правильного розподілу навантажень (рис. 1.1.3). Індикатор для визначення зміщень можна помістити на маховик, на вал за маховиком, як вказано на малюнку.

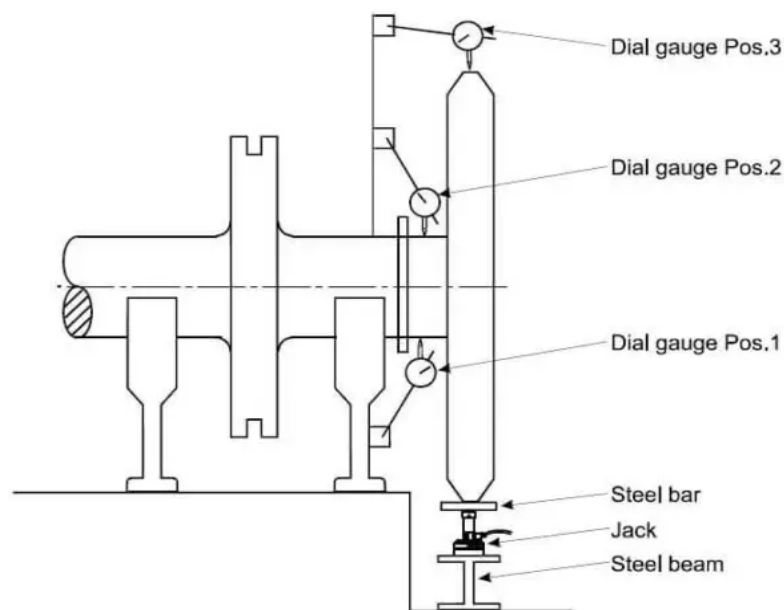


Рис. 1.1.3 Встановлення домкрату та можливе розташування індикатору на маховик.

Якщо розглядати установку гідродомкрату на кормовий підшипник двигуна (рис. 1.1.4), то ми бачимо, що необхідно циліндр поставити в горизонтальне положення по напрямленню до сторони випуску. Необхідно встановити балку домкрату і після цього поставити домкрат біля підшипника.

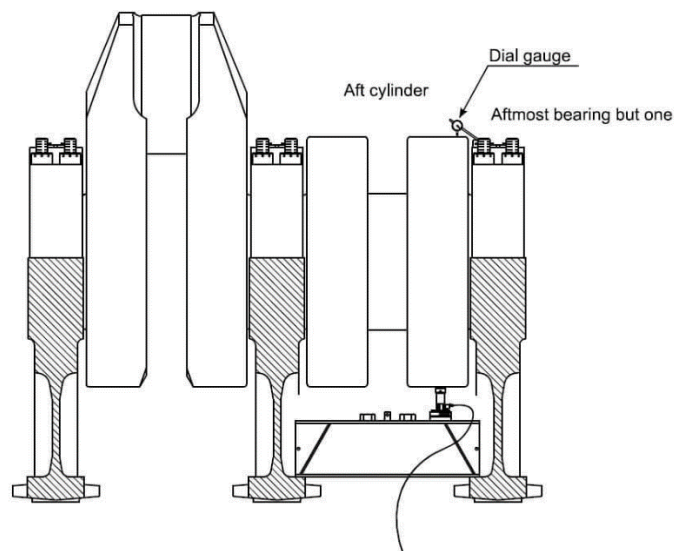


Рис. 1.1.4 Розташування гідродомкрату біля кормового підшипника двигуна.

Під час проведення тесту реєструються вертикальні зміщення, зміна тиску домкрату, на основі всіх результатів будуються графіки, які згодом порівнюють з теоретичними розрахунками.

Виконання Jack-up тесту представляє необхідну міру для забезпечення безпеки, надійності та ефективності роботи судна під час майбутніх операцій, що суттєво знижує вірогідність неочікуваних несправностей та підвищує економічну доцільність його експлуатації.

1.2 Центрування та визначення навантажень за допомогою датчиків

Центрування валопроводу за допомогою датчиків – це один з найбільш точних методів вирівнювання. Його суть полягає у вимірюванні відхилень положення валу відносно його заданої осі. Він дозволяє бачити результати в реальному часі. Процес центрування – це підготовчий процес до визначення навантажень на підшипники. Для цих двох процесів використовують різні датчики, але технологія вимірювань однакова.

Існують різні типи сенсорів для центрування, їх вибір залежить від потреб. Найбільш популярні сенсори для використання у вирівнюванні валопроводу можуть бути наступні:

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Потенціометричні датчики – використовуються для лінійних відхилень. Призначений для вимірювань та перетворень у електричний сигнал лінійних або кутових переміщень, в залежності від характеру переміщення рухомого контакту. Для потенціометричних перетворювачів лінійних переміщень резистивний елемент виконується на прямому каркасі необхідної довжини. Резистивний елемент для каркасу потенціометричних перетворювачів кутових переміщень виготовляється у вигляді дуги кола, робочий кут менший за 360 градусів. Наглядно потенціометричні датчики представлені на рис.1.2.1.
2. Індуктивні датчики (рис.1.2.2) – безконтактний датчик, мають високу чутливість до навіть невеликих відхилень. Використовуються для визначення вертикальних та горизонтальних переміщень. Окрім переміщень можна визначити зазори у підшипниках, моніторити вібрацію валу та контролювати зміни положення валу або підшипників.
3. Оптичні датчики (рис. 1.2.3) – лазерні пристрої, які використовують для визначення переміщень валопроводу. Мають високу точність результатів на різних відстанях.

Встановленні датчики у різних зонах контролю (валопровід або підшипники) дають точно визначити переміщення валу у декількох осях.



Рис. 1.2.1 Потенціометричні датчики лінійних та кутових переміщень



Рис. 1.2.2 Індуктивний датчик



Рис. 1.2.3 Приклад опричного датчику

Для визначення навантажень зазвичай використовують такі сенсори:

- 1) Тензометричні датчики (рис.1.2.4) мають підвищену точність. Вони складаються з пружної деталі, яка сполучена з тензорезистором. Навантаження діє на деталь, деталь деформується, рівень деформацій відстежується тензорезистором. Таким чином датчики можуть визначити статичні та динамічні навантаження.
- 2) П'єзоелектричні датчики (рис.1.2.5) - використовують п'єзоелектричний ефект шляхом перетворення деформацій в

електричний заряд. Вони підходять для визначення динамічних навантажень. Датчики мають дуже велику чутливість.



Рис. 1.2.4 Види тензодатчиків



Рис. 1.2.5 П'єзоелектричні датчики

Метод центрування за допомогою датчиків забезпечують точність до 1 мкм. Можна здійснювати контроль вимірювань у реальному часі та дистанційно.

До кожного етапу має дуже важливе значення, від підготовки залежить точність вимірювань.

Першим чином необхідно перевірити технічний стан приладів, виконати їх калібрування: перевірити лінійність сигналу, чутливість, фокусування, налаштування порогових значень та інші важливі характеристики. Зазвичай датчики розташовують біля підшипників, ці зони є найважливішими для оцінки стану валопроводу. Далі необхідно встановити прилад на кронштейни, які

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинні бути виготовлені з матеріалу що не піддається впливу вібрацій. Також можуть використовуватись амортизуючі елементи.

Для вимірювань навантажень датчики встановлюються безпосередньо на поверхню або елементи конструкції підшипників.

Розташування датчиків залежить від потреб вимірювань. Для вертикальних переміщень датчики необхідно закріплювати зверху або знизу валопроводу, та максимально близько, як це можливо, до підшипника. Для визначення вертикальних навантажень розташовують зверху або знизу підшипників. Така зона розташування дозволяє отримати результати з високою точністю.

Радіальні зміщення та навантаження отримуємо за допомогою розташування датчиків перпендикулярно до осі валопроводу. Така зона розташування дозволяє виявити відхилення валу від центру.

Необхідно використовувати спеціальні калібрувальні інструменти, щоб точно розташувати датчики.

Після процесу калібрування, налаштування та встановлення датчиків запускається вимірювальна система. На основі зміни магнітного поля індуктивні датчики генерують відповідний сигнал. Потенціометричні датчики генерують на основі механічного переміщення рухомих частин. П'єзоелектричні датчики реагують на зміну сили шляхом генерації електричного сигналу. Тензодатчики перетворюють зміну механічної напруги в електричний сигнал. Результати передаються у програму, де відображаються графіки радіальних та вертикальних переміщень та навантажень.

Наступним кроком є виконання вирівнювання валопроводу на основі отриманих графіків, після чого проводять повторне вимірювання переміщень валу.

Метод центрування валопроводу та визначення навантажень н підшипники за допомогою датчиків хоч складне, але має велику точність у вимірюванні. Усі типи датчиків (потенціометричні, індуктивні, оптичні, тензодатчики та п'єзоелектричні) дозволяють виявити найменші вертикальні та радіальні

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відхилення валопроводу та навантаження на підшипники. Така точність допомагає розподілити навантаження на підшипники у рамках допустимості, що продовжує термін служби всієї системи.

1.3 Процес центрування за допомогою лазерного обладнання

Лазерні прилади не можуть на пряму визначати навантаження на підшипники валопроводу, але точне центрування, яке вони забезпечують, дозволяє розподілити навантаження у межах допустимих значень на всі підшипники.

Центрування за допомогою лазерного обладнання - це сучасний метод вирівнювання валу, який і на даний момент вдосконалюється. Лазерні установки складаються з лазерного випромінювача, приймача та інших пристроїв, якими кріпляться лазерні пристрої до валу.

Суть цього методу полягає у вирівнюванні одного або більше валів по одній спільній осі за допомогою одного або двох лазерів. Фіксуються відхилення лазерного променя, і аналізується якість центрування валопроводу. Аналізує та відображає всі результати спеціальна програма. Результати можуть бути представлені у вигляді графіків або ж у числовому вигляді. Оператор, який проводить заміри, повинен повністю володіти навиками роботи з програмним забезпеченням.

Центрування лазерами вирізняється своєю точністю, яка може досягати близько 0,01 мм. Вирівнювання таким методом може проводитись навіть у важко доступних місцях, таких як зони дейдвудного підшипника, підшипника двигуна.

Лазерні пристрої визначають три види зміщень:

- 1) паралельні переміщення, виникають, коли вали у паралельному положенні, але не знаходяться на одній лінії (рис. 2.3.1);
- 2) кутове переміщення виникає, коли один вал знаходиться під кутом до іншого (рис. 2.3.2);

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) комбінованим переміщенням називають процес, коли два вали мають як паралельне так і кутове переміщення (рис.2.3.3).

Усі переміщення можуть виникати як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах.

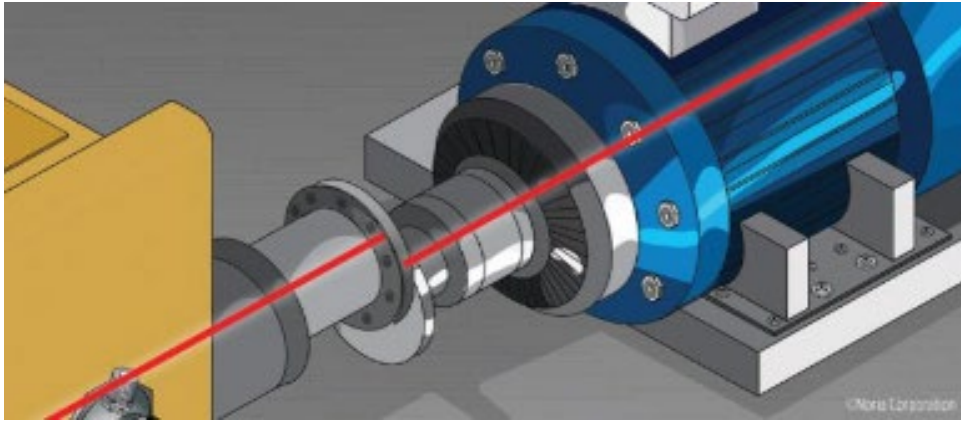


Рис.2.3.1 Приклад паралельного переміщення.

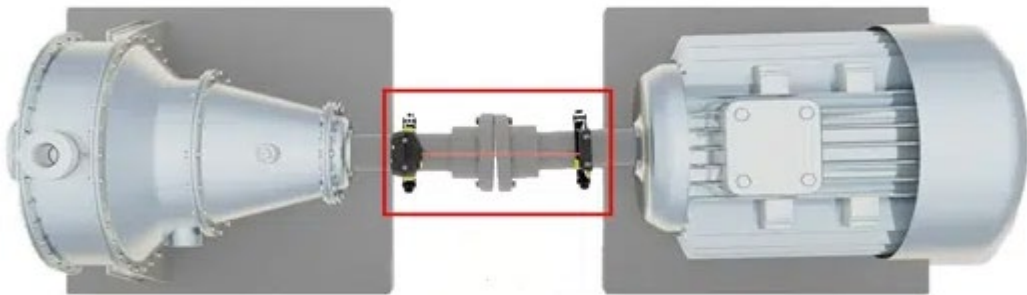


Рис.2.3.2. Приклад кутового переміщення.

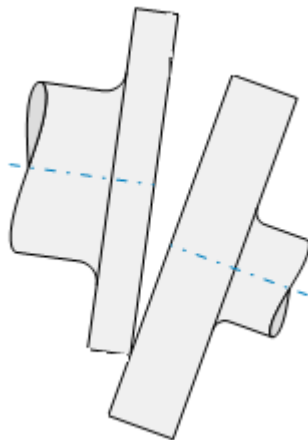


Рис. 2.3.3. Приклад комбінованого переміщення.

Існує два типи вимірювань за допомогою лазерних установок:

- 1) система, яка використовує один лазер. В якій лазерний промінь відбивається спеціальним пристроєм назад на лазерний детектор;
- 2) система, яка використовує два лазери. Кожен лазерний пристрій оснащений вбудованим детектором, який фіксує відхилення променів.

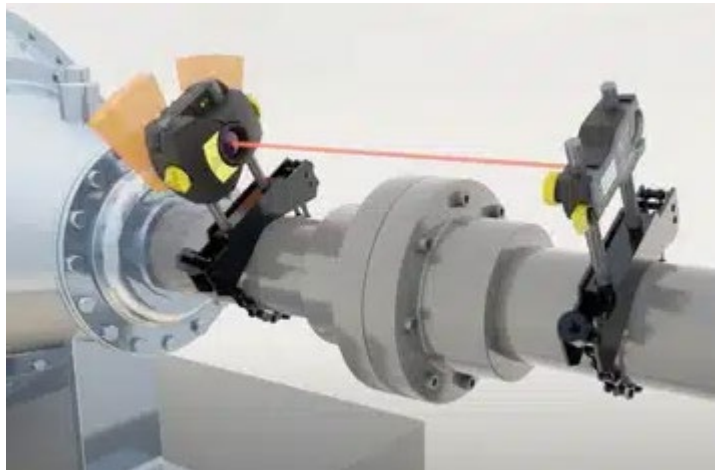


Рис. 2.3.4 Робота з двома лазерами

Для довгих валів доцільно використовувати систему з одним лазером. У таких випадках зручніше коригувати одну фіксовану базову позицію, а не двох різних точок.

