

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра двигунів
внутрішнього згоряння,
установок та технічної
експлуатації

«Допущений до захисту»
В.о. завідувача кафедри
Олексій ГОГОРЕНКО


« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АМІАКУ В МАЛООБЕРТОВОМУ СУДНОВОМУ ДВИГУНІ

Спеціальність 142 – Енергетичне машинобудування
Освітня програма – Двигуни внутрішнього згоряння

Для здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Керівник роботи



Аркадій ПРОСКУРІН

Здобувач освіти



Владислав ПЛЕЦЬКИЙ

Миколаїв 2024

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Машинобудівний навчально-науковий
Кафедра Двигунів внутрішнього згоряння, установок та технічної експлуатації
Ступінь Магістр
Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
(шифр і назва)
Освітня програма Двигуни внутрішнього згоряння

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ДВЗ, У та ТЕ
О. А. Гогоренко
«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ОСВІТИ

Пілецькому Владиславу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз ефективності використання аміаку в малообертовому судновому двигуні

2. Керівник роботи канд. техн. наук, доцент Проскурін А. Ю.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 01 ” 10 2024 року № 1032-уч

3. Строк подання здобувачем роботи _____

4. Вихідні дані до роботи Двигун – MAN B&W 9S50ME-C8.5; судно-прототип – MAERSK WEYMOUTH; дослідження використання аміаку як альтернативного палива; модернізація паливної системи та системи керування паливopoдачею.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика судна та двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5; властивості аміаку та оцінка можливості його використання як палива; особливості згоряння та безпеки при роботі на NH₃; модернізація паливної системи двигуна для роботи з аміаком; оцінка економічної ефективності модернізації.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Поперечний розріз двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5; Загальний вигляд контейнеровоза MAERSK WEYMOUTH; Система подачі аміаку; Паливна система високого тиску; Система управління двигуном.

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

8. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Здобувач освіти

Керівник роботи

_____ /Владислав ПІЛЕЦЬКИЙ/
 (підпис) (прізвище та ініціали)

_____ /Аркадій ПРОСКУРІН/
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі був проведений аналіз використання аміаку в малообертовому судновому двигуні MAN B&W 9S50ME-C8.5 шляхом модернізації системи управління подачею палива. Розглянуто економічний ефект від модернізації. Наведені заходи щодо забезпечення охорони праці.

Кваліфікаційна робота виконана українською мовою на 72 сторінках розрахунково-пояснювальної записки. Використано 7 джерел. Графічна частина представлена на 5 кресленнях формату А1.

Ключові слова: двигун, насос, аміак, альтернативне паливо.

The qualifying project analyzed the use of ammonia in a low-speed marine engine MAN B&W 9S50ME-C8.5 by modernizing the fuel management system. The economic effect of the modernization is considered. Measures to ensure labor protection are presented.

The qualification work is written in Ukrainian on 72 pages of calculation and explanatory note. 7 sources were used. The graphic part is presented in 5 drawings of A1 format.

Keywords: engine, pump, ammonia, alternative fuel.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						2
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ.....	
Розділ 1. Застосування двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5 на контейнеровозі «MAERSK WEYMOUTH».....	
Розділ 2. Особливості використання аміаку в якості палива в суднових двигунах	
Розділ 3. Модернізація паливної системи двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5	
Розділ 4. Економічне обґрунтування модернізації.....	
Розділ 5. Забезпечення вимог охорони праці.....	
Висновки.....	
Список використаної літератури.....	
Додаток А. Поперечний розріз двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5	
Додаток Б. Загальний вигляд контейнеровозу MAERSK WEYMOUTH	
Додаток В. Система подачі аміаку до двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5	
Додаток Г. Паливна система високого тиску MAN B&W 9S50ME-C8.5	
Додаток Д. Система управління двигуном MAN B&W 9S50ME-C8.5	

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасна морська галузь активно шукає шляхи декарбонізації та зниження екологічного впливу експлуатації суден. В умовах посилення міжнародних екологічних стандартів та зобов'язань з боку Міжнародної морської організації щодо зменшення викидів вуглекислого газу (CO_2), сірки (SO_x) та оксидів азоту, використання альтернативних палив стає одним із ключових напрямків інноваційних досліджень. Одним із перспективних рішень, що привертає значну увагу наукової спільноти, є застосування аміаку (NH_3) як суднового палива.

Аміак має низку переваг як потенційне паливо для двигунів внутрішнього згоряння. По-перше, він є вуглецево-нейтральним, за умови його виробництва із використанням відновлюваних джерел енергії. По-друге, спалювання аміаку не супроводжується утворенням CO_2 та інших забруднюючих речовин, пов'язаних із вуглецем. По-третє, його властивості дозволяють забезпечити стабільне згоряння в умовах низької частоти обертання двигуна, характерної для малообертових двигунів, які використовуються на морських судах.

Проте впровадження аміаку в якості палива супроводжується низкою технічних і експлуатаційних викликів. Серед них – вузькі межі займистості, висока температура займання та специфічні корозійні властивості продуктів згоряння.

Мета цієї магістерської роботи полягає в аналізі технічних аспектів використання аміаку в малообертових двигунах, оцінці його переваг та недоліків, а також у визначенні перспективних напрямків вдосконалення таких установок.

Об'єкт дослідження – система подачі палива.

Предмет дослідження – параметри системи подачі палива.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНА MAN B&W 9S50ME-C8.5 НА
КОНТЕЙНЕРОВОЗІ «MAERSK WEYMOUNT»

Призначення і конструктивний тип судна

Контейнеровоз «MAERSK WEYMOUNT» (IMO 9410260), взяте у якості прототипу у даній роботі, призначене для вантажів упакованих в контейнери. Ходить під прапором Гонконгу.

Судно спроектовано і побудовано згідно з правилами класифікаційного товариства Korean shipping register в Тайвані (CSBC Keelung) у 2009 році. MMSI – 636092825.

Таблиця 1.1 – Головні розміри судна

Параметр	Значення
Довжина найбільша, м	174,00
Довжина між перпендикулярами, м	164,90
Ширина найбільша, м	27,90
Максимальна осадка, м	12,50
Повна вантажопідйомність судна, т	18123
Швидкість судна, вуз	20,0

Судно має 5 вантажних трюмів перед рубкою які обслуговуються двома палубнимим кранами MacGregor. Місткість контейнерів максимально збільшується завдяки використанню 10 рядів контейнерів у трюмах, а вузькі цистерни під верхньою палубою сконструйовані як простір для трубопроводів, мазутних цистерн і водяних баластних цистерн.

Щоб уникнути можливих проблем із шумом і вібрацією, створеними крайньою кормовою рубкою, розроблено конструкцію зменшення вібрації гвинта та гомогенного сліду, щоб зменшити імпульс тиску, викликаний

					<i>KPM.142.6221m.13.00.II3</i>	Аркуш
						5
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

гвинтом. Згідно з результатами вимірювань шуму та вібрації в ході морських випробувань, рівні шуму відповідають стандарту Міжнародної морської організації, а рівні вібрації для найбільш критичних умов 109 об/хв у найбільш чутливому місці, на навігаційній палубі та кормовій палубі, нижчі за нижню межу, визначену ISO 6954-1984(E).



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд судна «MAERSK WEYMOUTH»

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		6

Опис енергетичної установки

В якості головного на судні встановлений двотактний дизель з газотурбінним наддуванням (з постійним тиском газів перед турбіною) MAN B&W 9S50ME-C8.5 з діаметром циліндра 500 і ходом поршня 2210 мм [1].

Двигун може експлуатуватися з використанням палива з в'язкістю до 700 сСт при температурі до 50°C, а також палива типу RMG 380.

Двигун характеризується високим співвідношення ходу поршня до діаметра циліндрів і високим ступенем стискування. Ці характеристики полегшують оптимізацію камери згоряння й дозволяють мати високі експлуатаційні показники при роботі на часткових навантаженнях і високій продуктивності.

Використовуваний двигун має потужність $N_e = 14940$ кВт при частоті обертання колінчатого валу $n = 127$ хв⁻¹.

Суднова електроенергетична установка в складі:

– три допоміжних автоматизованих дизель-генераторів (Yanmar 6EY26L потужністю 1620 кВт);

Аналіз особливостей конструкції двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5

Двигун MAN B&W 9S50ME-C8.5 (рис. 1.2) – це двохтактний, дев'ятициліндровий, реверсивний однорядний двигун внутрішнього згорання з вертикально розташованим циліндрами.

Поршень

Поршень складається з двох основних частин: головки та спідниці. Коронка поршня виготовлена з жаростійкої сталі, розташовується у верхній частині циліндра та виконує функцію очищення верхньої поверхні поршня від надлишкової золи й вуглецевих відкладень.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

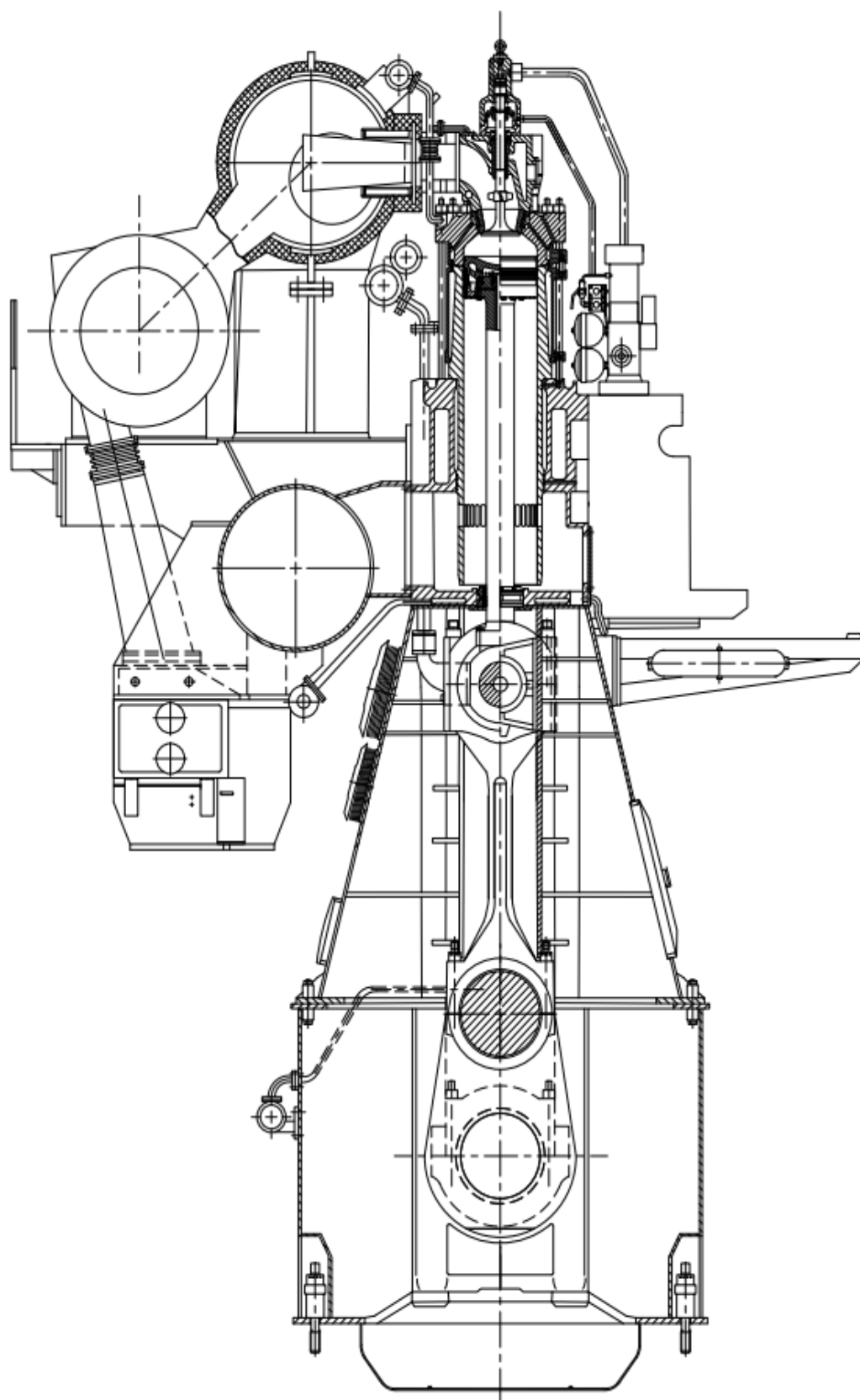


Рисунок 1.2 – Поперечний переріз двигуна 9S50ME-C8.5

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		8

На поршні можуть бути три або чотири кільцеві канавки, поверхні яких (верхня і нижня) покриті шаром твердого хрому. Найвище поршневе кільце належить до типу CPR (Controlled Pressure Relief), тоді як інші три кільця мають косий зріз. Зовнішні поверхні всіх кілець покриті алюмінієвим шаром для забезпечення обкатки.

Спідниця поршня виготовляється з чавуну, а для підвищення зносостійкості має бронзову стрічку або покриття з молібдену.

Фундаментна рама та головний підшипник.

Фундаментна рама виконана з упорним підшипником в кормовій частині двигуна. Фундаментна рама складається з високих зварних поздовжніх балок і зварних поперечних балок з несучими опорами з литої сталі. Для установки на фундамент двигуна на судні використовуються довгі пружні притискні болти і гідравлічні затискні пристрої. Фундаментна рама виконана без конусності для двигунів, встановлених на епоксидних подушках. Масляний піддон, який виготовлений із сталевих листів і приварений до станини, збирає повернення мастила з примусової системи змазки і охолодження масляної системи. Виходи мастила з масляного піддону стандартно вертикальні і забезпечені ґратами. Рамові підшипники складаються з тонкостінних сталевих вкладишів, облицьованих білим металом. Нижній вкладиш рамового підшипника можна висувати і опускати за допомогою спеціальних інструментів в поєднанні з гідравлічними інструментами для підйому колінчастого вала. Вкладиші утримуються кришкою підшипника.

Картер двигуна. Картер – зварний. З боку випуску він забезпечений запобіжними клапанами для кожного циліндра, а з боку маневрування - з великим відкидним люком для кожного циліндра. Напрямні крейцкопфа приварені до картера. Основу рами прикручено до фундаментної плити. Фундаментна рама, картер і блок циліндрів стягуються разом стопорними болтами.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Шатун

Шатун виготовляється з кованої або литої сталі і має кришки для підшипників крейцкопфа та шатуна.

Кришки підшипників крейцкопфа і шатуна фіксуються на шатуні за допомогою шпильок і гайок, які затягуються із застосуванням гідравлічних домкратів.

Підшипник крейцкопфа складається з набору тонкостінних сталевих вкладишів, які вкриті шаром підшипникового металу. Кришка підшипника крейцкопфа є цілісною і має кутовий виріз для розміщення штока поршня.

Підшипник шатуна також оснащений тонкостінними сталевими вкладишами, футерованими підшипниковим металом. Мастильна рідина подається через канали, розташовані у крейцкопфі та сполучному штоку.

Шток поршня

Шток поршня виготовлений з кованої сталі і загартований на робочій поверхні сальника. Шток поршня з'єднаний з крейцкопфом чотирма болтами. Шток поршня має центральний отвір, який разом з трубкою для охолоджуючого масла утворює вхід і вихід для охолоджуючого масла.

Втулка циліндра

Втулка циліндра є суцільнолитою деталлю, виготовленою з легованого чавуну, і закріплюється на рамі циліндра за допомогою низько розташованого фланця.

У верхній частині втулки розташована сорочка охолодження, що забезпечує ефективне відведення тепла. Втулка також має спеціальні отвори для видалення відпрацьованих газів і подачі мастила для змащування циліндра.

Колінчастий вал

Колінчастий вал складається з двох частин і виготовляється з кованої або литої сталевий заготовки.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На кормовому кінці вал оснащений хомутом для упорного підшипника, а також фланцем, призначеним для встановлення зубчастого колеса, що забезпечує передачу до гідравлічного блоку живлення. Крім того, цей фланець використовується для кріплення поворотного колеса та з'єднання з проміжним валом за допомогою болтів.

Передній кінець колінчастого валу має хомут для гасителя осьових коливань і фланець, на який можна встановлювати настроювальне колесо. За необхідності цей фланець може слугувати для відбору потужності.

Слід зазначити, що стяжні болти і гайки, які використовуються для з'єднання колінчастого валу з проміжним валом, зазвичай не входять у комплект постачання.

Крейцкопф

Крейцкопф має двосторонню конструкцію з чотирма повзунами, поверхня яких покрита білим металом. Поперечки виготовлені з кованої сталі і мають просвердлені канали, що забезпечують проходження мастила.

До поперечок за допомогою різьбового з'єднання кріпляться підп'ятник штока поршня, коліно телескопа для подачі мастила, а також зливна труба для відведення мастила, що використовується для охолодження поршня.

Телескопічна труба для подачі мастила і труба для його відведення встановлюються на направляючих черевиках, забезпечуючи ефективну роботу системи змащення.

Підвищувальна шестерня

У разі гідравлічного джерела живлення з механічним приводом від двигуна головні гідравлічні масляні насоси приводяться в дію від колінчастого вала через підвищувальну шестерню. Підвищувальна шестерня змащується від системи головного двигуна.

Валоповоротний механізм

Валоповоротне колесо встановлено на упорний вал, і він приводиться в рух валом валоповоротного механізму яке розташоване на фундаментній рамі.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Валоповоротний механізм приводиться в рух електродвигуном з вбудованим гальмом. Блокуючий пристрій запобігає запуск головного двигуна при ввімкненому поворотному механізмі.

Ввімкнення і вимикання поворотного механізму здійснюється вручну за рахунок осевого переміщення шестерні. Пристрій управління поворотним механізмом, що складається з пускача і блоку ручного управління, входить в базову конструкцію.

Гасник осевих коливань.

Двигун забезпечений демпфером осевих коливань, встановленим на передньому кінці колінчастого вала. Демпфер складається з поршня і роз'ємного корпусу, розташованого перед переднім корінним підшипником. Поршень виконаний як єдине кільце на головній шийці кривошипа, а корпус закріплений на опорі головного підшипника. Для перевірки працездатності гасника коливань передбачена механічна спрямовуюча, а електронний датчик вібрації може поставлятися в якості опції. Для двигунів з більш 9 циліндрів і вище необхідний датчик осевої вібрації з індикацією перевірки стану демпфера осевих коливань і висновками сигналізації і уповільнення.

Кришка циліндра

Кришка циліндра виготовлена з кованої сталі і має колпачкову конструкцію з отворами для циркуляції охолоджувальної води. У кришці розташовані дві форсунки, вихлопний клапан, індикаторний кран і запобіжний клапан, що забезпечують її функціональність.

Кришка кріпиться до блоку циліндра за допомогою шпильок і гайок, які проходять через порожнисту сорочку охолодження у верхній частині втулки. Затягування цих кріплень здійснюється за допомогою гідравлічних домкратів, що забезпечує надійне з'єднання.

Випускний клапан

Випускний клапан складається з тарілки клапана і шпинделя клапана. Тарілка клапана неохолоджуваного типу Millenium виготовлена з чавуну.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тарілка забезпечена сталевим дном з водяним охолодженням і негорючим сидлом конструкції з широким сидлом. Шпindelь випускного клапана є шпindelь DuraSpindle, корпус якого забезпечений направляючою шпindelю. Випускний клапан кріпиться до кришки циліндра шпильками і гайками. Випускний клапан відкривається гідравлічно за допомогою електронної системи активації клапана і закривається пневматично пружиною. Випускний клапан має конструкцію з низьким зусиллям, а робота випускного клапана регулюється багатходовим клапаном (ELVA або FIVA). Під час роботи шпindelь клапана повільно обертається під дією вихлопних газів, що впливають на лопаткове колесо, прикріплене до шпindelю. Ущільнення направляючої шпindelю випускного клапана забезпечується за допомогою Controlled Oil Level (COL), масляної ванни в нижній частині повітряного циліндра над кільцем ущільнювача. Ця масляна ванна також змащує направляючу шпindelю випускного клапана і кільце ущільнювача.