Перед початком роботи з лазерним пристроєм у першу чергу необхідно виконати попереднє налаштування: перевірити технічний стан та відкалібрувати системи, для отримання точних даних. Далі необхідно закріпити на кронштейни лазерний випромінювач та приймач.

Для системи з одним лазерним пристроєм випромінювач встановлюється на початковій точці на валопроводі або біля необхідного підшипника, розташування залежить від необхідної точки вимірювання. Приймач встановлюється на іншому валу або в контрольних точках. Лазерний

випромінювач спрямовує промінь уздовж осі валу, визначаючи відхилення від початкової точки.

У системі з двома лазерами процедура установки співпадає з системою з одним лазером. Відмінністю є наявність на кожному лазерному пристрої приймача. Така система дає можливість отримати більш точні результати зміщень.

Усі результати передаються у програму для аналізу, яка показує 3D-зображення системи. Наочний приклад на рис.2.3.5



Рис.2.3.5. Зображення 3D-зображення при лазерному centruванні.

Правильне вирівнювання валопроводу за допомогою лазерних пристроїв дає змогу розподілити навантаження на підшипники у межах допустимих значень, що значно зменшує вірогідність поломок, зносу підшипників та механічних деформацій. Завдяки високій точності лазерних пристроїв можна визначати мінімальні переміщення, що може мати великий вплив на стан підшипників, та запобігти утворенню локальних перенавантажень у зоні контакту підшипника з валом. Центрування лазерним методом може зменшити передчасний вихід з ладу підшипників, та забезпечити подальшу довгострокову ефективність та надійність їх роботи.

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4. Висновок

У розділі було розглянуто три основні методи центрування валопроводу судна у різних умовах експлуатації. Кожен з них мають свої особливості, переваги, але мають спільну мету – розподілення навантажень на підшипники у межах допустимих значень, точне вирівнювання валопроводів судна, забезпечують правильну та стабільну роботу підшипників та всієї системи судна.

Обирають яким методом користуватись в залежності від потреб, особливостей конструкції валу та аспектів, на які більше необхідно приділити увагу.

Наприклад, Jack-up тест застосовують при необхідності визначити деформації та небезпечні вигини валопроводу. Також для оцінки стану підшипників та валопроводу під час монтажу або технічного огляду.

Коли необхідно отримати вимірювання у реальному часі та з дуже великою точністю обирають метод центрування за допомогою датчиків. В залежності від умов можна обрати індуктивні, потенціометричні або оптичні датчики. Якщо необхідно визначити окрім вертикальних зміщень зазори підшипників, то приходять до індуктивних. Необхідно зафіксувати лінійні або кутові переміщення валу у цій сфері використовують потенціометричні датчики. Для визначення навантажень на підшипники можна обрати тензодатчики або п'єзоелектричні.

Для вирівнювання довгих валів, вимірювання у важкодоступних місцях таких як підшипник дейдвудної труби або двигуна обирають метод центрування лазерними пристроями.

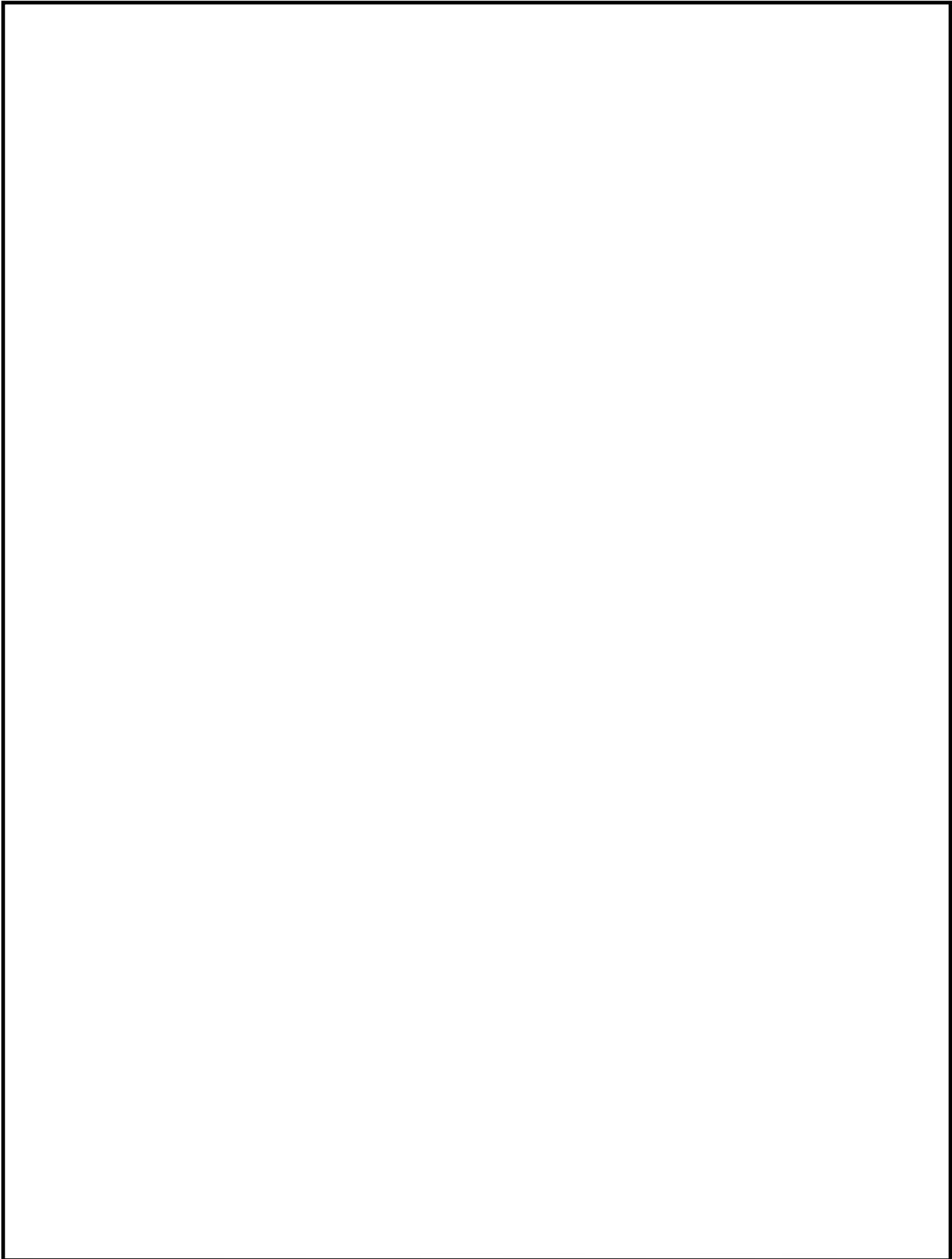
Всі методи можуть доповнювати один одного та при необхідності можна використовувати їх одночасно для кращої точності.

Відсутність правильного вирівнювання валопроводу може поставити під загрозу підшипники, всю систему, судно, вантаж, навколишнє середовище та безпеку екіпажу. Також ці методи дозволяють мінімізувати ризики, забезпечити

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

економічну доцільність, що є не менш важливим аспектом у сучасному судноплаванні.

					19.ДРМ.135.6116.ПЗ.06	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Фактори впливу та оптимізація навантажень підшипників судових валопроводів	Літ.	Арк.	Акрушів
Студент	Лук'янцева М.В.						27	6
Консульт.	Шарун Г.В.					НУК		
Керівник	Шарун Г.В.							
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.							

2. Фактори впливу та оптимізація навантажень підшипників судових валопроводів

Підшипники – один з найважливіших елементів валопроводу. Вони забезпечують підтримку валу та його обертання з мінімальними витратами енергій. Стан підшипників прямо впливає на безпечну та ефективну роботу всієї системи. Правильний розподіл навантажень на підшипники забезпечує їхню довгострокову роботу, запобігає передчасному зносу та мінімізує аварійні випадки.

Фактори, що впливають на навантаження підшипників валопроводу, є різноманітні та можна поділити на три групи:

- Фізико – механічні;
- Інсталяційно – експлуатаційні;
- Експлуатаційні.

Ці всі фактори необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації валопроводів, та будуть детально розглянуті у даному розділі.

2.1. Класифікація факторів, що можуть впливати на навантаження підшипників.

Розглянемо основні чинники, що можуть впливати на навантаження підшипників. Перше – це фізико – механічні, вони виникають ще на етапах проектування або монтажу валопроводу, та є одними з важливіших чинників, що може спричиняти недопустимий розподіл навантаження на підшипники. Ці фактори містять механічні характеристики та тип металу елементів валопроводів та підшипників.

До фізико-механічних факторів відносяться геометрія, матеріали, зазори, жорсткість підшипників та температура.

Геометрія підшипника важливий аспект в отриманні у межах допустимих значень розподілу навантажень. Цей аспект визначає які допустимі значення

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантажень будуть передаватись на поверхню контакту і, відповідно, як підшипник витримуватиме навантаження. Правильно підібрана геометрія дозволяє мінімізувати знос, забезпечити стабільну роботу механізму. Значний вплив на здатність витримувати навантаження має матеріал, з якого зроблений підшипник. Підшипники виробляються з різних сплавів та металів, що важливо для забезпечення міцності, стійкості до зношування та корозії.

Зазори між підшипником та валом мають важливе значення для стабільної роботи системи. Занадто великі або навпаки маленькі зазори можуть призвести до недопустимих значень навантаження на підшипники валопроводу. Маленький розмір зазорів можуть призвести до перенавантаження та, як наслідок, збільшення тертя підшипника об вал. Обертаючись вал знаходиться у прямому контакті з підшипником, це призводить до збільшення тертя. Наслідком такого процесу є плавлення металу підшипника, приклад зображено на рис.2.1.1. Також занадто великі зазори призводять до недостатнього навантаження, що погіршує контакт валу з підшипником.



Рис.2.1.1 Плавлення підшипника внаслідок збільшеного тертя.

В умовах роботи у високих температурах зазори збільшують для компенсації теплового розширення матеріалу. У низьких температурах навпаки зазори зменшують для кращого контакту підшипника з валом.

Висока температура змінює властивості металу, що впливає на здатність витримувати великі навантаження. Також вплив високої температури на

матеріал призводить до деформацій підшипників. До того ж, температурні зміни впливають на властивості мастила, що у свою чергу впливає на тертя.

Важливу роль у розподілі навантажень грає жорсткість підшипників. Підшипник з недостатньою жорсткістю має можливість змінювати свою форму під впливом навантажень, що призводить до недопустимих значень навантажень. Внаслідок виникають локальні перенавантаження. Це призводить до швидкого зносу.

Підшипники з високою жорсткістю не мають достатньої амортизації для динамічних навантажень, що може призвести до виникнення додаткових сил, які збільшують навантаження на певні частини підшипника.

Оптимальна жорсткість підшипника забезпечує стабільний контакт підшипника з валом, ефективно розподіляючи навантаження. Якщо жорсткість підшипника не відповідає умовам експлуатації, підшипники зазнають локальних перенавантажень, що призводить до швидкого зношування.

Всі вище перелічені фізико – механічні фактори безпосередньо впливають на ефективність роботи підшипників, знижують ймовірність перевантаження або недовантаження та продовжують термін служби всієї системи.

Інсталяційно – експлуатаційні включають в себе важливі етапи монтажу та умов роботи підшипників. Дані фактори розглядають правильне налаштування, ефективну взаємодію між валом та підшипником в умовах експлуатації. Вони мають велику роль у визначенні коректного або некоректного розміщення елементів, що призводить до перенавантаження та недовантаження, перегріву та зносу підшипників.

До інсталяційно – експлуатаційних факторів відносяться зміщення та нахил підшипників, центрування.

Застосовують вертикальне та горизонтальне зміщення підшипників для розподілу навантажень на підшипники у межах допустимих значень. Завдяки вертикальному зміщенню можна оптимізувати точки контакту підшипника та валу, що впливає на зменшення перенавантаження та локальному зносу

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підшипника. Горизонтальне зміщення допомагає змінити точку контакту підшипника та валу, що сприяє більш отриманню навантажень у межах допустимих значень по контактних площинах. Дана процедура мінімізує перенавантаження та недовантаження підшипників, забезпечує стабільну роботу системи.

Нахил підшипника виникає, якщо підшипник не встановлювати по осі валопровода або через асиметричний монтаж. Причиною цього може стати помилки при монтажі або неправильних кріпильних елементів. При наявності нахилу одна частина підшипника відчуває більше навантаження, ніж інша. Таке явище призводить до недопустимих значень навантажень, що створює виникнення локальних сил на контактних точках та збільшує тертя між підшипником та валом.

Невірне центрування підшипників відносно валу виникає через деформації підшипників, неправильне вирівнювання компонентів під час монтажу. Некоректне вирівнювання створює перекошування валу, це призводить до недопустимого розподілу навантаження на підшипники. Також воно впливає на збільшення тертя та вібрацій, внаслідок виникає прискорений знос.

Експлуатаційні фактори стосуються впливу експлуатаційних умов і зовнішніх чинників на підшипники. До них відносять стан мастила, вібрації та удари.

Вібрації виникають через роботу валопроводу, двигуна, що спричиняє механічні коливання. Ударні навантаження виникають через раптові зміни режиму роботи (запуск та зупинка двигуна). Додаткові вібрації впливають на створення циклічних перенавантажень. Удари призводять до пікових навантажень. Через ці аспекти виникають механічні пошкодження та збільшують знос підшипників.

Також не менший вплив на отримання допустимих значень навантаження підшипників має стан мастила. Недостатня кількість мастила у підшипниках не створює належного захисного шару між контактними поверхнями валу та

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підшипника. Внаслідок зменшується зазор та з'являється локальне нагрівання. Це призводить до перенавантаження. Також навпаки, велика кількість мастила викликає опір обертанню та порушується контакт валу з підшипником, через це виникає недовантаження підшипника.

2.2. Автоматизація роботи системи та моніторингу підшипників.

Автоматизація систем управління підшипниками забезпечує збір, аналіз та використання отриманих даних для моніторингу їх стану та оптимізації навантажень. Такі заходи зменшують вплив людського фактора, дозволяють своєчасно реагувати на можливі несправності.

Для отримання інформації про роботу підшипників автоматизовані системи інтегрують різні типи датчиків. Технології контролю були детально розглянуті у «1.Опис процесів центрування валопроводу різними методами». Були визначенні необхідні датчики контролю навантажень на підшипники у реальному часі: тензодатчики та п'єзоелектричні датчики, які мають високу точність і допомагають постійно слідкувати за станом підшипників.

Отримані дані з датчиків передаються до централізованого блоку управління, де вони оброблюються в режимі реального часу. Алгоритми аналізу визначають, чи відповідають результати нормам. Наступним кроком система сигналізує оператору і виконуються необхідні дії або регулюючі пристрої автоматично запускають відповідні заходи, наприклад, регулювання подачі мастила або навіть зупинка всієї системи при критичних відхиленнях.

Автоматизація систем дозволяє коригувати розподіл навантажень на підшипники. Також ця система у разі необхідності сама прогнозує, коли необхідне втручання, на основі фактичного стану підшипників замість планового техобслуговування. Даний аспект дозволяє зменшити витрати на обслуговування, уникнути простоїв та продовжує термін служби підшипників.

Також автоматизація робіт системи забезпечує безпечну та економічно доцільну роботу підшипників, що є критично важливим для судових систем.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Висновок

Підшипник валопроводу – один з найважливіших елементів суднової системи, що забезпечує стабільність і підтримку всієї системи.

У цьому розділі були детально розглянуті основні чинники, що впливають на розподіл навантажень на підшипники валопроводу, та можливості їх оптимізації.

Стан підшипників валу прямо залежить від комплексу факторів, які розбиті на три групи: фізико – механічні, інсталяційно – експлуатаційні та експлуатаційні фактори. Можна зробити висновок, що необхідно слідкувати за правильністю підбору геометрії, розміром зазору між підшипником та валу на стадії проектування та правильно обирати жорсткість підшипників. Неправильне проектування призводить до недопустимого розподілу навантаження. Неналежні зміщення, нахил підшипника, центрування важливі фактори на етапі монтажу та технічного огляду, які впливають на навантаження та правильну роботу підшипників. На експлуатаційному етапі важливо звертати увагу на вплив масла, ударних навантажень та додаткових вібрацій, які також викликають перенавантаження у локальних місцях підшипників.

Прийшли до висновку, що автоматизація роботи системи важливий аспект як для експлуатації так і для економічної ефективності. Використання сучасних технологій, таких як датчики в автоматизованих системах забезпечує постійний контроль навантажень та стану підшипників загалом. Так системи дозволяють прогнозувати можливі несправності, автоматично коригувати розподіл навантажень, це допомагає зменшати витрати на обслуговування, збільшує термін служби, забезпечує надійну роботу всієї системи. Оптимізація навантажень на підшипники є важливим фактором, який впливає на безпеку та ефективність судноплавства.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
					Визначення джерел розбіжностей, що спостерігаються під час Jack- up тесту	Літ.		Арк.	Акрушів		
Студент		Лук'янцева М.В.							34	8	
Консульт.		Шарун Г.В.				НУК					
Керівник		Шарун Г.В.									
Зав. кафедр.		Коростильов Л.І.									

3. Визначення джерел розбіжностей, що спостерігаються під час Jack- up тесту

Після підняття валопроводу за допомогою гідродомкратів ми отримуємо діаграми типу рис.3.1, які показують залежність між навантаженнями на домкрат та вертикальними зміщеннями. Для прикладу, на цій діаграмі зображено дві криві, які відповідають процесам поступового підйому та спуску валу, чотири точки злому.

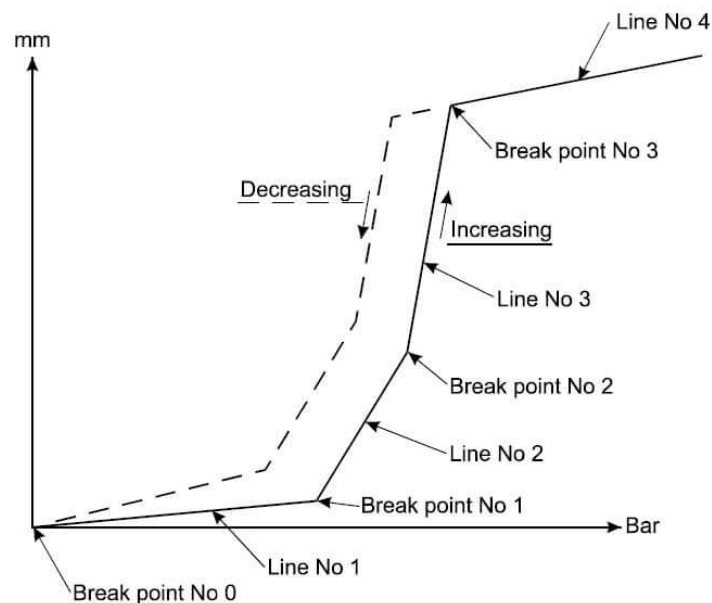


Рис. 3.1. Діаграма результатів Jack- up тесту

На діаграмі спостерігаємо такі основні етапи:

- Точка 0 вказує на відсутність будь-яких навантажень на гідравлічні домкрати. У такому стані валопровід повністю спирається на підшипник.
- У точці 1 спостерігаємо початок процесу підйому валопроводу. У цей момент відбувається процес відривання валопроводу від підшипника та перенос всього навантаження з підшипника на домкрат.
- Точка 2 вказує на повне перенесення навантаження з другого підшипника на гідродомкрат. Ця точка вказує на завершення першого етапу підйому.

- У точці 3 тиск швидко зростає, отже зазор між верхньою поверхнею вкладиша підшипника та валом дорівнює нулю.

3.1. Опис пропульсивної установки

Для дослідження було взято установку судна, яке знаходиться в стадії підготовки до докування, метою якого є зміна кількості лопатей для зменшення обертів двигуна з екологічних причин, Hyundai Speed 13100. Для підготовки судна до докування було проведено низку перевірок, у тому числі випробування Jack-up тест. Дана суднова установка складається з двигуна HYUNDAI MAN&BW типу 12K98ME-C7. Двигун був змодельований як еквівалентна балка у програмному забезпеченні ShaftDesigner (рис. 3.1.1).

Дизельний двигун має наступні характеристики:

- потужність 72240 кВт;
- частота обертання при MCR (максимально допустима потужність) 104об/хв;

Система має маховик з характеристиками:

- діаметр 4,078 м,
- вага 6,243 т.

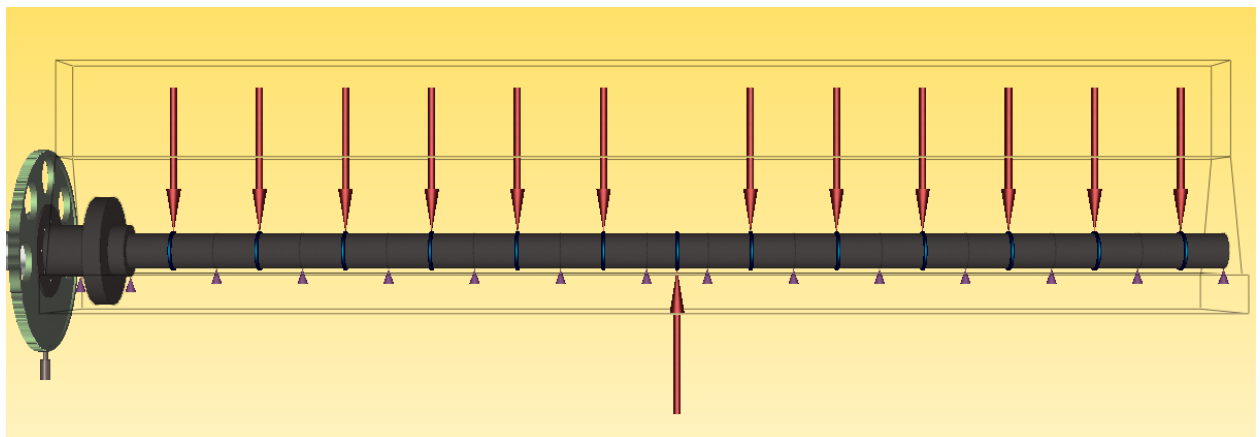


Рис. 3.1.1 3D модель еквівалентної балки змодельована у ShaftDesigner.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також установка складається з проміжного вала, гвинта з фіксованим кроком (6 лопатей, діаметр 8,8 м, діаметр маточини гвинта 1,960 м). Гребний вал знаходиться у середній дейдвудній трубі.

Для спирання валопроводу використовуються три типи підшипників:

- підшипники двигуна;
- проміжний підшипник;
- носовий і кормовий підшипники дейдвудної труби.

Всі підшипники мають білий метал та змащуються мінеральним мастилом.

Для проведення випробувань методом Jack- up тесту було встановлено три домкрати в таких зонах(рис. 3.1.2):

- в районі носового дейдвудного підшипника;
- з кормової сторони проміжного підшипника;
- на маховику

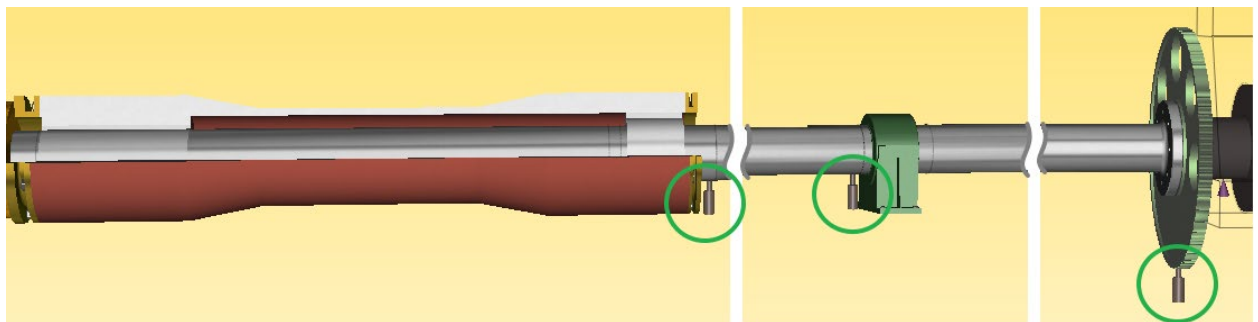


Рис.3.1.2 Розташування гідравлічних домкратів

3.2. Аналіз та підбір параметрів підшипників для узгодження теоретичних та фактичних результатів

Для досягнення необхідних результатів, узгодження результатів вимірювання навантаження на домкрати з розрахунковими кривими, були підбрані значення параметрів, які обговорюються в цьому підрозділі. Усі розрахунки виконувались за допомогою програмного забезпечення ShaftDesigner. Всі підшипники, крім кормового дейдвудного підшипника, моделювались як точкові опори.

Першим параметром, що підбирався, була жорсткість випробуваних підшипників, що було обумовлено невідповідністю нахилу теоретичної лінії в початковій ділянці з середнім нахилом вимірюваної діаграми.

У модель була додана пружна точкова опора на місці носового ущільнення з нульовим зазором і зміщенням, яке відповідає зміщенню носового дейдвудного підшипника. Це процедура була необхідна для врахування розбіжності нахилу теоретичної лінії після точки відриву з нахилом вимірюваної діаграми.

Далі підбирались значення для вертикального та горизонтального зміщення для носового дейдвудного, проміжного та крайніх підшипників двигуна.

3.2.1. Визначення жорсткості підшипників

Встановлено, що теоретичне значення жорсткості завищене. Тому було прийнято рішення збільшити фактичну жорсткість до 15 000 кН/мм для дейдвудного підшипника та 12 000 кН/мм для проміжного.

Для пружної точкової опори цей параметр може бути в межах від 20 до 80 кН/мм. Якщо теоретична крива крутіша вимірюваної, необхідно збільшити жорсткість опори і навпаки зменшити її, у випадку якщо теоретична діаграма йде більш круто. У даному випадку задля досягнення необхідних результатів прийнято рішення збільшити жорсткість для цієї опори до 250 кН/мм.

3.2.2. Визначення зміщень підшипників

Наступним кроком був підбір зміщень для крайніх підшипників двигуна (G13 и G26), проміжного підшипника (B12), пружної точкової опори та носового дейдвудного підшипника (FSTB). Початкові зміщення представлені у табл.3.2.1.

Табл.3.2.1 Вихідні дані для зміщення підшипників та опори.

Підшипник	Вертикальні зміщення, мм	Горизонтальні зміщення, мм
ASTB	1,380	0,000
FSTB	0,000	0,000

B12	3,843	0,000
G13	11,718	0,000
G14	11,887	0,000
G15	12,112	0,000
G16	12,227	0,000
G17	12,281	0,000
G18	12,276	0,000
G19	12,180	0,000
G20	12,056	0,000
G21	11,928	0,000
G22	11,723	0,000
G23	11,508	0,000
G24	11,243	0,000
G25	10,927	0,000
G26	10,552	0,000
G27	10,056	0,000

Підбір зміщень був здійснений шляхом збільшення або зменшення навантаження на випробовуваний підшипник. Це необхідно для коригування точки злому на діаграмі. Щоб зсунути точку вправо, необхідно збільшити навантаження на підшипник, піднявши або опустивши один або обидва суміжні підшипники. Якщо ж потрібно зсунути точку злому вліво, необхідно діяти протилежним чином.

Далі необхідно було визначити горизонтальні зміщення методом підбору. Цей прийом застосовувався у зв'язку з наявністю нелінійного характеру вимірної діаграми на початковій ділянці. Зміщення здійснювались у горизонтальному напрямку для першого підшипника двигуна, а також проміжного підшипника.

Зміщення носового дейдвудного підшипника були прийняті для пружної точкової опори Sealing.

Після всіх змін підібрані зміщення записані у табл.3.2.2.