Блок циліндра

Блок циліндрів виготовлений із чавуну з кулястим графітом, що забезпечує високу жорсткість і надійність конструкції, необхідні для пружного кріплення.

Корінний підшипник має підвісну конструкцію і кріпиться за допомогою болтів, які затягуються гідравлічним способом. Додаткову жорсткість корпусу корінного підшипника забезпечують бічні болти.

Рядний двигун обладнаний спільним повітряним ресивером підвищеної жорсткості, що сприяє покращенню експлуатаційних характеристик.

Система продувочного повітря. Подача повітря в турбокомпресор відбувається безпосередньо з машинного відділення через глушник на впуску турбокомпресора. Від турбонагнітача повітря спрямовується через трубу наддувочного повітря, повітроохолоджувач і ресивер продувочного повітря до продувальних вікон втулок циліндрів. Ресивер продувочного повітря має D-подібну конструкцію

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Охолоджувач наддувочного повітря

На кожен турбокомпресор встановлюється охолоджувач продувочного повітря моноблочного типу. Охолоджувач продувочного повітря зазвичай охолоджується прісною водою з центральної системи охолодження. В якості альтернативи він може охолоджуватися морською водою з системи охолодження морської води або комбінованої системи охолодження з окремими насосами для морської води і прісної води. Робочий тиск до 4,5 бар. Охолоджувач наддувочного повітря сконструйований таким чином, що різниця між температурою наддувочного повітря і температурою води на вході при заданому MCR повинна бути близько 12 ° С.

Система газовипуска. Від випускних клапанів газ прямує в ресивер вихлопних газів, де нестійкий тиск в окремих циліндрах врівноважується, а загальний обсяг газу направляється в турбокомпресор. Після турбокомпресора газ прямує в зовнішню систему випуску відпрацьованих газів. Компенсатори встановлюються між випускними клапанами і ресивером, а також між ресивером і турбонагнітачем. Ресивер вихлопних газів і вихлопні труби мають ізоляцію, покриту оцинкованою сталлю. Між ресивером вихлопних газів і турбонагнітачем встановлена захисна решітка.

Допоміжний вентилятор. Двигун забезпечений вентиляторами продувочного повітря з електричним приводом, вбудованими в охолоджувач продувочного повітря. Сторона всмоктування нагнітачів з'єднана з простором продувочного повітря після повітроохолоджувача. Між повітроохолоджувачем і ресивером продувочного повітря встановлені лічильники води, які автоматично закриваються при подачі повітря допоміжними вентиляторами. Допоміжні вентилятори почнуть працювати послідовно перед запуском двигуна, щоб забезпечити достатній тиск продувочного повітря для безпечного запуску.

Гідравлічний циліндр. Гідравлічний блок циліндрів (HCU), по одному на кожен циліндр, складається з опорної плити, на якій встановлений

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

розподільний блок. Розподільний блок забезпечений одним або декількома гідроаккумуляторами для забезпечення необхідної максимальної витрати гідравлічного мастила під час вприскування палива. Розподільний блок служить механічною опорою для гідропідсилювача тиску палива і приводу випускного клапана з гідравлічним приводом. Одностінні трубопроводи використовуються в гідравлічних системах на 300 бар.

Гідравлічний блок живлення

(HPS) фільтрує і нагнітає мастило для використання в гідравлічній системі. HPS складається або з основних насосів з механічним приводом (від двигуна) і пускових насосів з електричним при-водом. Гідравлічний тиск 300 бар. HPS з механічним приводом приводиться в дію двигуном і встановлюється на кормі для двигунів з ланцюговим приводом на кормі (8 циліндрів або менше) і посередині для двигунів з ланцюговим приводом, розташованим посередині (9 циліндрів або більше).

HPS з електричним приводом зазвичай встановлюється в кормовій частині двигуна. Комбінований HPS з механічним приводом і електричними пусковими/резервними насосами з резервної продуктивністю доступний в якості опції.

Підсилювач тиску палива і трубопроводи високого тиску палива. Двигун забезпечений одним гідроаккумулятором палива з гідравлічним приводом на кожен циліндр. Впорскування палива активується багатоходовим клапаном (FIVA), яким електронно управляє блоком управління циліндром (CCU) системи управління двигуном. Трубопроводи палива високого тиску двостінні, з вбудованою конічної опорою. Труби ізолювані, але не обігріваються. У двигуні система «витоку палива» для кожного циліндра виявляє вилив палива і негайно зупиняє впорскування в фактичний циліндр.

Паливні форсунки і пусковий паливний клапан. Кришка циліндра оснащена двома або трьома паливними форсунками, пусковим повітряним клапаном і контрольним краном. Відкриття паливних форсунок

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

контролюється рідким паливом під високим тиском, створюваним підсилювачем тиску рідкого палива, а клапани закриваються пружиною.

Автоматична вентиляційна заслінка забезпечує циркуляцію палива через клапан і трубопроводи високого тиску при зупиненому двигуні. Вентиляційна заслінка також запобігає заповненню камери стиснення паливом в разі заїдання шпинделя клапана. Масло з вентиляційної заслінки і інших стоків відводиться в закриту систему. Подача пускового повітря забезпечується одним електромагнітним клапаном на циліндр, керованим блоками ССУ системи управління двигуном. Пусковий клапан відкривається керуючим повітрям, синхронізується системою управління двигуном, і закривається пружиною. Повільний проворот перед запуском - це програма, яка включена в базову систему управління двигуном.

					<i>KPM.142.6221m.13.00.ПЗ</i>	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АМІАКУ В ЯКОСТІ ПАЛИВА В СУДНОВИХ ДВИГУНАХ

Передумови використання аміаку в якості палива для суднових двигунів

Одним з майбутніх кандидатів на паливо, що викликає все більший інтерес у світі і, ймовірно, відіграватиме значну роль у декарбонізації, є аміак (NH_3). Завдяки тому, що молекулярний склад NH_3 не містить вуглецю і сірки, його спалювання в двигуні створює майже нульові викиди CO_2 і SOX . З точки зору перспективи, аміак стає вуглецево-нейтральним паливом, коли його виробляють з відновлюваних джерел енергії, таких як електроенергія, вироблена з гідроенергії, вітру або сонця. Крім того, викиди забруднювачів повітря, пов'язаних з вуглецем (сажа, незгорілі вуглеводні (HC), метановий шлейф і оксид вуглецю (CO)), будуть практично ліквідовані. Фундаментальними причинами високої толерантності до погано запалюваного і палаючого палива є низька частота обертання двигуна, що дає час для завершення горіння, і великі розміри, що призводить до великого співвідношення об'єму до поверхні, що сприяє повному згорянню і низьким тепловтратам на стінках. Безвуглецева природа аміаку також означає, що фізика горіння аміаку не буде повністю нагадувати характеристики горіння раніше відомих двотактних палив.

Зазвичай аміак виробляється за допомогою процесу синтезу Haber-Bosch з водню та азоту. У той час як азот отримують шляхом розділення повітря, для виробництва водню можна використовувати кілька виробничих маршрутів, зокрема, паровий риформінг вуглеводнів або електроліз води. В природі при згорянні аміаку не виділяється CO_2 , оскільки він не містить атомів вуглецю, великомасштабне промислове виробництво аміаку базується переважно на

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

викопному паливі, яке використовується для виробництва сірого та синього аміаку.

При виробництві звичайного аміаку CO_2 утворюється як побічний продукт. Виробництво блакитного аміаку передбачає уловлювання утвореного CO_2 , який зріджується і зберігається за принципами уловлювання та зберігання вуглецю (УЗВ).

Зберігання, транспортування та спалювання аміаку пов'язане з певними труднощами, але також і з перевагами, зумовленими його фізико-хімічними властивостями - NH_3 не містить вуглецю та сірки і дає чисте згоряння з майже нульовим утворенням CO_2 або SOX - Об'ємна густина енергії NH_3 вища, ніж у H_2 - NH_3 може бути розщеплений на N_2 та H_2 - NH_3 невибухонебезпечний, на відміну від H_2 .

- Він дешевший і менш складний у транспортуванні та зберіганні, ніж водень та інші види палива, що потребують кріогенних температур

- Низький ризик займання в навколишньому середовищі робить зберігання великих кількостей аміаку безпечнішим з точки зору пожежної безпеки, ніж водень

- Нижча теплота згоряння аміаку (приблизно 18,6 МДж/кг) є порівнянною з метанолом. Щільність енергії на одиницю об'єму аміаку (12,7 МДж/л) та інших альтернативних видів палива нижча, ніж у МГО (35 МДж/л).

Аміак має вузьку межу займистості, високу мінімальну енергію займання, високу температуру самозаймання (650 °C) і низьку швидкість/поширення полум'я. Крім того, аміак має високу теплоту пароутворення, що призводить до значного зниження температури при якій аміак випаровується з рідини в газ, знижуючи температуру в циліндрі. Також проблеми можуть статися з замерзанням інжекторних форсунок. З іншого боку, при попередньому змішуванні палива і повітря в газоподібному вигляді великого перепаду температури під час згоряння можна уникнути, але шляхом

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						18
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

введення палива через впускний колектор пари аміаку витісняють таку ж кількість повітря і, таким чином, об'ємний ефективність знижується.

Матеріальні міркування

Загальним наслідком згоряння аміаку є корозія. Це пов'язано з утворенням водяної пари під час горіння. Важливо, щоб матеріали двигуна були сумісні з використовуваним паливом. Кілька існуючих двигунів внутрішнього згоряння містять чавун, мідь, нікель, алюміній і гуму.

Питання безпеки при використанні двигунів на аміачному паливі

При розгляді використання аміаку в транспортних засобах необхідні нові заходи безпеки. Звичайні проблеми безпеки з дизельним паливом є небезпека вибуху, однак це не є такою великою проблемою для аміаку. Найбільше занепокоєння викликає токсичність, яка може спричинити значні наслідки у разі витоку. Можливе занепокоєння при спалюванні вуглеводневого палива та аміаку – утворення водню ціанід (HCN). Ціаністий водень є дуже токсичною кислотою і може бути смертельним при концентрації в кілька частин на мільйон в повітрі. HCN може бути утворений з різних комбінацій вуглецю, аміаку та водню. Ціаністий водень утворюється при дефіциті кисню (коли не використовується каталізатор) і повинен тому зазвичай не викликає занепокоєння в двигунах внутрішнього згоряння.

Специфіка робочого процесу сучасних ДВЗ під час роботи на аміаку в якості палива.

Поршневі ДВЗ що працюють на аміаку розрізняють за трьома основними ознаками: методом запалення робочої суміші, способом сумішоутворення і тактності.

Різниця за методом запалення робочої суміші є найважливішою, оскільки вона обумовлює особливості перебігу робочого процесу двигуна і впливає на основні параметри та показники. За методом займання розрізняють двигуни трьох типів: з іскровим, форкамеро - факельного запалювання і

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

запалюванням від запальної дози дизельного палива.

Для двигунів що працюють на аміаку не знайшли поки застосування метода займання від стиснення як у дизельних двигунів, хоча спроби здійснення такого процесу робилися. Основним обмежуючим фактором при проведенні циклу із запалюванням від стиснення на аміачному паливі є висока температура займання аміаку (650...700 °С), що значно перевищує температуру займання дизельних палив (320...380 °С).

Іншою важливою ознакою є спосіб утворення робочої суміші: зовнішнє і внутрішнє сумішоутворення. Ця ознака значною мірою визначає конструктивне виконання і параметри двигуна. Зовнішнє сумішоутворення найбільшого поширення набуло на автомобільних і стаціонарних двигунах з малими діаметрами циліндра і незначним надувом. Внутрішнє сумішоутворення застосовують у двигунах з великими діаметрами циліндрів, протяжними повітряними ресиверами і там, де можливо конструктивне розміщення газовпускного клапана.

Третя ознака – це тактність двигуна. Природно, що двох - або чотиритактний двигун визначає тип робочого процесу, однак при розгляді тенденцій розвитку стану газових двигунів ця ознака в аналізі не є основною.

За основною ознакою (способом займання) двигуни на аміку відносяться до двигунів з примусовим займання. Робочі ж процеси цих двигунів істотно різняться. У першу чергу це пов'язано з заміною іскри у газових двигунах на займання факелом газу у форкамеро - факельних або факелом запального дизельного палива.

Примусове запалювання передбачає створення в циліндрі до моменту початку згоряння підготовленої до займання робочої суміші (осередків згоряння). При іскровому запалюванні таким вогнищем служить обсяг, прилеглий до міжелектродного простору свічки запалювання. Форкамеро - факельне запалювання передбачає примусове створення вогнища факельного типу за рахунок попереднього спалювання невеликого об'єму газоповітряної

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

суміші в спеціальній форкамері. У двигунах з газодизельним процесом згоряння полум'я утворює в об'ємі, охопленому факелом (факелами) вприскнутого дизельного палива. Як показують дослідження, витрата енергії для запалення (енергія іскри) при ГМТ значно більше, ніж при інших видах пального. Це призвело до того, що в практиці конструювання газових поршневих двигунів знайшли широке застосування ефективні джерела запалювання.

Найважливішим елементом системи запалювання сучасних форсованих газових двигунів є свіча. При наддуві і високому ступені стиснення умови роботи свічки запалювання значно ускладнюються, особливо тоді, коли необхідно забезпечити тривалу надійну безперервну роботу. На роботу свічки запалювання впливають:

- умови в камері згоряння в момент іскроутворення (температура, тиск, склад суміші в зоні іскри);
- теплові якості і конструкція свічки;
- характеристика іскрового розряду;
- умови тепловідведення від свічки;
- розташування свічки в камері згоряння;
- міжелектродний зазор.

Всі ці умови тісно пов'язані з параметрами роботи двигунів. Для забезпечення надійності свічки запалювання дуже важливий добрий від неї тепловідвід. Досвід експлуатації показав, що для забезпечення нормальної роботи температура прокладки під свічкою запалення повинна бути 120...130 °С. Деякі сучасні конструкції двигунів передбачають спеціальне охолодження свічок.

Двопаливний режим роботи двигунів на аміаку

Оскільки спалювання в існуючих ДВЗ без серйозних модифікацій важко досягти, використовуючи чисте аміаку, потрібні альтернативи. Горючість

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

аміаку можна поліпшити за допомогою стимуляторів горіння. Прискорювачі горіння є більш реактивним паливом, яке використовується з аміаком для покращення запалюваності та швидкості полум'я. Прискорювачами горіння можуть бути звичайні ДВЗ види палива, такі як дизельне паливо та бензин, а також альтернативні види палива, такі як біодизель, водень, етанол, DME тощо. Двопаливні рішення – це сфера з невеликим досвідом, тому тут потрібно багато розвиватися у управлінні уприскуванням і запалюванням палива та оптимального проектування систем.

Аміак у двигунах з іскровим запалюванням

Бензин і аміак

Представляє інтерес дослідити використання аміаку з бензином як стимулятора горіння для кількох причини. По-перше, бензин майже доступний у всьому світі, а двопаливний двигун працює на аміаку і бензин дозволяє двигуну працювати лише на бензині, що є кращим, оскільки дослідження показують, що холостого ходу операція на аміаку незручна. Крім того, значно збільшується присутність аміаку октанове число паливної суміші, отже, робота на аміаку/бензині не обмежена детонацією. Крім того, використання бензину як стимулятора горіння також дозволяє уникнути проблеми збереження високого тиску газ або сучасне обладнання для крекінгу на борту, якщо це необхідно при використанні водню.

Було проведено кілька досліджень з використання бензину та аміаку в двигунах з іскровим запалюванням, де бензин використовувався як промоутер горіння, було проведено кілька досліджень. У двох останніх експериментальних роботах досліджуються продуктивність бензину та аміаку з прямим впорскуванням газів та з поршнеvim впорскуванням аміаку. Відомо, що використання прямого впорскування рідкого аміаку дає кращу об'ємну об'ємну ефективність, оскільки у рідкій фазі аміак не витісняє велику кількість повітря, а охолоджує всмоктувану суміш, що призводить до підвищення її

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

щільності. Однак приріст ефективності все одно невеликий. Крім того, спостерігається значне зниження температури стиснення і збільшення нерівномірності суміші нерівномірність суміші. Покращення горючості аміаку становить великий інтерес, а пряме впорскування аміаку аміаку є контрпродуктивним для цього.

К. Руу та ін. провели експерименти на двигуні CFR з постійним ступенем стиснення 10:1 при постійній частоті обертання 1800 об/хв. Для збільшення об'ємної ефективності газоподібний аміак впорскували за допомогою спеціального модуля прямого впорскування при 370, 320 і 270 CAD BTDC. Для кожного часу впорскування були досліджені різні тривалість впорскування була досліджена з різною кількістю бензину, що впорскувався в отвір для полегшення згоряння. З точки зору найкращої вихідної потужності, час впорскування та тривалість впорскування змінювалися за різних умов експлуатації. Загалом, найкраща вихідна потужність була досягнута при часі впорскування 320 CAD BTDC при низьких навантаженнях і 370 CAD BTDC при високих навантаженнях.

Результати показують, що робота на аміаку/бензині може забезпечити енергію, еквівалентну роботі на бензині тільки в діапазоні випробуваних навантажень. Дослідження тиску і тепловиділення показують, що згоряння бензину / аміаку демонструє характеристики звичайного СІ-двигуна. Однак при цьому досягається нижчий піковий тиск порівняно зі спалюванням чистого бензину, оскільки аміак має нижчу температуру полум'я та швидкості полум'я. Однак, висока ударна в'язкість аміаку дозволяє отримати вищий ступінь стиснення і, таким чином, вищий піковий тиск. Зі збільшенням навантаження аміаку (збільшенням тривалості впорскування) тривалість згоряння зменшується, що свідчить про те, що додавання аміаку певною мірою збільшує швидкість горіння. Слід зазначити, що аміак не збільшує швидкість згоряння в такій мірі, як бензин, однак тривалість горіння аміаку і бензину порівнянна з тривалістю горіння аміаку і бензину порівнянна. Автор

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

також вважав, що це може бути пов'язано з підвищеною інтенсивністю горіння спричиненою сильною турбулентністю в бензино-повітряній суміші перед запалюванням, внаслідок прямого впорскування аміаку.

Водень та аміак

У багатьох дослідженнях рекомендується використовувати водень як промотор згоряння в двигунах з іскровим запаленням, що працюють на аміаку аміаку. Характеристики горіння водню є кращими в поєднанні з аміаком, при правильному співвідношенні водень може компенсувати повільну швидкість полум'я аміаку та вимоги до запалювання. Водень має мінімальну енергію займання 0,016, невеликі кількості водню здатні значно зменшити необхідну кількість енергії. Водень, що міститься в аміаку, може бути утилізований шляхом дисоціації аміаку на каталізаторі, що приводиться в дію теплом вихлопних газів. Таким чином, як паливо потрібен лише аміак, і лише інфраструктура аміаку. Крім того, відсутність вуглецю як у водні, так і в аміаку виключає вуглецеві викиди. Єдине занепокоєння з точки зору викидів викликають оксиди азоту та аміаку, які, як показують дослідження, найімовірніше, можуть бути видалені за допомогою модифікованого каталізатора SCR. Було продемонстровано, що комерційний каталізатор на основі рутенію здатний розщеплювати аміак на водень і азот для використання разом з аміаком у двигунах з іскровим запаленням.