Табл. 3.2.2

Підшипник	Вертикальні зміщення, мм	Горизонтальні зміщення, мм
ASTB	1,380	0,000
FSTB	0,000	0,000
Sealing	0,000	0,000
B12	0,100	0,100
G13	6,500	-1,200
G14	6,175	-1,147
G15	5,617	-1,057
G16	5,059	-0,967
G17	4,501	-0,877
G18	3,944	-0,786
G19	3,386	-0,696
G20	2,828	-0,606
G21	2,433	-0,542
G22	1,875	-0,451
G23	1,317	-0,361
G24	0,759	-0,271
G25	0,202	-0,181
G26	-0,356	-0,090
G27	-0,914	0,000

3.2.3. Висновок

Перш ніж всі методи були виконані, вертикальна і горизонтальна установка була такою, як показано на рис.3.2.3.1. Оскільки горизонтальні переміщення всіх підшипників дорівнюють 0мм, ми бачимо на схемі, що установка розташована на базовій лінії. Після зміни деяких параметрів, таких як горизонтальне і вертикальне зміщення та жорсткість підшипників, результати представлені на рис.3.2.3.2.

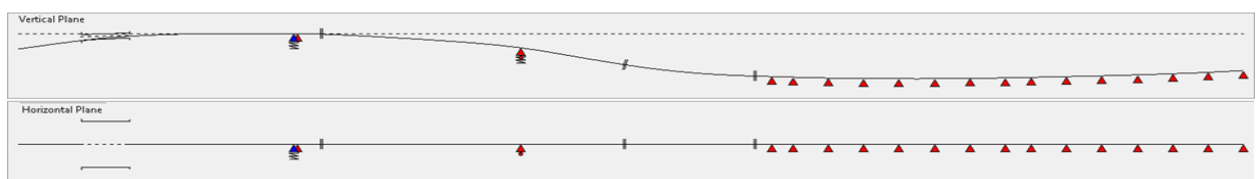


Рис.3.2.3.1 Положення валопроводу, підшипників у площинах.

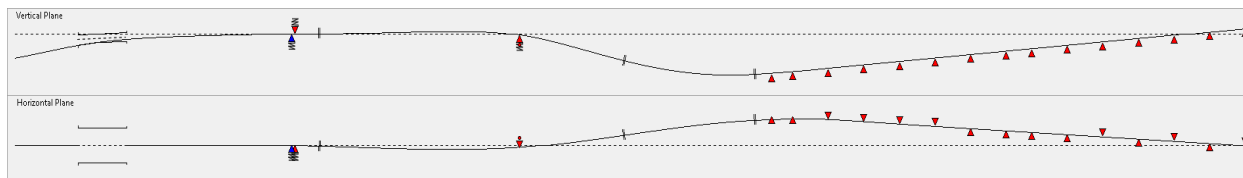


Рис.3.2.3.2 Положення валопроводу, підшипників після змін.

Після проведення симуляції підйому валу гідравлічними домкратами ми бачимо, що після точки відриву кут нахилу теоретичної і фактичної лінії збігаються на всіх підшипниках.

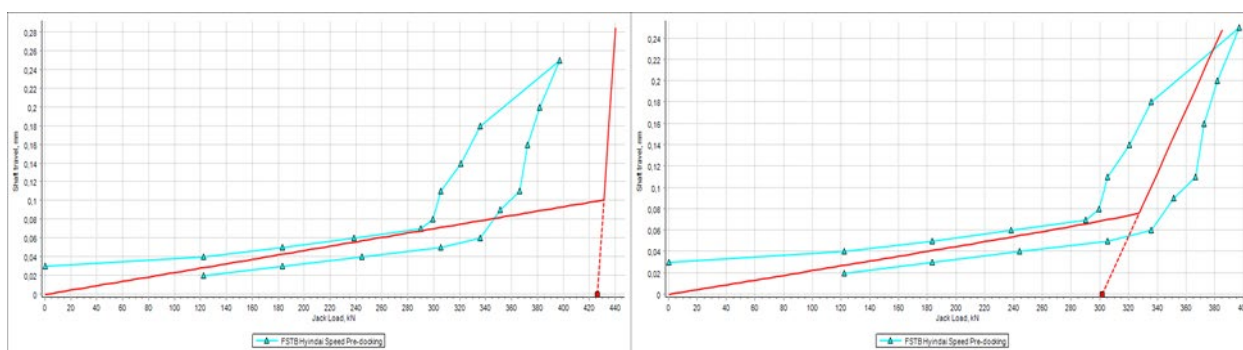


Рис.3.2.3.3 Діаграма підйому носового дейдвудного підшипника гідродомкратом.

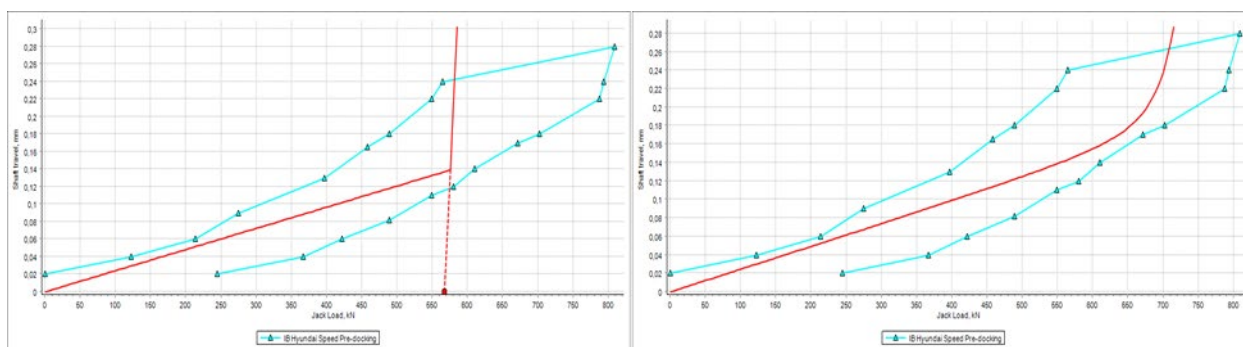


Рис.3.2.3.4 Діаграма підйому проміжного підшипника гідродомкратом.

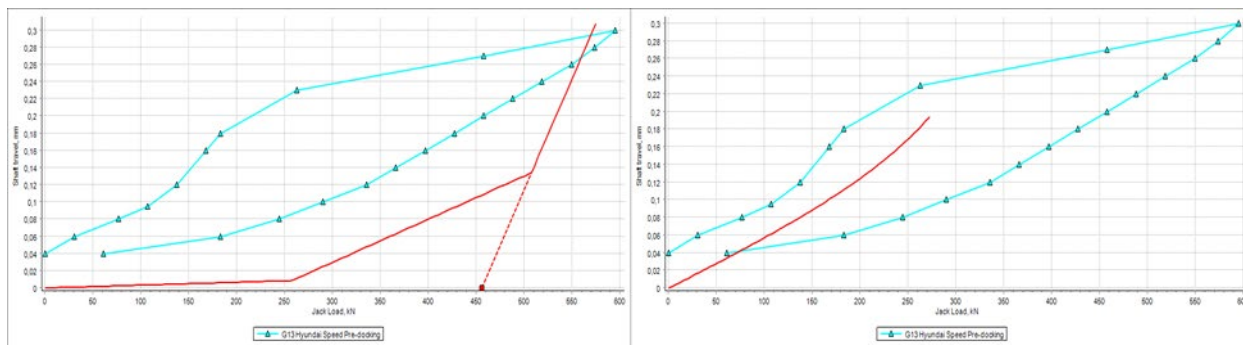


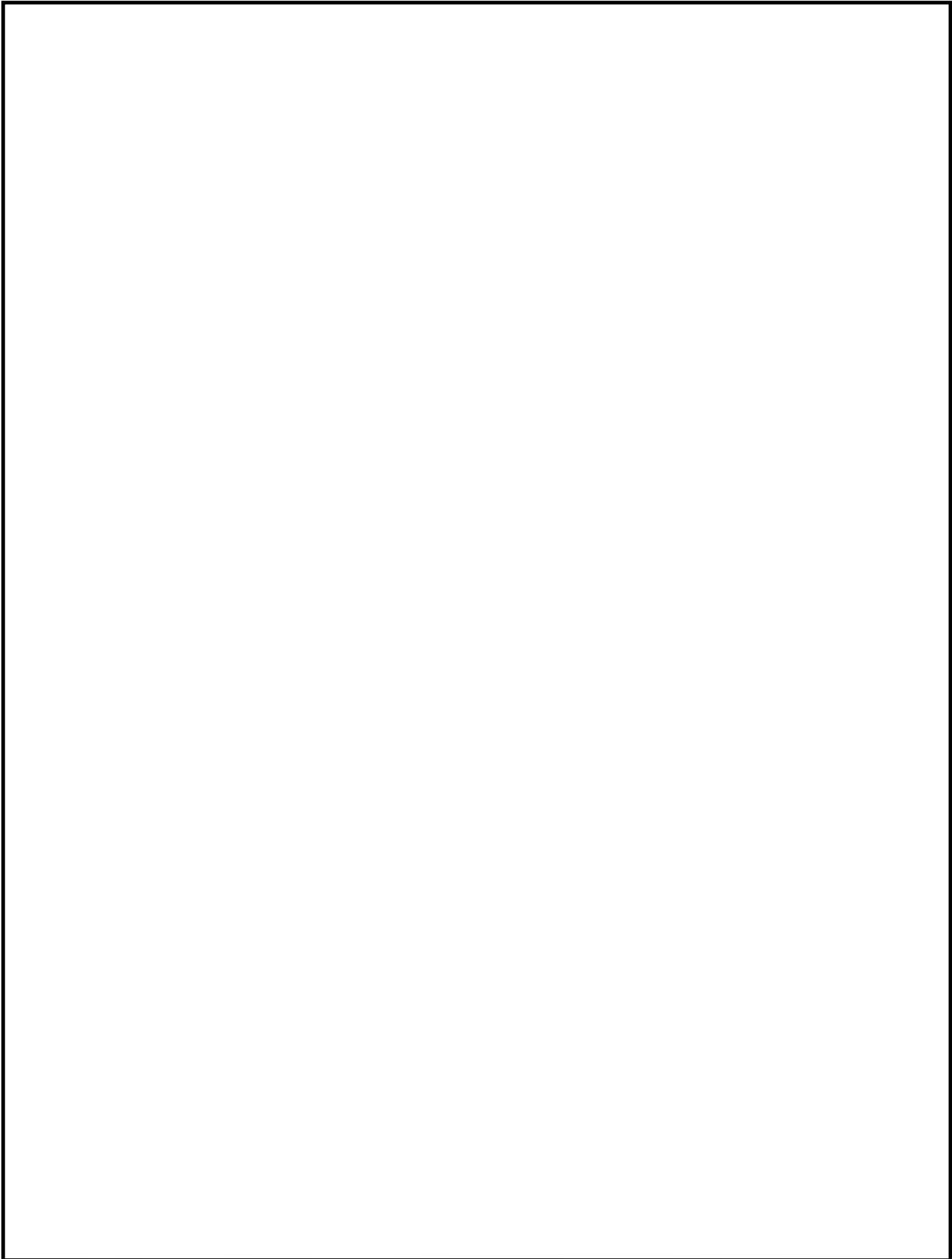
Рис.3.2.3.5 Діаграма підйому підшипника двигуна гідродомкратом.

Бачимо значення вертикальних зміщень зменшались, з'явилися незначні горизонтальні зміщення та збільшена жорсткість підшипників. Для співпадиння теоретичного та фактичного графіків була також враховувана жорсткість носового ущільнення дейдвудної труби. Саме ці фактори мають великий вплив на отримання більш точних результатів вимірювань навантажень підшипників суднових валопроводів.

Корекція таких параметрів дозволяє:

- покращити точність розрахункових моделей;
- отримати допустимі значення навантажень на підшипники;
- підвищити ефективність роботи суднової установки.

Для підтвердження допустимості внесених змін у параметри валопроводу з точки зору центрування, особливо у випадку значних модифікацій, після спуску судна на воду мають бути виконані післядокові вимірювання навантажень на підшипники. Якщо спостерігаються значні розбіжності між теоретичними діаграмами Jack-up тесту та отриманими фактичними, а умови проведення післядокових вимірювань збігаються з умовами переддокових вимірювань, процес ідентифікації параметрів валопроводу має бути повторений для підтвердження їхньої допустимості. Результати останніх вимірювань разом із протоколом вимірювань повинні бути збережені на борту судна.



					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Розрахунок колінчатого валу в системі SOLIDWORKS	Літ.	Арк.	Акрюшів
Студент	Лук'янцева М.В.						43	6
Консульт.	Шарун Г.В.					НУК		
Керівник	Шарун Г.В.							
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.							

4. Розрахунок колінчатого валу в системі SOLIDWORKS

Методом скінченних елементів в системі Solidworks було розраховано фрагмент колінчастого валу суднового двигуна. Скінченно-елементна модель була створена з використанням 3D Solid елементів. Було прийнято жорстке закріплення кінців колінвалу. Як зовнішнє навантаження застосувалася зосереджена сила посередині фрагменту колінвалу. Розрахунком були отримані переміщення та напруження, які діють в конструкції валу та представлені на рисунках нижче..