Каталізатор здатний повністю перетворювати аміак на водень при температурі 450 °C і вище. Щоб отримати належний потік водневого палива, шар каталізатора в системі розкладає аміак розділений на чотири частини всередині теплообмінника. Таким чином, система в принципі складається з чотирьох реакторів розкладання аміаку. Два нагрівальних елемента, здатних досягати потрібної температури, також впроваджені в теплообмінник. Таким чином, система може працювати як на електриці, так і на теплі вихлопних газів. Крім того, два нагрівальних елементів в системі подачі

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

аміаку, щоб підтримувати аміак у газоподібному стані. Система була перевірена шляхом тестування, щоб забезпечити достатній потік водню при живленні тільки від електрики. Експерименти показали, що при співвідношенні повітря-паливо 1 і частоті обертання між 2500-3500 об/хв, температура вихлопних газів достатня для роботи системи без допоміжної електроенергії. У той час як при співвідношенні повітря-паливо 1.2 температура вихлопних газів була недостатньою для роботи системи самостійно, отже, потрібна була допомога нагрівальних елементів. Однак в експериментах використовувався вміст водню який був вищим, ніж необхідний для адекватного згоряння аміаку/водню.

Стратегія зберігання аміаку полягає у використанні металоамінного комплексу, як згадувалося раніше. При зберіганні аміаку в металоамінному комплексі необхідне тепло для вивільнення аміаку з комплексу і дисоціації аміаку до водню. Експерименти показують, що можна покрити більшу частину

тепла, необхідного для вилучення суміші аміаку і водню з амінокомплексу металу ($Mg(NH_3)_6Cl_2$), за рахунок використання тепла вихлопних газів. Однак очікується, що лише 2/3 вмісту аміаку за ідеальних умов може бути вилучено лише 2/3 вмісту аміаку. Для компенсації цього пропонується використовувати процес перезавантаження амінного комплексу. Крім того, на низьких швидкостях і при холодному пуску використання тепла вихлопних газів може бути недостатньо для досягнення 2/3 збереження вмісту аміаку. Коефіцієнт конверсії також сильно залежить від співвідношення необхідного водню та аміаку. Оскільки водень отримують шляхом розкладання аміаку, то при вищих концентраціях водню потрібно більше тепла.

Дослідження показують проблеми з двигунами СІ при використанні лише аміаку або водню. Характеристики палива роблять його кращим для роботи при високих ступенях стиснення. Вважається, що компромісу можна досягти шляхом змішування водню та аміаку.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Аміак у двигунах із запалюванням від стиснення

Дизельне паливо та аміак

Дизельне паливо, як і бензин, є доступним у всьому світі, що робить спалювання дизельного палива та аміаку темою з тих же причин, що і бензин. Грей та ін. довели успішне спалювання шляхом прямого впорскування як рідкого аміаку, так і дизельного палива при ступені стиснення від 30:1 до 15,2:1, з використанням двигуна CFR з підігрівом всмоктуваного повітря до 65 °C та інжекторів до 100 °C при швидкостях 900 об/хв та 1800 об/хв. Підігрів здійснювався для запобігання замерзання форсунок, оскільки аміак має високу теплоту випаровування і температуру кипіння -33°C. Досвід випробувань показує, що аміак потрібно впорскувати щонайменше за 40 CAD до закінчення впорскування дизельного палива, якщо пізніше не вдається отримати запалювання, а затримка запалювання збільшується зі збільшенням кількості аміаку, введенного в двигун. аміаку. Однак у цьому дослідженні було випробувано інший метод впорскування аміаку. Грей впорскував аміак у повітрязабірник у вигляді пари і безпосередньо впорскував дизель. Цей метод показав кращий вихід тиску порівняно з прямим впорскуванням аміаку, хоча об'ємна ефективність була знижена.

Пірсолл успішно застосував цю стратегію в дизельному двигуні V2 з наддувом із ступенем стиснення 18.6:1. У порівнянні з роботою на чистому дизельному паливі вони досягли вказаної потужності та вказаної теплової ефективності для роботи на аміаку/дизелі, які були на 32% та 13% вищими, відповідно. Той факт, що при роботі на аміаку/дизельному паливі можна досягти більшої потужності і теплової ефективності, ніж при роботі на чистому дизельному паливі був описаний Ньюхолом в теоретичному дослідженні аміаку в двигунах із сумішевим впорскуванням. У дослідженні вони також виявили, що підвищення температури головки блоку циліндрів позитивно впливає на продуктивність і що витрата палива була найкращою на нижчих швидкостях, що, ймовірно, спричинено аміаком низька швидкість

					КРМ.142.6221м.13.00.ІІЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

поширення полум'я. Крім того, вони виявили, що робота дросельної заслінки на аміачному/дизельному паливі не була неможлива.

Пізніше в дослідженні вони перетворили той самий CI-двигун на SI-двигун, що працює лише на аміаку, шляхом замінення паливних форсунок на високоефективну систему запалювання. Вони досягли ще більшої потужності порівняно з роботою на аміаку/дизельному паливі і змогли працювати з дроселюванням при частковому навантаженні.

У двох нещодавніх експериментальних дослідженнях вивчалось згоряння аміаку і дизельного палива в комерційному чотирициліндровому дизельному двигуні з турбонаддувом. Випробування проводилися при ступені стиснення 17:1. Аміак впорскувався у повітрязбірник, а дизельне паливо впорскувалося безпосередньо. Наступні результати отримані за допомогою стратегії випробувань, яка полягала у зміні співвідношення дизельного палива та аміаку для досягнення тієї ж потужності, що і при роботі на дизельному паливі, при 1000 об/хв:

Питомі витрати палива на гальмування (BSFC) для аміаку та дизельного палива мали протилежні тенденції. Коли вміст дизельного палива є низьким (менше 15% на основі енергії), BSFC для дизельного палива є занадто високим, а коли вміст дизельного палива є високим (більше 60% на основі енергії), BSFC для аміачного палива є надто високим. Чим більше аміаку, тим нижча температура полум'я в циліндрі - це в поєднанні з роботою дизеля з невеликим навантаженням призводить до низької ефективності дизельного палива. Коли багато аміаку замінюється дизельним паливом, співвідношення аміак-повітря може бути близьким до межі займистості аміаку, в результаті чого суміш стає занадто бідною для ефективного згоряння, що призводить до високих значень BSFC.

Дослідження тепловиділення і тиску показали, що чим більше дизельного палива замінюється аміаком, тим довша затримка запалювання і піковий тиск ставали довшими. Вважається, що це пов'язано з

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

вищою стійкістю аміаку до самозаймання і зменшенням розбризкування дизельного палива, що зменшує імпульс палива для ефективного розпилення та змішування, що призводить до займання. З точки зору загальної паливної ефективності, оптимальний діапазон становить 40-60% енергії дизельного палива.

Альтернативні види палива та аміак

В роботі застосовували паливо з вищим цетановим числом (амілінітрат 100+), а спалювання СІ з аміаком можна було досягти при ступенях стиснення до 12:1. Також було випробувано суміш 10% диметилгідразину та аміаку, яка могла сприяти горінню при ступені стиснення 23,2:1, інші суміші призводили до небажаної реакції або утворення відкладень. Шляхом прямого впорскування аміаку (впуск повітря при 66°C, інжектори при 100°C) вони ввели водень (6-10%), ацетилен (20%) або ефір (15-20%) у впускне повітря і змогли досягти згоряння при ступенях стиснення 21:1, 21:1 і 16:1 відповідно.

Дослідження з прямим впорскуванням сумішей ДМЕ з аміаком у невеликий двигун внутрішнього згоряння показало, що можна досягти успішного згоряння. Таким чином, чим більше аміаку в суміші, тим більше уповільнення впорскування було необхідним. При використанні суміші з 60% аміаку його слід впорскувати при 340 до 90 BTDC. Чим більше аміаку міститься в суміші, тим більше спостерігається схожість характеристик згоряння з НССІ. Також було отримано меншу потужність і більшу варіацію від циклу до циклу, порівняно з 100% ДМЕ. Крім того, викиди НС, СО та NO_x збільшилися в результаті вищого вмісту аміаку в суміші, через нижчу температуру згоряння та більшу кількість NO_x в паливі.

Прицип роботи двигуна на аміаку

Під час роботи на двох видах палива аміачне паливо подається до двигуна з баків через систему подачі палива. Для підтримання необхідних паливних умов у двигуні невелика частина аміачного палива безперервно

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

рециркулює в FSS через систему рециркуляції. Коли двигун не працює в двопаливному режимі, подвійна система FVT скидає тиск і повністю ізолює системи подачі та повернення аміачного палива в машинному відділенні від систем подачі та повернення аміачного палива. Перед кожним запуском системи заповнюються азотом для перевірки герметичності системи. Коли робота на двох видах палива припиняється, тиск азоту виштовхує аміачне паливо з двигуна в систему рециркуляції. Після завершення процесу продувки FVT знову забезпечує ізоляцію систем машинного відділення від систем подачі та рециркуляції. Протягом всієї роботи двостінна система вентиляції існуючих двопаливних двигунів MAN ES виявляє будь-які витіки аміачного палива і спрямовує його з моторного відсіку в окрему систему уловлювання аміаку.

Система рециркуляції:

Аміачне паливо, що рециркулює, нагрівається в двигуні під час роботи. Щоб уникнути двофазного режиму, певна кількість аміачного палива рециркулює в спеціальну лінію рециркуляції. Ця ж лінія рециркуляції повертає аміачне паливо з двигуна, коли робота на двох видах палива припиняється. Рециркуляційне паливо може містити сліди ущільнювального мастила з клапанів впорскування. Лінія рециркуляції усуває ризик забруднення паливних баків мастилом. Лінія рециркуляції також відокремлює і випускає азот з регенованого аміачного палива.

Система подачі палива:

У ФСБ міститься обладнання необхідне для забезпечення подачі аміачного палива до двигуна з необхідною температурою, тиском і якістю. У більшості випадків ФНП має насос високого тиску, підігрівач, фільтри, клапани і системи управління для підтримки тиску і температури аміачного палива при різних витратах двигуна

Паливний клапанний механізм (ПНВТ) є сполучною ланкою між двигуном і допоміжними системами. Призначення ПНВТ - забезпечити

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

безпечну ізоляцію двигуна під час зупинки і технічного обслуговування, а також забезпечити функцію продувки азотом. Ця функція забезпечує безпечне середовище на двигуні після зупинки

Азотна система

Азот повинен бути доступним для продувки двигуна після роботи на двох видах палива, для випуску газів перед технічним обслуговуванням і для перевірки герметичності після технічного обслуговування. Пропускна здатність азотної системи повинна бути достатньо великою, щоб забезпечити певний потік при тиску, вищому за тиск у робочому баку.