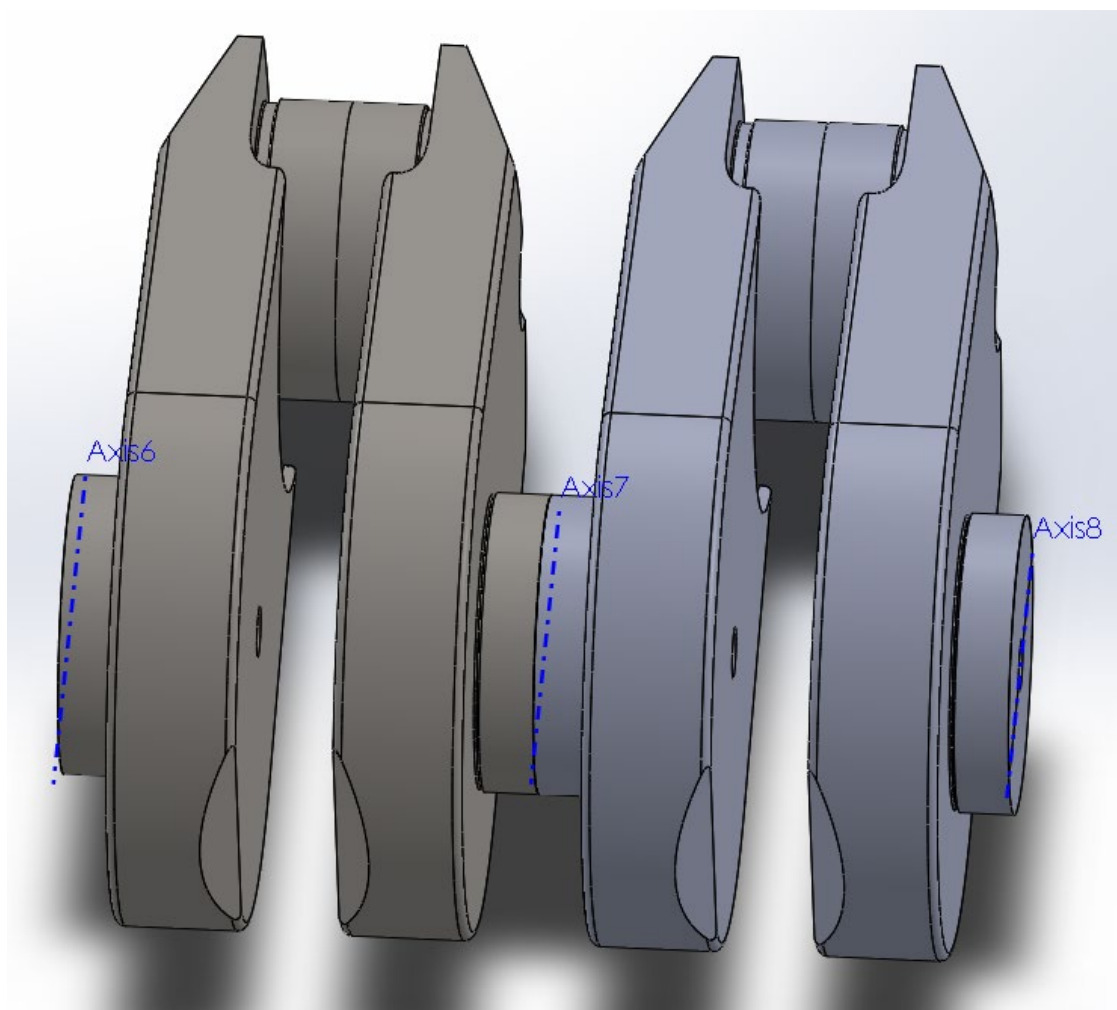


Рис. 4.1 Модель фрагмента колінчастого вала

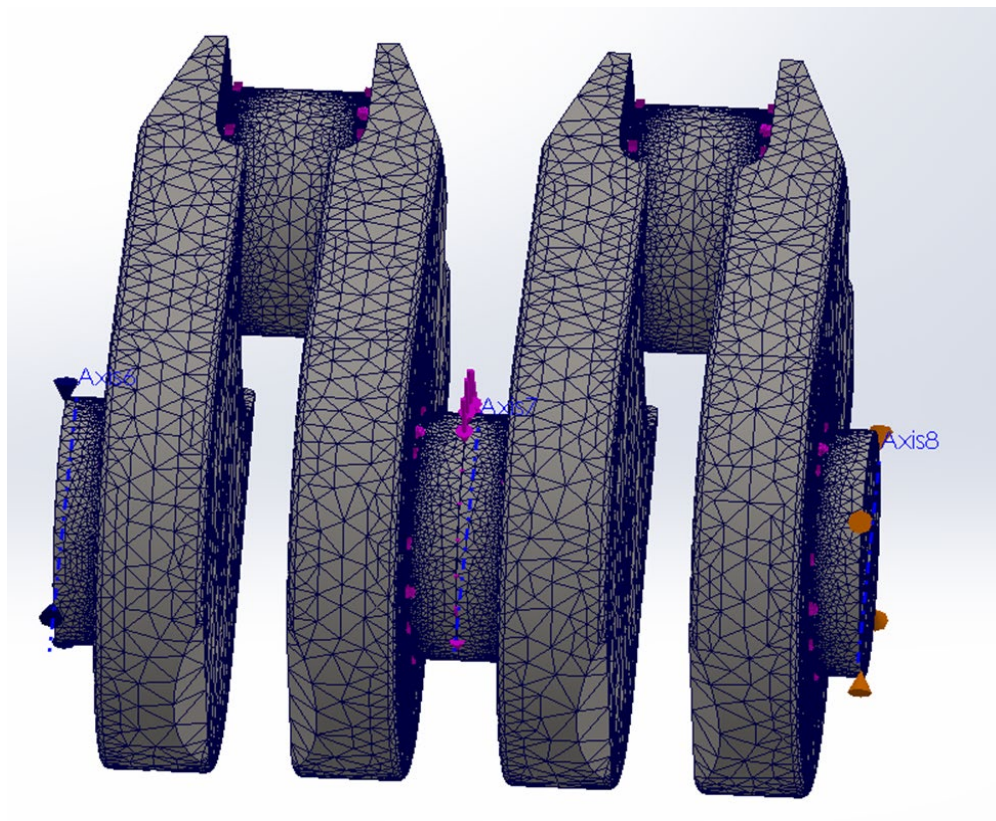


Рис. 4.2 Сітка скінченних елементів колінчастого вала

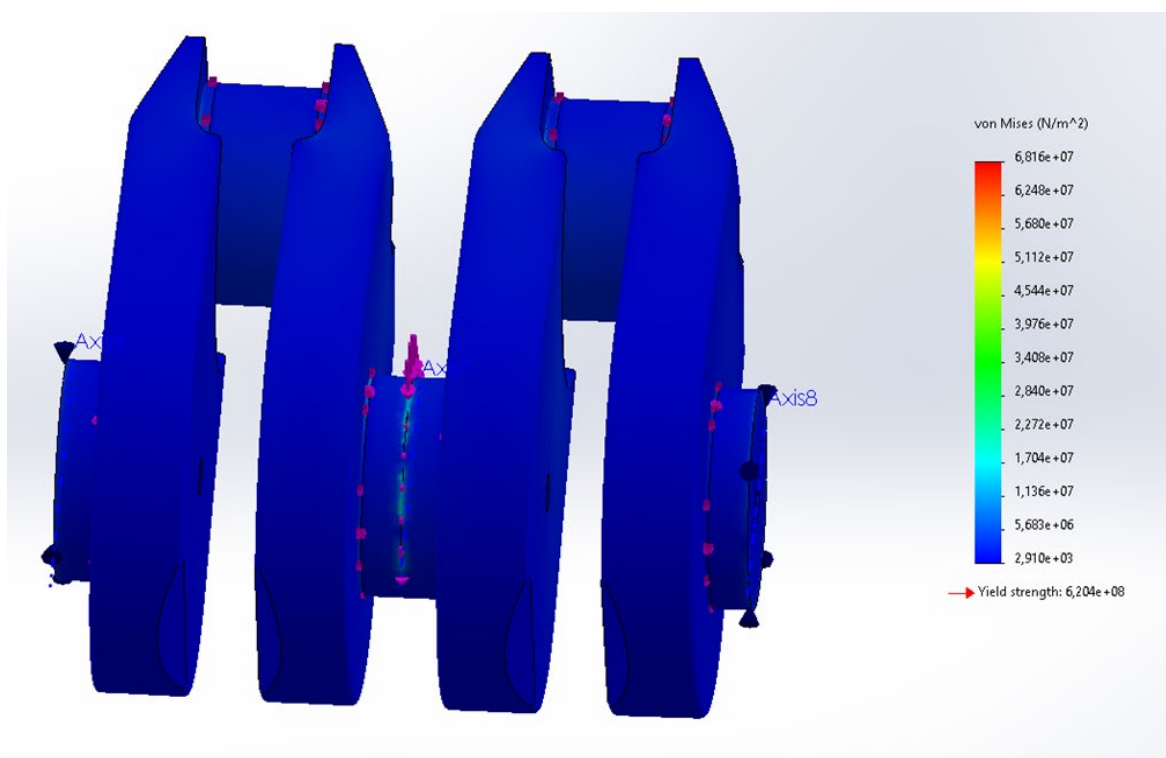


Рис. 4.3 Сумарні напруження за Мізесом в конструкції валу

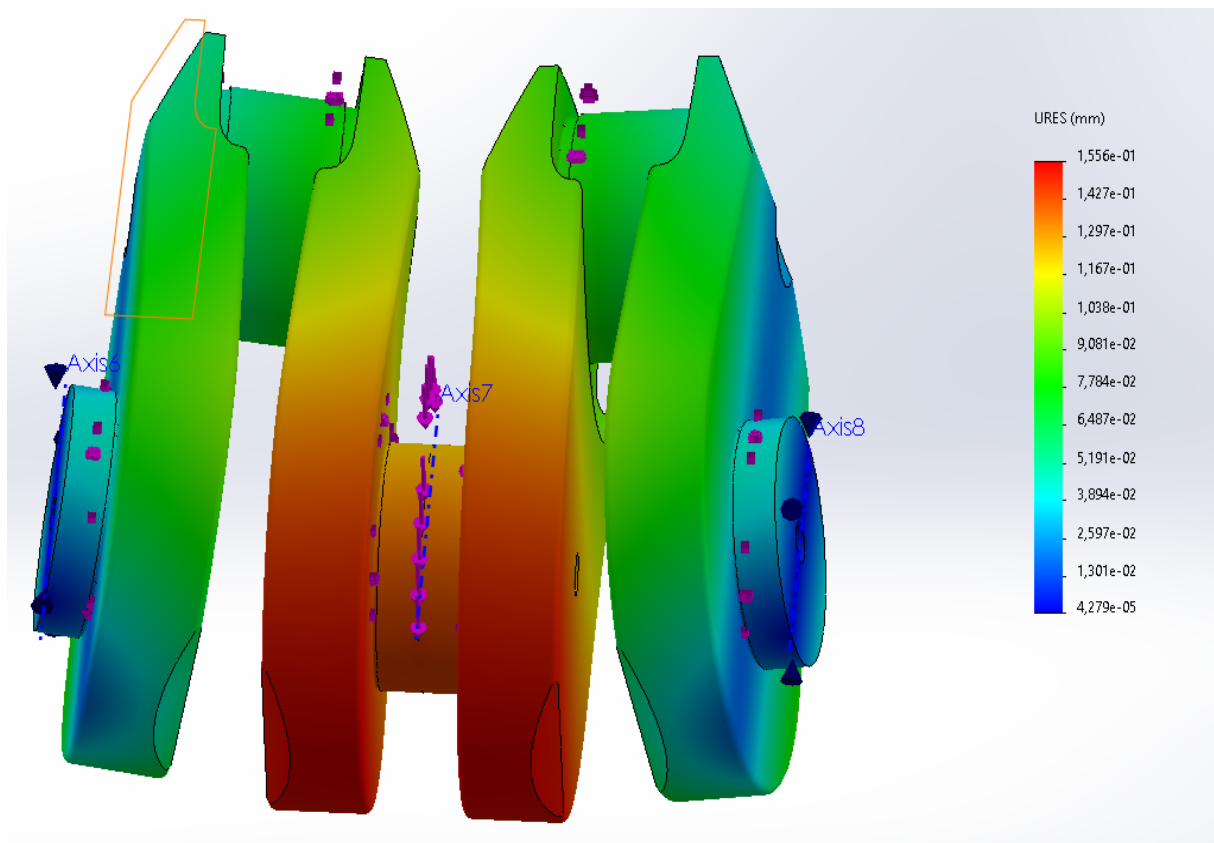


Рис. 4.4 Сумарні переміщення в конструкції валу

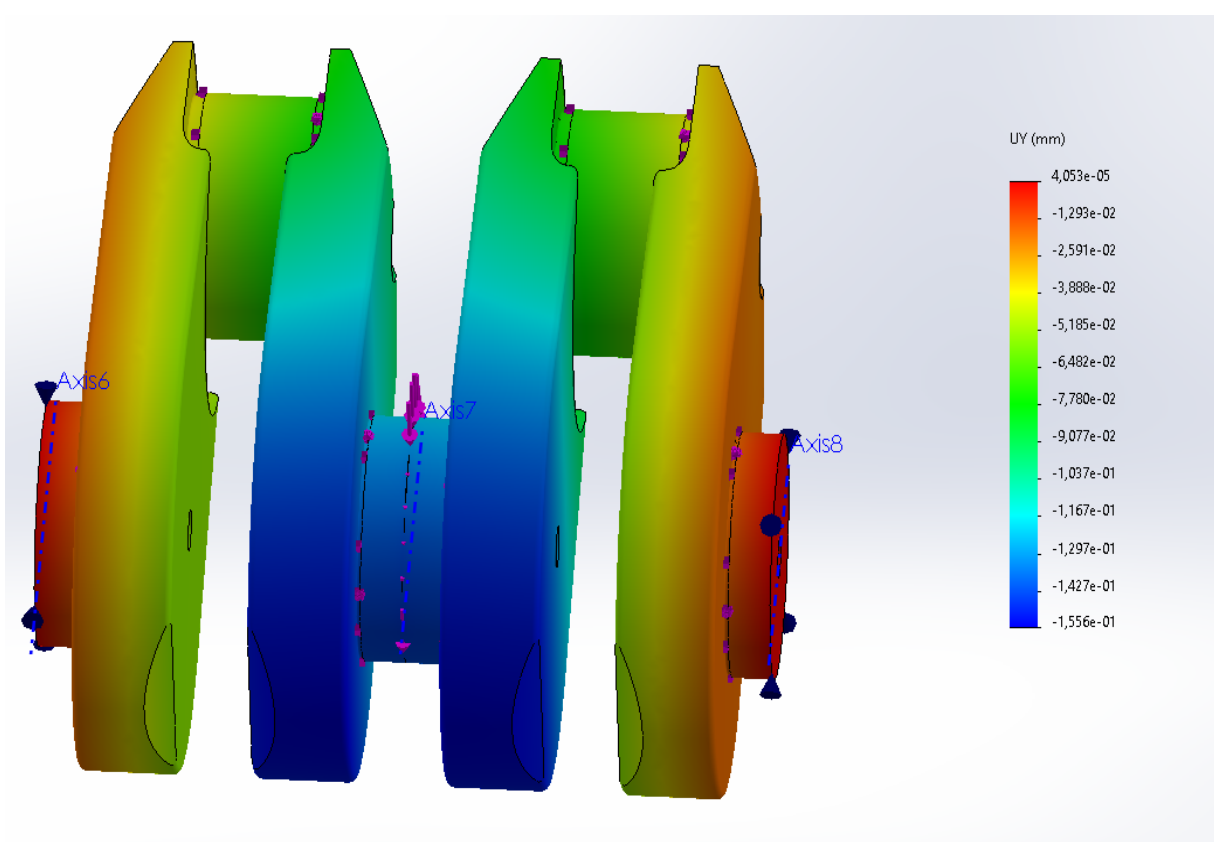


Рис 4.5 Переміщення конструкції у вертикальному напрямі U_y

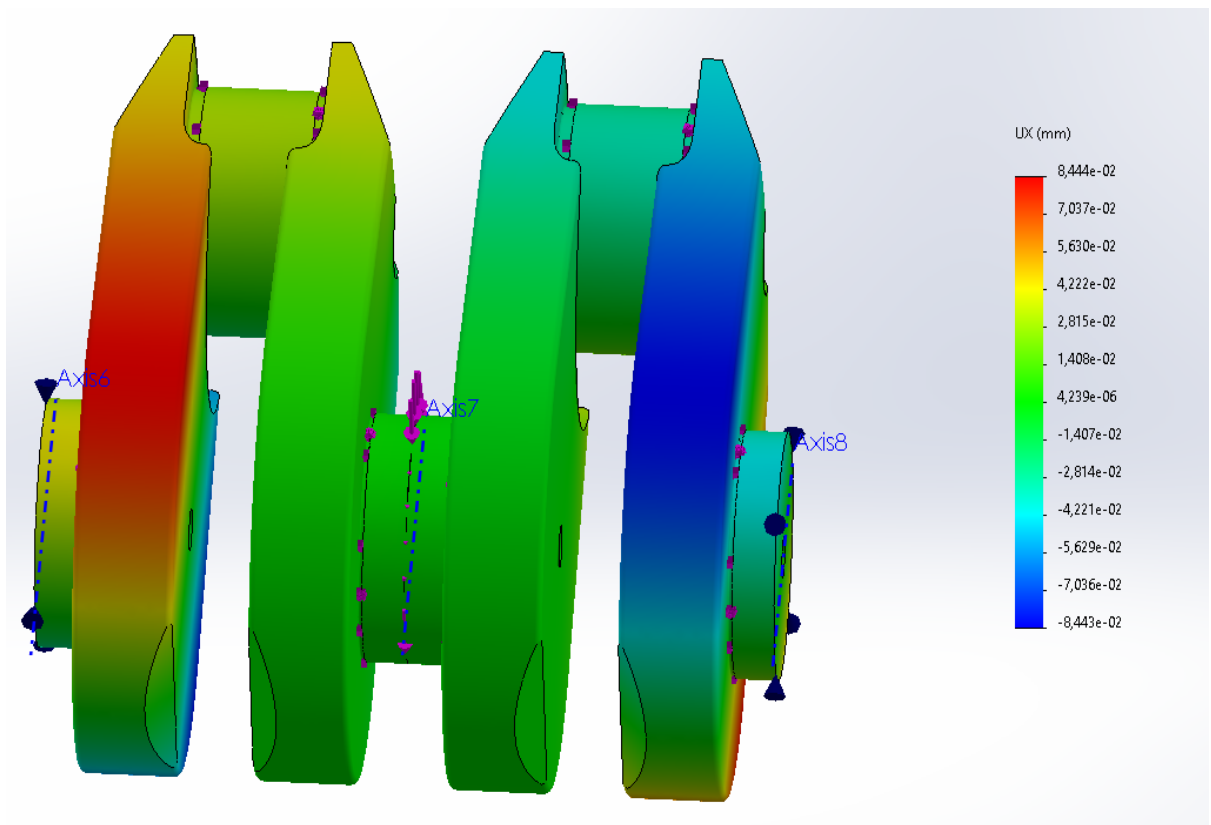


Рис 4.6 Переміщення конструкції у горизонтальному напрямі U_x

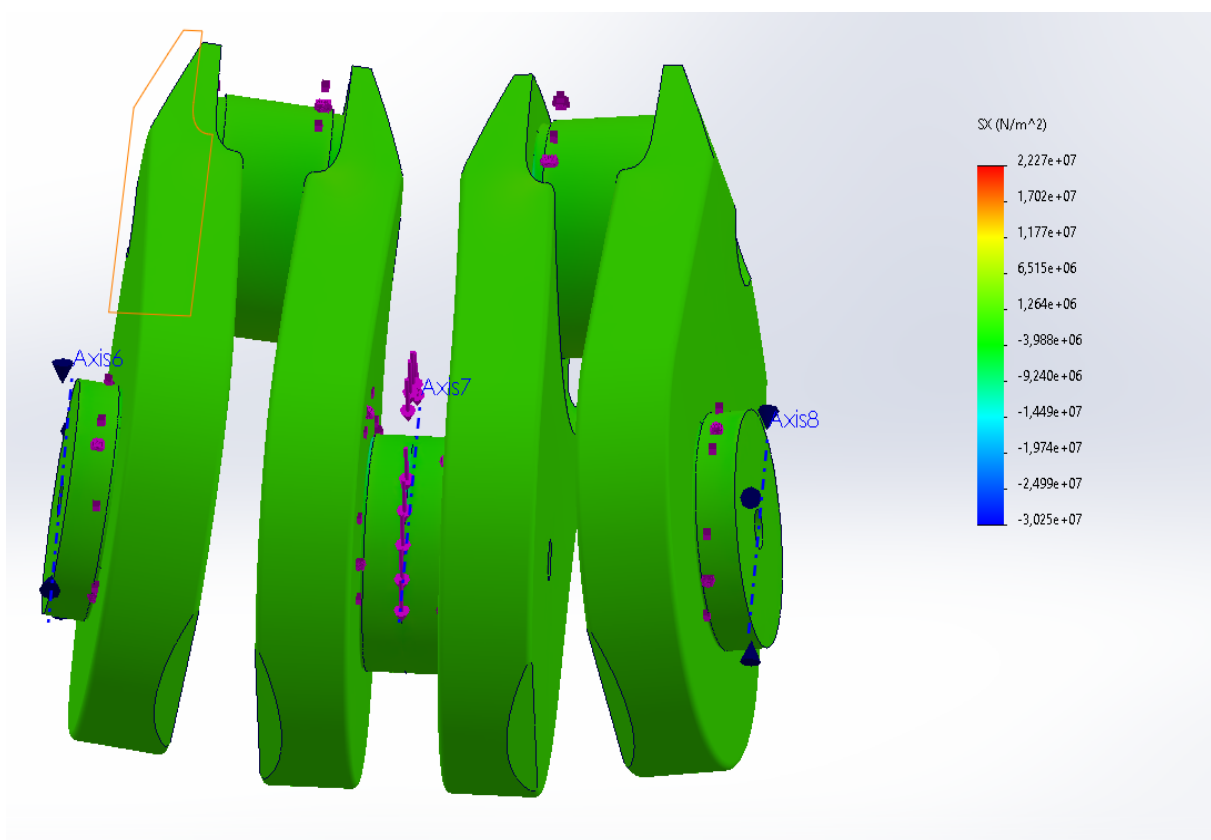


Рис. 4.7 Нормальні напруження у поздовжньому напрямі σ_x

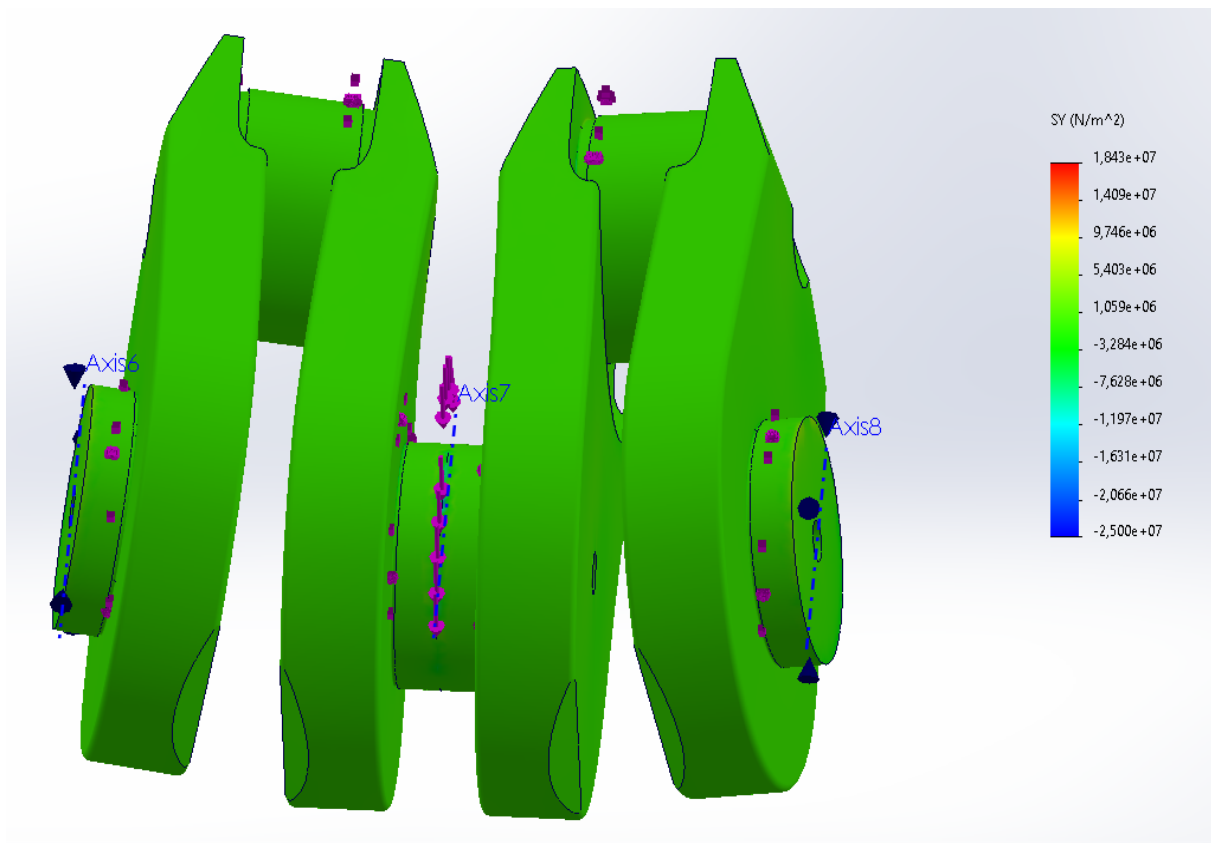


Рис. 4.8 Нормальні напруження у вертикальному напрямі σ_y

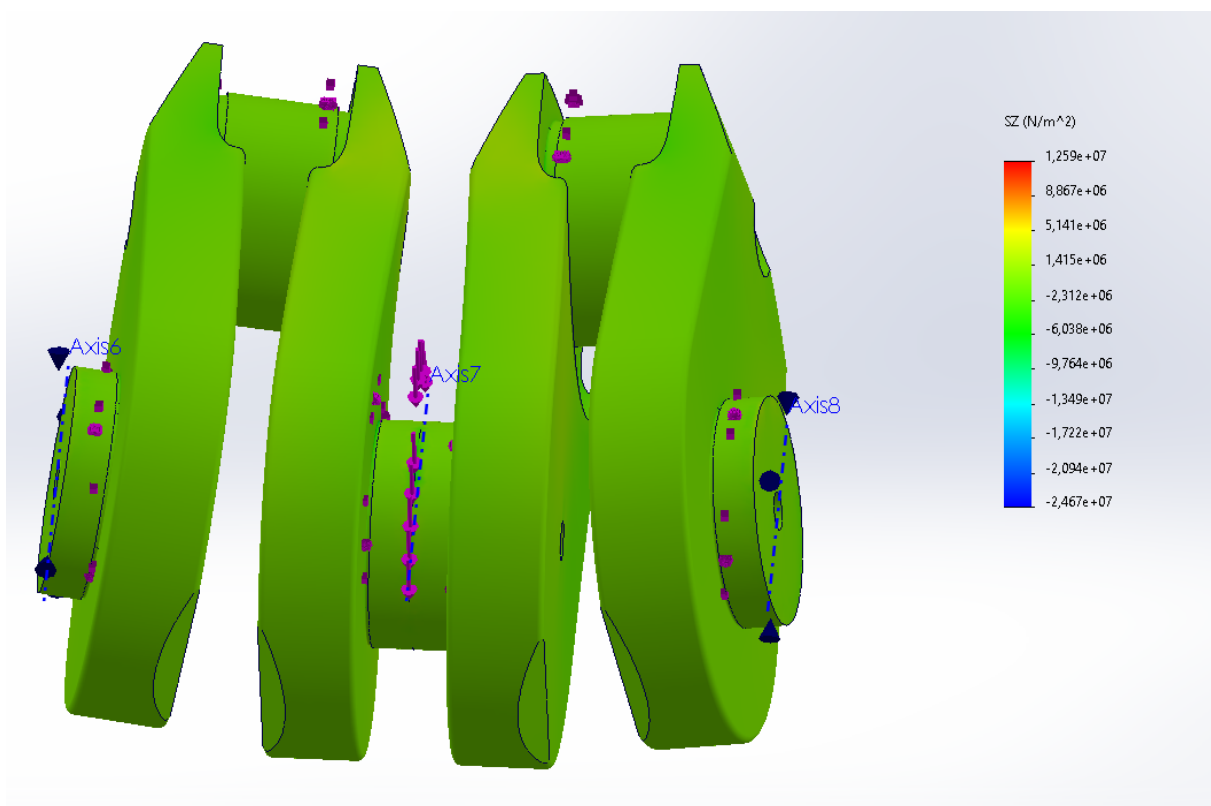


Рис. 4.9 Нормальні напруження у поперечному напрямі σ_z

4.1. Висновок

Діючі напруження в колінчастому валі не перевищують допустимих. Деформації, отримані в розрахунку, в подальших дослідженнях будуть слугувати основою для вивчення їх впливу на систему двигун-валопровід-гвинт.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Економічна оцінка центрування валопроводу різними методами	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Лук'янцева М.В..							8
Консульт	Шарун Г.В					НУК		
Керівник	Шарун Г.В.							
Зав. кафедр.	Коростильов							

5. Економічна оцінка центрування валопроводу різними методами

Точне центрування допомагає зберегти довговічність як підшипників так і всієї системи. Воно дозволяє правильно розподілити навантаження підшипників, щоб запобігти передчасним поломкам окремих елементів та валопроводу в цілому. Будь-які неочікувані несправності призводять до додаткових значних витрат на ремонт, технічне обслуговування, заміну запчастин, а також простоїв судна, що є дуже важливо для судноплавства з тривалими рейсами.

Крім цього, даний процес сприяє економії на паливі, враховуючі що ціни на паливо періодично зростають, цей фактор є особливо важливим у судноплавстві, де витрати на паливо є суттєвою частиною бюджету.

Вклад у точне центрування валопроводу за допомогою одного з методів окупається за рахунок зменшення експлуатаційних витрат і продовження роботи елементів системи.