Система вентиляції з подвійними стінками

Для підтримання безпечного машинного відділення життєво важливо виявляти будь-які витоки з аміачної паливної системи і направляти їх у безпечне місце. Це призвело до того, що аміачні паливні системи та трубопроводи в машинному відділенні мають подвійні стінки. У зовнішній трубі підтримується постійний потік вентиляційного повітря відповідно до вимог ІМО. Ця система вже є частиною інших двопаливних двигунів MAN B&W.

Система уловлювання аміаку

Аміачні системи повинні бути спроектовані з системою уловлювання аміаку, щоб запобігти витоку аміаку в навколишнє середовище.

Технологія селективної каталітичної нейтралізації

Для зменшення викидів оксидів азоту (тобто NO і NO₂, які зазвичай називають NO_x) і дотримання регіональних норм викидів двигуни MAN ES оснащуються, наприклад, передовою технологією SCR (селективної каталітичної нейтралізації).

Технологія SCR - це процес доочищення, в якому NO_x, що утворюється під час згоряння, видаляється з вихлопних газів шляхом каталітичного відновлення. Зазвичай необхідний аміак (відновник) додається шляхом впорскування розчину сечовини (CH₄N₂O + H₂O) у вихлопні гази, однак,

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

аміак можна впорскувати в якості каталізатора замість сечовини. Однією з переваг цього методу є те, що судно, яке заправляється аміаком, вже перевозить аміак. Споживання аміаку для системи SCR буде дуже малим порівняно зі споживанням аміачного палива

Суднам, що працюють на аміачному паливі, які спроектовані і побудовані відповідно до цього правила, може бути присвоєна додаткова службова ознака «аміачне паливо». Додаткова службова ознака «аміачне паливо» доповнюється - позначенням singlefuel, якщо двигун використовує як паливо тільки аміак - позначенням dualfuel, якщо двигун використовує як паливо аміак і мазут. Додаткова сервісна функція, наприклад, ammoniafuel dualfuel або ammoniafuel singlefuel може бути доповнена - позначенням -prop, коли аміачне паливо використовується тільки для силової установки - позначенням -aux, коли аміачне паливо використовується тільки для допоміжних систем.

Правила доступу:

Доступ до простору не повинен бути необхідним у нормальному робочому стані судна (окрім випадку бункерування станції, до яких необхідний доступ для підключення та від'єднання шлангів перекачування аміаку).

На борту має бути доступна процедура, яка визначає умови, яких необхідно дотримуватися для безпечного доступу до простору. Попередження

Повідомлення з інструкціями з техніки безпеки має бути розміщено поза межами приміщення, поруч із кожними дверима доступу.

Приміщення повинно мати прямий доступ до відкритої палуби. Якщо це неможливо, альтернативне розташування з повітряним затвором також можуть бути розглянуті.

Прямий доступ до простору з іншого простору не дозволяється.

На сьогоднішній день виникають декілька проблем використання аміака в якості палива для суднових малообертових двигунів. Перше - питання

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

зберігання газу. В даний час зберігання аміаку на судні найпростіше здійснюється в стислому вигляді. Балони з армованого пластика забезпечують порівняно хороші показники за питомим обсягом і масою системи зберігання. Проте, для двигунів високої потужності, що мають значну тривалість автономного плавання, перспективним є криогенний спосіб зберігання.

Друге питання пов'язане безпосередньо з роботою моторної установки. До них відносяться організація робочого процесу, паливоподачі і регулювання.

При переведенні на газове паливо дизельного двигуна, найбільш очевидним варіантом організації робочого процесу є газодизельний. При цьому можна зберегти незмінними основні параметри й регулювання базового двигуна, обмежившись створенням системи подачі газу в двигун і зміною системи регулювання потужності.

У зв'язку з тим, що в паливній системі двигуна на аміаку два види палива: рідке і газоподібне, для безпечної і безаварійної роботи газодизеля необхідно зберегти всі види захисту дизеля і доповнити специфічними захистами:

1. Відключення подачі аміаку при падінні тиску рідкого палива в трубопроводі низького тиску для виключення пропуску спалахів в циліндрах через відсутність запального палива.
2. По тиску газоподібного палива, що забезпечує відключення його при недопустимих відхиленнях тиску.
3. На кришках люків картера мають бути встановлені запобіжні клапани з сітками.
4. Пуск, зупинка і робота при навантаженні менше 15% $P_{e\text{ном}}$ виконується лише на рідкому паливі.
5. У машинному відділенні необхідна система контролю наявності метану в зонах можливих витоків і скупчення аміаку з попереджувальною

					КРМ.142.6221м.13.00.ІІЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

сигналізацією при концентрації 20% НКПВ та аварійною (виконавчою) сигналізацією при 50...70% НКПВ.

6. Трубопроводи аміачного двигуна і система випуску відпрацьованих газів повинні мати можливість продування інертним газом або повітрям.

7. Відсічні клапани на вході газу в машинне відділення мають бути дубльовані.

8. З метою виключення попадання аміаку в машинне відділення при можливих витоках в зоні розташування газових трубопроводів газодизеля рекомендується установка кожуха з організацією відсмоктування повітря або організація інтенсивної вентиляції з відсіченням подачі аміака при її відключенні.

Вище перелічені заходи відповідають основним вимогам для тривалої безаварійної роботи суднових аміачних дизелів, своєчасного виявлення витоків аміаку і усунення небезпечних наслідків від нього.

Перспектива використання аміака в якості палива для суднових малообертових двигунів.

Властивості аміачного палива викликають труднощі при його використанні в ДВЗ. Деякі проблеми, пов'язані з властивостями, в деяких дослідженнях були вирішені механічними засобами. Було доведено, що мінімальну енергію запалювання можна подолати шляхом впровадження нової системи запалювання або додаванням другого палива. Такі властивості, як швидкість полум'я, можна було змінити до належного рівня лише за допомогою додавання прискорювача згоряння. Таким чином, двигун, що працює лише на аміаку, не є сприятливим. Водень показав відмінні характеристики в поліпшенні згоряння аміаку. Інші прискорювачі згоряння, такі як дизельне паливо і бензин, також показали багатообіцяючі результати, хоча в більших кількостях і не в повному робочому діапазоні. Також видно,

					<i>KPM.142.6221m.13.00.II3</i>	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

що модифікація двигуна до певної міри є необхідністю при використанні паливних сумішей.

Переважає більшість експериментів, знайдених в літературі, тестували СІ-двигуни. Однак, в деяких з них також вдалося досягти задовільного згоряння при використанні СІ-двигунів. З точки зору ступеня стиснення, швидкості та навантаження в літературі спостерігається загальна тенденція як для SI, так і для СІ-двигунів. Високі ступені стиснення, низькі швидкості та високі навантаження є кращими для двигунів, що працюють на аміачному паливі. Всі ці тенденції в першу чергу пов'язані з низькою швидкістю поширення полум'я аміаку.

Успішна реалізація аміаку - це не лише питання технології двигунів. Впровадження аміаку має розглядатися в контексті масштабів змін в інфраструктурі, технологіях і витратах.

Пасажирські транспортні засоби є великою сферою впровадження, яка потребує значної реструктуризації існуючої системи подачі палива, щоб технологія була успішною. Додатковим мінусом для цієї сфери є низька енергетична щільність аміаку, що не сприяє його використанню в якості першого вибору для невеликих транспортних засобів. Випробування двигунів, однак, показали хороші результати для аміачного двигуна з невеликою кількістю водню. Однак, також спостерігається велика варіація швидкостей і навантажень у пасажирському транспортному засобі. На холостому ході, дуже низьких швидкостях і на високих швидкостях, водень або інший енергетичний ресурс буде потрібен. Таким чином, додавання водневого баку та/або сучасне обладнання для крекінгу на борту. Проблем безпеки бортового аміаку можна уникнути встановленням аміко-уловлювачів.

Морські двигуни, що працюють на аміаку з пробним впорскуванням дизельного або іншого високоцетанового палива, можуть бути застосованими у найближчому майбутньому. Такі двигуни мають великий робочий об'єм і працюють на постійних низьких обертах з високими

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

навантаженнями, що робить їх сприятливими для спалювання аміаку. Крім того, вже існують двопаливні морські двигуни, що працюють на альтернативних видах палива, таких як зріджений нафтовий газ (LPG), і оскільки фізичні властивості аміаку дещо подібні до властивостей зрідженого газу, досвід використання цих двигунів може допомогти прискорити впровадження аміаку в морські двигуни. Перевізники аміаку вже мають досвід поводження з аміаком і його зберігання, і, таким чином, можуть отримати вигоду з точки зору зниження викидів CO₂ та економії від використання вже наявного на борту палива за рахунок впровадження двигунів, що працюють на аміаку.

Двигуни, що працюють на аміаку, у випадку витоку аміаку, аміак швидко випаровується і піднімається в атмосферу, тому його токсичність може не викликати особливого занепокоєння у цьому секторі, а безпека може бути легше досягнута.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
МОДЕРНІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДВИГУНА MAN B&W
9S50ME-C8.5

Розміщення газового обладнання на судні «MAERSK WEYMOUTH»

Питання використання газів як моторного палива на флоті вперше виникло у зв'язку з експлуатацією газовозів і нафтоналивних танкерів.

На газовозах, які транспортують зріджені гази (LNG, аміак) при температурах нижче -160°C у спеціальних криогенних ємностях, відбувається постійне випаровування газу в кількості 0,135...0,15% від загального об'єму вантажу за добу. Повторне зрідження є досить витратним процесом, тому найбільш доцільним рішенням стало використання випаровуваних газів як палива для суднових енергетичних установок.

Досвід експлуатації танкерів і газовозів дозволив розширити використання газового палива на двигунах суден інших типів. На сьогодні зріджені гази розглядаються як перспективний вид палива для контейнеровозів, пасажирських суден, автовозів, поромів тощо.