У цьому розділі буде визначені витрати, пов'язані з проведенням вимірювань, економічні вигідні сторони та ризики, що супроводжують цей процес. Проведено порівняння економічних аспектів між Jack-up тестом та іншими способами центрування.

5.1. Витрати та порівняння методів центрування

Для виконання центрування будь-яким методом необхідно брати в оренду обладнання для вимірювання, найняти кваліфікований персонал.

Вибір методу центрування валопроводу судна залежить від вимог у точності, бюджету та умов експлуатації. Для кожного методу центрування було обрано три провідні компанії, які розглянули нижче.

У таблиці 5.2.1 наведено детальне порівняння методів центрування валопроводу.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1.1. Лазерні установки

Центрування валопроводу методом лазерних приладів має високу точність вимірювань, ідеальний варіант для складних або великих систем.

Даний метод займає 1-2 дні, команда складає 2 інженера. Вартість роботи у такій термін становить 700-1200\$. Зазвичай лазерні системи потребують додатково програмного забезпечення для аналізу вимірювань, це може коштувати близько 500-1000\$. Також додатково можуть знадобитися інші аксесуари. Ці всі аспекти збільшують вартість методу центрування валопроводу лазерними приладами.

Було обрано на розгляд дев'ять лазерних установок трьох фірм, таблиця 5.1.1. Шведська фірма SKF виробляє прості у використанні лазерні вироби для центрування. Німецька компанія Pruftechnik є лідером у цій сфері своїми пристроями серій OPTALIGN touch та ROTALIGN touch. Американська компанія Fluke виробляє лазерні системи, які підходять для різних типів обладнання. Дані установки використовують тільки за необхідністю великої точності у вимірюванні через свою велику вартість.

Таблиця 5.1.1. Наближені ціни на лазерні системи.

Компанія	Марка	Вартість, \$
SKF	TKSA 31	4 400
	TKSA 41	5 100
	TKSA 51	6 600
	TKSA 71	7 000
Pruftechnik	ROTALING touch	19 000
	OPTALING touch	15 000
	SHAFTALING touch	6 500
	ROTALING touch EX	30 000
Fluke	Fluke 830	8 000

5.1.2. Гідродомкрати, Jack-up тест

Даний метод передбачає ручну установку гідродомкратів та аналіз отриманих результатів. Проведення тесту складає 1-3 дні роботи. Команда інженерів складається з 2-3 фахівця. Така робота становить близько 500-1500\$. Для деяких випадків можуть знадобитися додаткові аксесуари, наприклад, опори, прокладки та інше, вартість яких буде близько 100-300\$. Метод Jack-up тесту достатньо трудомісткий, отже займає багато часу у порівнянні з іншими.

Для центрування гідродомкратом були обрані такі компанії: Enerpac, Hi-Force та Holmatro, від кожної фірми по три моделі різної вантажопідйомності. Найбюджетнішим виявився виробник з Великобританії - Hi-Force, який відомий своєю якістю на ринку виробництва гідравлічного обладнання, що застосовують для центрування важких валопроводів. Нідерландська компанія Holmatro відома своєю стабільною роботою у важких морських умовах. Американська компанія пропонує великий вибір гідродомкратів за середньою ціною, які ідеально підходить для точкового підняття важкого валопроводу, тобто Jack-up тесту. У таблиці 5.1.2 наведені середні ціни на гідродомкрати різних компаній. Є великий вибір гідродомкратів за доступними цінами, з великою точністю та різною вантажопідйомністю. Це робить даний метод центрування самим доступним та популярним.

Таблиця 5.1.2. Наближені ціни на гідродомкрати.

Компанія	Модель	Вартість, \$	Вантажопідйомність, т
Enerpac	JHA356	3000	35
	HCG10010	5400	113
	HCG20012	9000	223
Hi-Force	HFG502	1300	50
	HHS1003	3000	102
	HSG2006	3400	203
Holmatro	HAC 50 S 15	3200	50
	HJ 200 H15	6700	200
	HHJ 110 S 7,5	7800	110

5.1.3. Датчики для визначення навантажень та центрування валопроводу у різних умовах

Цей метод використовують для проведення вимірювань у реальному часі. Також має велику точність та ідеально підходять для динамічних систем. Вирівнювання та вимірювання навантажень за допомогою датчиків займає 2-3 дні, команда складається з 2-3 інженерів. Дана робота оцінюється у 1000-5000\$. Додаткові аксесуари, які можуть знадобитися для монтажу датчиків, можуть вартувати до 200-500\$.

У цьому випадку обрано по одній моделі трьох провідних компаній, які могли б використатись у різних умовах.

Перша умова – технічний огляд. Це важлива частина для визначення готовності роботи судна. Постійний моніторинг допомагає завчасно визначити проблеми та слабкі сторони у судновій установці та швидко усунути їх. З цією задачею для центрування відміно впорається датчики серії BTL7-P511 компанії Balluff, для визначення навантажень - датчики компанії VPG серії 350 Tensiometers.

Наступним критерієм на розгляд була робота датчика у динамічному стані установки. Проводження таких тестів допомагає зменшити випадки поломок та небезпечні вібрації. Центрування та визначення навантажень у динамічному стані дозволяє слідкувати за станом усіх елементів установки у звичайному робочому стані. Для таких умов обрано датчики серії MicroSense 6810 компанії KLA та датчики серії 9010B Piezoelectric Sensor компанії Kistler відповідно.

Останній критерій, але один із найважливіших, це датчики для роботи в екстремальних умовах, тобто у відкритому морі, з постійними перепадами температур, нечутливі до магнітних полів та ті, що можуть працювати під водою. Для центрування датчики серії SP2800 від компанії Novotechnik та для визначення навантажень датчики серії Z6-5K компанії HBM запропоновані щоб вирішити ці задачі. Для роботи таким приладом необхідні додаткові аксесуари.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці всі аспекти роблять даний метод дорожчим та швидшим по виконанню за всі інші. У таблиці наведені орієнтовані ціни кожної компанії-лідер.

Таблиця 5.1.3. Наближені ціни на датчики центрування.

Компанія	Серія	Вартість, \$
Balluff	BTL7-P511	2000-6000
KLA	MicroSense 6810	5000-15000
Novotechnik	SP2800	2000-5000
VPG	350 Tensiometers	1000-3000
Kistler	9010B Piezoelectric Sensor	2000-10000
HBM	Z6-5K	1000-10000

5.2. Економічні вигідні сторони та ризики методів центрування та визначення навантажень на підшипники.

Економічний аспект є важливим при виборі методу центрування валопроводу та вимірювання навантажень. Він впливає на витрати та довгострокову ефективність роботи системи. Економічна оцінка також враховує переваги та ризики, які можуть виникнути в процесі експлуатації судна.

Вирівнювання валопроводу або вимірювання навантажень методом Jack-up тесту має низькі початкові витрати відносно до інших методів. Цей метод не вимагає використання додаткового програмного забезпечення. Гідродомкрати прості у використанні та не потребують складного навчання персоналу, але вимагає наявності досвіду роботи з обладнанням.

В наявності також свої ризики. Перш за все це трудомісткість. Метод займає достатньо багато часу, такий процес може призвести до тривалішого простою судна. На точність вимірювань може впливати людський фактор. Помилки через цей фактор негативно впливають на отримані результати, що іноді призводить до повторних вимірювань, це у свою чергу збільшує час простою судна.

Центрування лазерними пристроями має достатньо високу точність. Це мінімізує похибки, що допомагає уникнути неочікуваних поломок, це, у свою

чергу, зменшує витрати на ремонт. Оптимальна робота підшипників та валопроводу економить паливо, що зменшує експлуатаційні витрати. Процес виконання вимірювань швидший за всі інші методи, що мінімізує час простою судна.

У першу чергу головним ризиком цього методу є висока початкова вартість. На жаль, не кожна компанія може собі дозволити цей метод центрування валопроводу. Також необхідний кваліфікований персонал, робота вимагає спеціальної підготовки інженерів у роботі як з пристроєм так і з програмним забезпеченням. Також точність може залежати від технічного стану пристрою. Освітлення може вплинути на результати, тому лазерний метод використовують у певний час, коли сонячне світло менш інтенсивне.

Метод центрування та визначення навантажень на підшипники за допомогою датчиків має велику точність, що зменшує витрати на технічне обслуговування. Першим ризиком для цього методу полягає у складності монтажу датчиків. Іноді установка датчиків може потребувати додаткові витрати на допоміжне обладнання або спеціальне кріплення. Також датчики є досить дорогими, що збільшує початкові витрати. Датчики чутливі до умов навколишнього середовища. Зменшити точність датчиків можуть вібрації, забруднення та навіть незначні коливання температури.

Табл. 5.2.1 Порівняння економічних аспектів між Jack-up тестом та іншими способами центрування.

Параметр	Лазерне центрування	Гідравлічні домкрати (Jack-up тест)	Центрування датчиками
Вартість обладнання	\$5,000 - \$30,000	\$1,000 - \$20,000	\$2,000 - \$15,000
Час виконання	Від декількох годин до 2 днів	1-3 дні	2-3 дні

Кваліфікація спеціалістів	Висока	Середня/висока	Середня/висока
Точність вимірювань	Висока	Висока	Висока
Переваги	Швидке налаштування, довгострокова надійність	Точна оцінка деформацій і навантажень, надійність	Моніторинг у реальному часі, деталізовані вимірювання
Економічний ефект	Зменшення витрат на ремонт, зниження ймовірності зносу	Допомагає уникнути серйозних несправностей	Визначає проблеми на ранній стадії
Орієнтована вартість послуг	\$800 - \$2,000 за проєкт	\$1,500 - \$5,000 за проєкт	\$1,000 - \$3,000 за проєкт

5.3. Висновок

В ході роботи над даним розділом був проведений аналіз економічних аспектів різних методів для вирівнювання валопроводу та вимірювань навантажень на підшипники, такі як за допомогою гідродомкратів, датчиків та лазерних пристроїв.

Лазерні пристрої забезпечують високу точність вимірювань, що впливає на зниження зносу та довгострокову роботу системи. Цей метод коротший термін виконання вимірів, що не допускає простоїв судна. Ці аспекти допомагають уникнути додаткових експлуатаційних витрат на ремонт як підшипників так і усієї системи. Одночасно такий метод потребує великих початкових витрат: орендування обладнання, наймання кваліфікованого персоналу, забезпечення додатковими приладами для вимірювання навантажень підшипників.

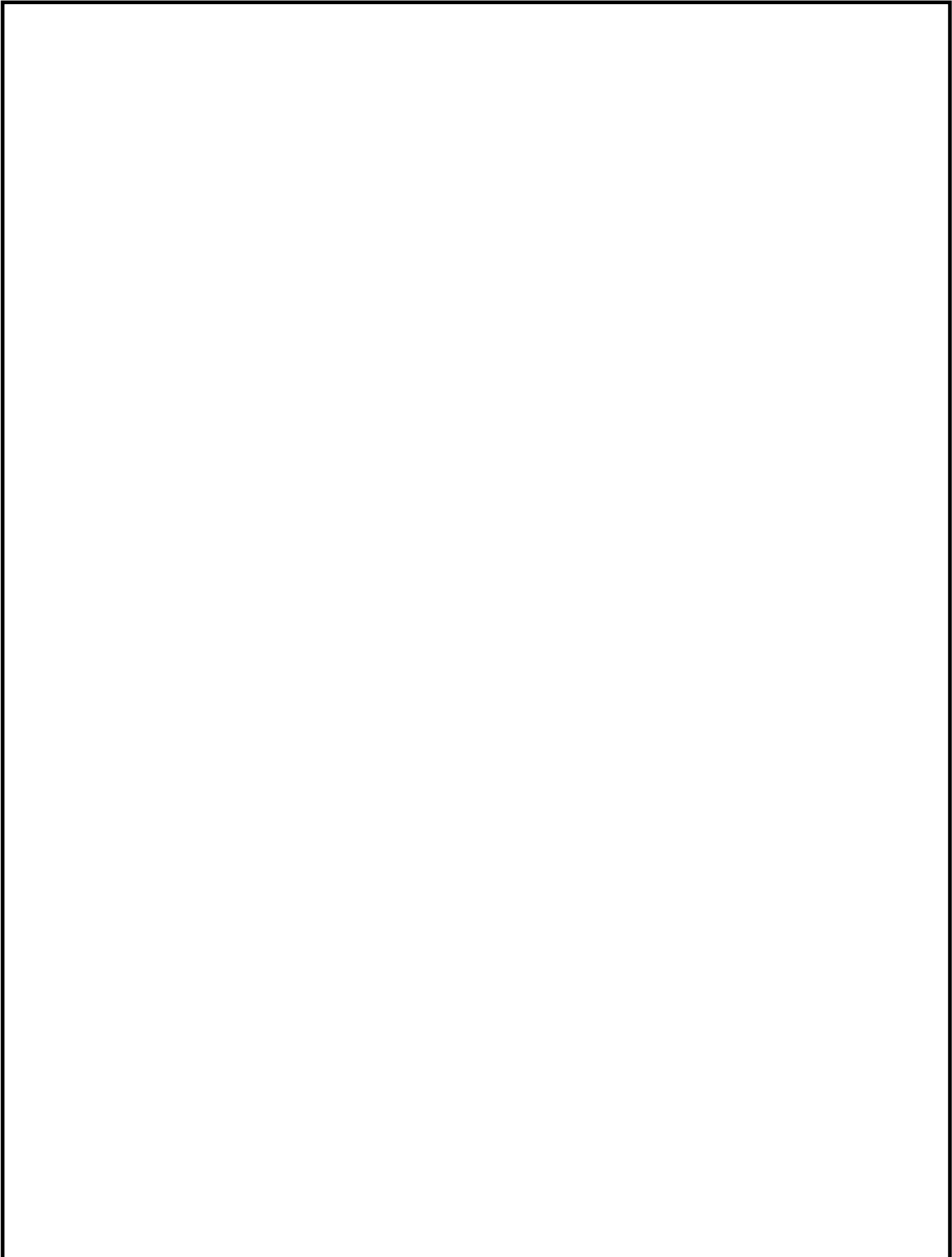
Найдешевший спосіб виконання вимірів - за допомогою гідравлічних домкратів. Він має набагато доступніші ціни на обладнання та великий їх вибір. Не потребує висококваліфікованого персоналу, але важливо щоб команда була з

гарним досвідом. На відміну від лазерних пристроїв , цей метод займає більше часу, це може призвести до простою судна.

Метод датчиків має середню вартість послуг, високу точність. Дозволяє проводити моніторинг у реальному часі, що важливо для здійснення вимірювань в екстремальних умовах. Даний метод обирають коли необхідно визначити проблеми завчасно.

Проаналізувавши всі економічні аспекти прийшли до висновку, що вибір методу залежить від рівня точності, складності системи, специфіки завдання, наявного бюджету та терміновості виконання. Правильно обраний метод допомагає досягти високої точності вимірювань, зменшити загальні витрати на ремонт, незаплановані витрати на паливе, технічне обслуговування, що важливо для оптимізації витрат у судноплаванні.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Охорона праці при проведенні експлуатаційних робіт з приладами центрування та валопроводом	Літ.	Арк.	Аркушів
Студент	Лук'янцева М.В.						59	7
Консульт.	Шарун Г.В..					НУК		
Керівник	Шарун Г.В..							
Зав. кафедр.	Коростильов Л.І.							

6. Охорона праці при проведенні експлуатаційних робіт з приладами
центрування та валопроводом

Охорона праці – невід’ємна частина експлуатаційних робіт з приладами центрування та валопроводу. Основна мета охорони праці – це забезпечення безпеки та здоров’я екіпажу під час роботи з обладнанням.

Перед початком робіт екіпаж зобов’язан пройти всі інструкції та дотримуватися стандартів безпеки, проходити тести на знання правил безпеки, проводити перевірки та вправи з протипожежного захисту, рятувальних приладів та інших систем безпеки на судні. Також екіпаж повинен знати як реагувати на такі небезпеки як пожежа, аварії або інші надзвичайні ситуації. Недотримання правил техніки безпеки може призвести до аварій, порушення робочого процесу та можливих додаткових фінансових витрат.

6.1. При роботі з валопроводом при його centruванні екіпаж повинен дотримуватись певних правил та вимог

1. Необхідні засоби індивідуального захисту в машинному відділенні, такі як захисне взуття проти ковзання, каски, рукавиці з захистом від проколів, захисні окуляри, комбінезони тощо.
2. Процедури на випадок надзвичайних ситуацій, що визначають конкретні ролі та обов’язки окремих членів екіпажу.
3. Безпечні робочі навантаження та вантажопідйомність для підйомників машинного відділення та іншого використовуваного обладнання та машин.
4. Протоколи, що регламентують порядок документування нещасних випадків.
5. Електричні навантаження та ємність електричних ланцюгів для уникнення перевантаження будь-якої системи в машинному відділенні.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Чіткі робочі процеси та канали зв'язку між членами екіпажу судна, а також між екіпажами суден і персоналом на березу.
7. Загальні відомості про судно, включаючи зберігання предметів, кріплення дверей, технічне обслуговування обладнання та обладнання, а також робочі та транспортні зони.
8. Важливо уникати перебування сторонніх осіб у зоні проведення робіт.
9. Забезпечити легкий доступ до засобів пожежогасіння та аварійного обладнання.
10. Перед початком роботи необхідно перевірити валопровід на наявність пошкоджень, корозії та механічного зносу.
11. Робоче місце повинне бути чисте, мати добре освітлення, необхідно прибрати сторонні предмети.
12. Перед початком роботи необхідно переконатись, що валопровід знеструмлено та обертання валу припинено.
13. Попередньо треба очистити вал та підшипники від забруднення.
14. Необхідно уважно слідкувати та не допускати надмірного навантаження на вал або підшипники під час центрування.
15. Після завершення всіх робіт необхідно:
 - виконати повторний огляд валопроводу;
 - очистити валопровід, інструменти та обладнання;
 - перевірити систему на готовність до безпечного запуску.
16. При виникненні несправностей екіпаж повинен:
 - негайно припинити всі роботи у разі виявлення дефектів (надмірне тертя або шум, тріщини);
 - Повідомити відповідального за технічне обслуговування для усунення несправностей;
 - Ні в якому разі не намагатися ремонтувати самостійно обладнання без відповідної кваліфікації.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2. Робота з гідродомкратами

Незалежно від типу домкрата, з яким ви працюєте, необхідно дотримуватися основних правил. Якщо ви не дотримуетесь, ви пошкодите автомобіль або отримаєте травму.

Працівники, які працюють з домкратом, повинні знати:

1. Інструкцію виробника з експлуатації домкрата.
2. Будову та призначення домкрата, його параметри і технічні характеристики.
3. Терміни та результати проведення технічного обслуговування, ремонту та періодичних перевірок.
4. Безпечні прийоми роботи з домкратом.
5. Місцезнаходження та будову засобів пожежогасіння та порядок їх застосування.
6. Перед використанням пристрою переконайтеся, що він знаходиться в хорошому стані.
7. Під час огляду гідравлічного домкрата слід перевірити стан корпусу, манжетів і прокладок, запірної голки, різьбових з'єднань.
8. Підготовлений для роботи домкрат повинен під повним навантаженням без заїдань.
9. Працівнику, який використовує домкрат, забороняється приступати до роботи, якщо:
 - є тріщини або деформації в конструкції механізму, ослаблені болтові або заклепкові з'єднання;
 - головка гвинта або рейка не обертається вільно вручну;
 - знос зубців механізмів передачі і рейок перевищує 20%;
 - погнуті рейка і гвинт;
 - тріскачковий механізм має «мертвий» хід;
 - з робочих циліндрів підтікає рідина;
 - зворотній клапан пропускає рідину;

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- запірна голка обертається за допомогою воротка із великим зусиллям.
10. Під час виконання робіт з використанням домкрата працівник повинен керуватися вимогами та вказівками, викладеними в інструкції по експлуатації домкрата, виробничою інструкцією, проектом виконання робіт. Працівникові забороняється відволікатися від своїх прямих обов'язків, виконувати очищення, змащення і ремонт домкрата, допускати сторонніх осіб на робочий майданчик.
11. Вантаж, що підіймається, повинен бути знеструмлений і перебувати в неробочому стані.
12. Роботи з домкратом повинні проводитися тільки на гладкій, твердій поверхні.
13. Переконайтеся, що маса валопроводу не перевищує ліміт для вашого домкрата. Навіть якщо вага на 10-15% вище, пристрій може не витримати.
14. Домкрат тільки для підйому. Його не можна використовувати як захисний пристрій.
15. Переконайтеся, що домкрат розташований правильно і що навантаження знаходиться на його центр.
16. У разі нещасного випадку слід:
- вжити заходів для звільнення потерпілого від впливу травмівного фактора;
 - надати потерпілому першу допомогу в залежно від виду травми;
 - повідомити про подію керівництво організації і вжити заходів для евакуації потерпілого в лікарню.
17. У разі виникнення пожежі:
- припинити роботу з домкратом;
 - опустити вантаж;
 - викликати пожежну охорону і повідомити керівництво організації;
 - приступити до гасіння пожежі, використовуючи засоби пожежогасіння.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Після закінчення роботи працівник, який використовує продукт, повинен:

- звільнити домкрат від вантажу, очистити його від пилу та бруду та перевести у транспортне положення;
- поставити домкрат у визначене місце для зберігання (транспортування);
- прибрати додаткове обладнання в місця зберігання, попередньо очистивши їх від пилу і бруду.

6.3. Робота з лазерними приладами

1. Робота з лазером дозволяється тільки особам, що досягли 18-літнього віку, пройшли інструктаж на робочому місці.
2. Фахівці, які працюють з лазерними приладами, повинні знати інструкцію виробника з експлуатації.
3. Уникати попадання рук і інших частин тіла в робочу зону лазера.
4. Працювати тільки в захисних окулярах.
5. Не залишати працююче обладнання без нагляду.
6. У разі виявлення несправності обладнання, відключити його від живлення довести до відома фахівців. Не допускати самостійної заміни деталей обладнання.
7. Прибрати сторонніх осіб із зони роботи лазера.
8. Перед роботою необхідно перевірити технічний стан лазерного обладнання перед використанням.
9. Уважно слідкувати за положенням лазерного променя.
10. Не закривати лазерні датчики та не допускати потрапляння на них пилу чи бруду.
11. Після завершення роботи необхідно вимкнути пристрій та перевести його у транспортний режим, очистити обладнання від пилу та бруду та необхідно зберігати у спеціально відведеному місці для зберігання.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. У разі несправностей необхідно негайно припинити роботу повідомити відповідальному за технічне обслуговування.

6.4. Робота з датчиками

1. Фахівці, які працюють з датчиками, повинні знати інструкцію виробника з експлуатації.
2. Перед початком роботи з приладами необхідно виконати зовнішній огляд датчиків на наявність механічних пошкоджень, зношення кабелів, роз'ємів.
3. Переконайтесь, що все готове до використання: кріпильні елементи, необхідні інструменти та захисне обладнання.
4. Датчики повинні бути сумісними з робочими умовами (температура, вологість, вібрації).
5. Датчики необхідно встановлювати на чистій, рівній поверхні.
6. Установити датчики на рекомендованій відстані для точності вимірювань.
7. Не допускати явищ, які можуть пошкодити датчики: сильних ударних навантажень, вібрацій та перегріву датчиків.
8. Система живлення датчиків повинна відповідати всім технічним вимогам.
9. Необхідно використовувати стабілізатори для уникнення перенавантаження та короткого замикання.
10. Перед налаштування та демонтажем датчиків необхідно від'єднати живлення.
11. Для завершення роботи необхідно:
 - вимкнути систему збору даних та знеструмити всі елементи;
 - демонтувати датчики, запобігаючи механічним пошкодженням;
 - очистити пристрої від мастила, пилу та іншого;
 - перевірити цілісність датчиків перед зберіганням.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. У разі несправностей оператор повинен виконати наступні дії:

- як тільки виявлено відхилення у показниках або роботи датчиків необхідно негайно припинити роботу;
- перевірити налаштування та підключення датчиків;
- при виявленні поломки датчиків звернутись до технічного персоналу або сервісного центру виробника.

13. У разі виникнення надзвичайних ситуацій необхідно діяти певним чином:

- при пожежі необхідно вимкнути живлення системи, використовувати засоби пожежогасіння та викликати пожежну службу;
- при ураженні струмом потрібно надати першу допомогу та повідомити керівництво;
- у разі необхідності організувати евакуацію персоналу.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі були розглянуті основні методи визначення навантаження підшипника та центрування валопроводу, це - за допомогою гідравлічних домкратів, датчиків та лазерною установкою. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки. Кожен з методів при необхідності можна використовувати одночасно для кращої точності.

Прийшли до висновку, що центрування на пряму дуже впливає на навантаження підшипника, а також фізико – механічні, інсталяційно – експлуатаційні та експлуатаційні фактори. Також важлива автоматизація роботи системи, це важливий аспект як для експлуатації так і для економічної ефективності.

Після виконання розрахунків та аналізу результатів побачили, що на розбіжності, які спостерігаються під час підйому валу гідродомкратом, впливають горизонтальні зміщення та жорсткість носового сальника дейдвудної труби, які зазвичай не беруть до уваги. Також необхідно враховувати умови у яких проводяться практичні виміри навантажень та при необхідності процес ідентифікації параметрів валопроводу має бути повторений для підтвердження їхньої допустимості. Необхідно враховувати дані фактори для точнішого вимірювання навантажень на підшипники.

Отримані висновки, рекомендації щодо обробки результатів будуть впроваджені в практику роботи компанії Інтелектуальні Морські Технології.

Був проведений аналіз економічних аспектів різних методів для вирівнювання валопроводу та вимірювань навантажень на підшипники. Правильно обраний метод допомагає досягти високої точності вимірювань, зменшити загальні витрати на ремонт, незаплановані витрати на пальне, технічне обслуговування, що важливо для оптимізації витрат у судноплавстві.

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. «Тензометричний датчик: принцип роботи»,
КалушNews.City, 24 грудня 2023
URL: <https://kalushnews.city/articles/333021/tenzometrichnij-datchik-princip-roboti> (дата звернення: 26.11.2024)
2. «Инструкция по охране труда при работе с домкратом»
Нормативно-Правові Акти з Охорони Праці,
URL: https://dnaop.com/html/59191/doc-instrukcija-po-ohrane-truda-pri-rabote-s-domkratom#google_vignette (дата звернення: 3.12.2024)
3. Balluff
URL: <https://www.balluff.com/en-de> (дата звернення: 16.11.2024)
4. Dr. Yuriy Batrak, Roman Batrak, “Jack-Up Test Simulation”,
Intellectual Maritime Technologies, August 2023.
URL: <https://shaftsoftware.com/jack-up-test-simulation/> (дата звернення: 27.09.2024)
5. Fluke Corporation,
URL: <https://www.fluke.com/> (дата звернення: 6.11.2024)
6. High Tonnage Hydraulic Cylinders, Enerpac
URL: <https://www.enerpac.com/en-us/home> (дата звернення: 10.11.2024)
7. Holmatro
URL: <https://www.holmatro.com/en> (дата звернення: 11.11.2024)
8. Hydraulic Tools, Hi-Force
URL: <https://www.hi-force.com/en-uk/products> (дата звернення: 10.11.2024)
9. «A Practical Guid to Shaft Alignment», Pruftechnik LTD 2002
URL: https://backflowparts.com/wp-content/uploads/2021/06/Shaft_Alignment_Instructions.pdf (дата звернення: 19.11.2024)

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. «Jack-up Test Procedure for Ship's Propulsion Bearings», Workshop Insider November 30, 2020.

URL: <https://workshopinsider.com/jack-up-test-procedure-for-ship-propulsion-bearings/> (дата звернення: 19.11.2024)

11. KLA

URL: <https://www.kla.com/> (дата звернення: 16.11.2024)

12. Jonathan Trout «Laser Alignment Tools: An Overview», Noria Corporation 2024

URL: <https://www.reliableplant.com/Read/31281/laser-alignment-tool> (дата звернення: 23.11.2024)

13. Lazer Shaft Alignment Tools, Pruftechnik, 2020

URL: <https://www.pruftechnik.com/com/Products-and-Services/Alignment-Systems-for-Rotating-Machinery/Shaft-Alignment/> (дата звернення: 6.11.2024)

14. Novotechnik

URL: <https://www.novotechnik.com/> (дата звернення: 16.11.2024)

15. Shaft Alignment Tools, SKF

URL: <https://www.skf.com/in/products/maintenance-products/alignment-tools> (дата звернення: 6.11.2024)

16. «Safe Working Practices in the Engine Room», The Maritime Institute of Technology and Graduate Studies (MITAGS), 10 травня 2024

URL: <https://www.mitags.org/safe-engine-room/> (дата звернення: 3.11.2024)

					19.ДРМ.135.6116м.ПЗ.06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69