Для балкерів, нафтоналивних танкерів і контейнеровозів, які використовують зріджені гази як паливо, необхідний спеціальний бункерний танк. У зв'язку з цим разом із системою подачі паливного газу встановлюють бункерні танки, які транспортують зріджений газ до головного двигуна.

Для великих суден існує декілька типів танків, серед яких:

Мембранні танки.

Застосовуються переважно на газовозах LNG, але мають схильність до вихлюпування. Рівень випаровування становить 0,14...0,2% на добу.

Сферичні танки.

Самонесучі, не піддаються вихлюпуванню, проте їх використання ускладнене

					<i>KPM.142.6221м.13.00.ПЗ</i>	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

через великі габарити і обмежену кількість виробників. Рівень випаровування — 0,14...0,2% на добу.

Танки типу ІНІ (В).

Не схильні до вихлюпування, побудова резервуарів низького тиску здійснюється за ліцензією на окремих верфях. Рівень випаровування — 0,14...0,2% на добу.

Танки типу TGE (С).

Мають одно- або двошарову конструкцію, яка витримує тиск до 0,4 МПа, що забезпечує до 50 днів автономної роботи. Самонесучі та стійкі до ударів. Рівень випаровування становить 0,21...0,23% на добу.

На контейнеровозі «MAERSK WEYMOUTH» пропонується використання двох танків типу С ємністю по 2000 м³ кожний. Ці танки не потребують додаткових систем повторного зрідження, є стандартними та мають багаторічний досвід успішної експлуатації. Вони забезпечують нульове споживання при збереженні високого тиску, витримують високі швидкості бункерування, а їх установка виконується швидко та без ускладнень. Схема розташування танків наведена на рис. 3.1.

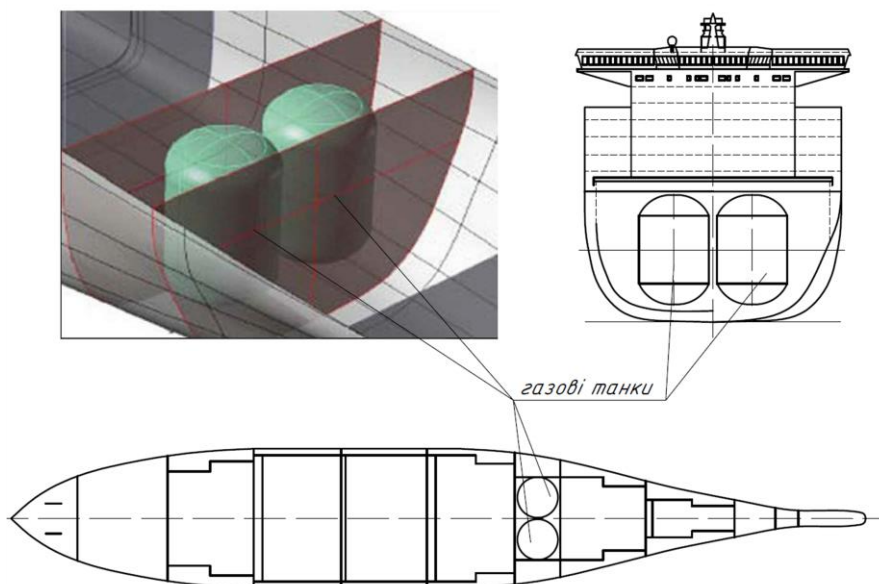


Рисунок 3.1 – Розміщення газових танків на контейнеровозі «MAERSK WEYMOUTH»

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

Системи подачі аміаку до двигуна проілюстрована на рис. 3.1

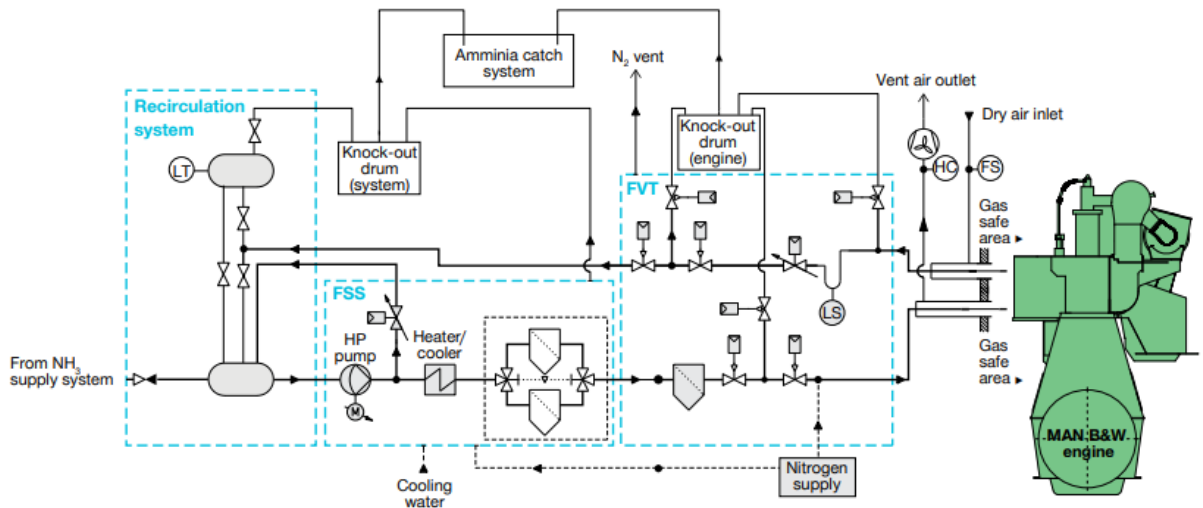


Рисунок 3.1 – Схема системи подачі аміаку до двигуна

Принцип роботи у двопаливному режимі

Під час роботи на двох видах палива аміачне паливо подається в двигун надходить з баків для зберігання через систему подачі палива. Для підтримання необхідних паливних умов у двигуні, невелика частина аміачного палива безперервно рециркулює в FSS через систему рециркуляції. Коли двигун не працює в двопаливному режимі подвійне блокування з пропуском повітря механізми FVT скидають тиск і повністю ізолюють аміачні паливні системи всередині машинного та від систем подачі та повернення аміачного палива. Перед кожним запуском системи заповнюються азотом під тиском для перевірки герметичності системи. Коли робота на двох видах палива припиняється, тиск азоту виштовхує назад аміачне паливо з двигуна до систему рециркуляції. Після завершення процесу продувки послідовність продувки завершиться, FVT знову забезпечить ізоляцію систем машинного відділення від систем подачі та зворотної систем. Протягом всієї операції двостінна система вентиляції від наявних двопаливних двигунів MAN ES виявляє будь-який витік аміачного палива і відводить його з машинного відділення в окрему систему уловлювання аміаку.

Система рециркуляції

Рециркуляційне аміачне паливо буде нагріватися у двигуні під час роботи. Щоб уникнути двофазних режимів, певна кількість аміачного палива рециркулює в спеціальну рециркуляційну лінію рециркуляції. Ця ж лінія рециркуляції повертає аміачне паливо з двигуна, коли робота на двох видах палива зупиняється. Рециркуляційне паливо може містити сліди ущільнювального мастила з інжекторних клапанів впорскування. Лінія рециркуляції усуває ризик забруднення паливних баків мастилом. Лінія рециркуляції також відокремлює і відкачує азот з регенованого аміачного палива.

Система подачі палива

У FSS знаходиться обладнання, необхідне для того, щоб аміачне паливо доставляється до двигуна при необхідній температурі, тиску та якості. У більшості випадків у складі ПНВТ є насос високого тиску, нагрівач, фільтри, клапани і системи управління для підтримки тиску і температури аміачного палива при різних споживання палива.

Привід паливних клапанів

Привід паливних клапанів (FVT) - це сполучна ланка між двигуном та допоміжними системами. Метою паливних клапанів є забезпечення безпечної ізоляції двигуна під час зупинки та технічного обслуговування, а також забезпечити функцію продувки азотом. Ця функція забезпечує безпечне середовище на двигуні після зупинки.

Азотна система

Азот повинен бути доступним для продувки двигуна після роботи на двох видах палива, для звільнення від газів перед технічним обслуговуванням та для перевірки герметичності після технічного обслуговування. Ємність азотної системи повинна бути достатньо великою, щоб забезпечити певний потік при тиску, вищому за ніж тиск у робочому резервуарі.

					KPM.142.6221m.13.00.II3	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Двостінна вентиляція система

Для підтримання безпечного машинного відділення дуже важливо життєво важливо виявляти будь-які витоки з аміачної паливної системи аміачної паливної системи і спрямовувати їх в безпечне місце. Це призвело до того, що двостінної конструкції аміачної паливної систем і трубопроводів всередині моторного відсіку. машинного відсіку. Постійний потік вентиляційного повітря підтримується у зовнішній трубі відповідно до з вимогами ІМО. Ця система вже є частиною інших двигунів MAN B&W двопаливних двигунів MAN B&W.

Система уловлювання аміаку

Аміачні системи повинні бути спроектовані з системою уловлювання аміаку для запобігання витоку аміаку в навколишнє середовище.

Технології зниження викидів

Очікується, що вихідний рівень викидів NOX двотактного двигуна, що працює на аміаку що працює на аміаку, буде на рівні порівнянному зі звичайним низькооберттовим дизельним двигуном. Однак, шлях утворення NOX під час роботи двотактного двигуна на аміаку шлях утворення NOX під час згоряння значно відрізняється від звичайного двигуна, а отже, і чутливість до змін у роботі двигуна продуктивності двигуна. Очевидно, що аміак буде екологічно прийнятним паливом лише екологічно життєздатним паливом лише тоді, коли викиди аміаку викиди, відомі від звичайного двигуна, не просто заміняться на інші види шкідливих викидів. іншими видами шкідливих викидів. Звичайно, це важлива частина зусиль з розробки розробки MAN ES є забезпечення того. що з двигуна виділяється лише дуже низький рівень будь-яких проблемних викидів з аміачного двигуна аміачного двигуна, і що нове паливо не створить нових проблем для судноплавної галузі. для судноплавної галузі.

					KPM.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Особливості роботи двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5 на аміаку

У двотактних двигунах організація зовнішнього сумішоутворення є досить складною, оскільки перед потраплянням у робочий циліндр повітря спочатку заповнює підпоршневу порожнину, яка має значний об'єм. Наявність такої великої кількості газоповітряної суміші підвищує ризик вибуху та посилює можливі його наслідки.

З огляду на це, у сучасних двотактних двигунах застосовується внутрішнє сумішоутворення, за якого газове паливо вводиться у робочий циліндр вже після закриття газорозподільних органів [9].

У даній роботі пропонується модернізація штатної паливної системи двигуна для роботи за газодизельним циклом, що передбачає впорскування природного газу під високим тиском (рис. 3.2).

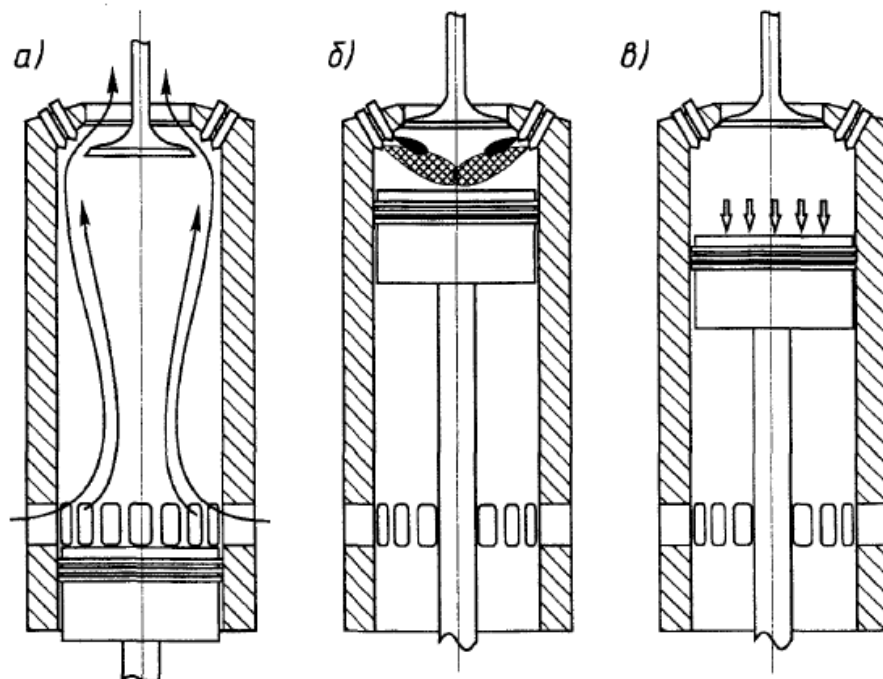


Рисунок 3.2 – Робочий процес двотактного газодизельного двигуна з подачею газу в кінці такту стиснення: а – продування циліндра; б – подача газу, займання і згоряння; в – робочий хід

Для роботи на рідкому паливі, а також для впорскування запальної порції використовується стандартна паливна система двигуна. Такий підхід спрощує конструкцію, оскільки відсутня необхідність у спеціальній системі впорскування запального палива. Крім того, це дозволяє зменшити витрату рідкого палива, необхідного для пілотного запалювання, частка якого для даного двигуна складає 5%.

Для головного двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5 передбачено два можливих режими роботи:

– Газовий режим – передбачає постійну подачу запального палива (рис. 3.3). У цьому режимі на етапі пуску та при малих навантаженнях двигун працює на рідкому паливі (MDO, MGO, HFO). Після досягнення 25% навантаження встановлюється постійна подача запального палива, а необхідна потужність регулюється шляхом зміни об'єму газу, що подається до циліндрів.

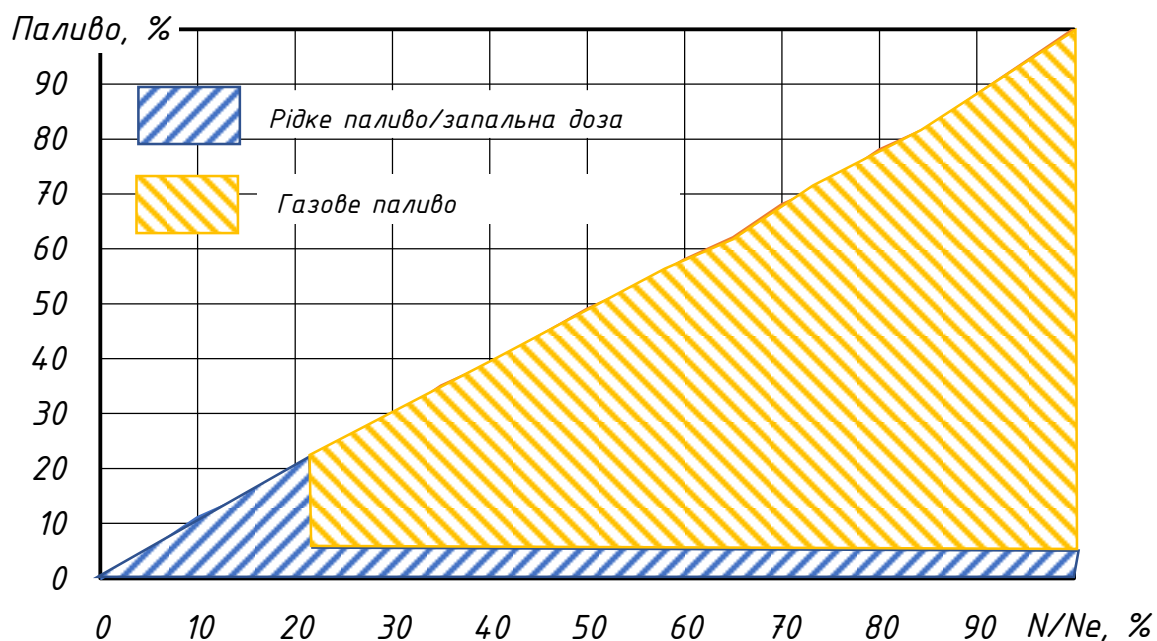


Рисунок 3.3 – Газовий режим роботи

– Змішаний режим роботи – передбачає використання всього доступного газу (рис. 3.4). У цьому режимі на малих і середніх навантаженнях

двигун працює на рідкому паливі, а при вищих навантаженнях усе газове паливо подається в циліндри. Регулювання необхідної потужності здійснюється шляхом зміни подачі рідкого палива.

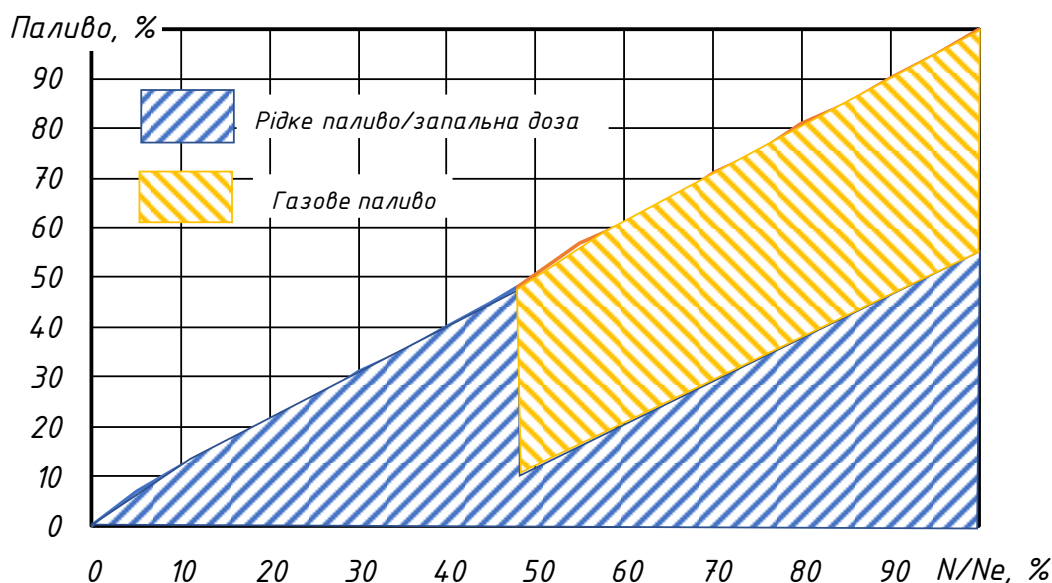


Рисунок 3.4 – Змішаний режим роботи

Перехід між різними видами палива, а також зміна режимів роботи двигуна відбуваються автоматично, без зменшення потужності на валу, у всьому діапазоні допустимих навантажень.

Модернізація паливної системи двигуна

Усі газопроводи на двигуні виготовляються суцільнозварними, а фланцеві з'єднання використовуються лише в місцях приєднання трубок, що подають газове паливо до блоків управління подачею. Це забезпечує можливість обслуговування елементів газової системи.

Конструкція трубопроводів розроблена таким чином, щоб компенсувати теплові розширення при нагріванні двигуна. Усі труби газової системи спроектовані з розрахунком на тиск, який перевищує робочий на 50%. Під час заводських випробувань трубопроводи обпресовуються тиском, що на 150% перевищує робочий.

Газові труби поміщені в захисні оболонки, здатні витримувати тиск, який може виникнути у разі розриву основної магістралі. Простір між оболонкою та трубопроводом з'єднаний із системою примусової вентиляції, яка забезпечує приблизно 30-кратну зміну повітря протягом години.

До вентильованих елементів також належать порожнини, прилеглі до основних елементів паливної системи, де можливий витік газу. На виході з системи вентиляції встановлено датчик наявності газу, підключений до системи аварійної сигналізації.

Двигун оснащується додатковою системою подачі газового палива в робочий циліндр. Схема живлення дизельного двигуна представлена на рис. 3.5а.

З рисунка 3.5б видно, що подача газу в камеру згоряння здійснюється одразу після впорскування та займання запальної порції рідкого палива. Такий підхід забезпечує високий ступінь вигорання палива й усуває ризик потрапляння газу через нещільності поршневих кілець у підпоршневу порожнину.

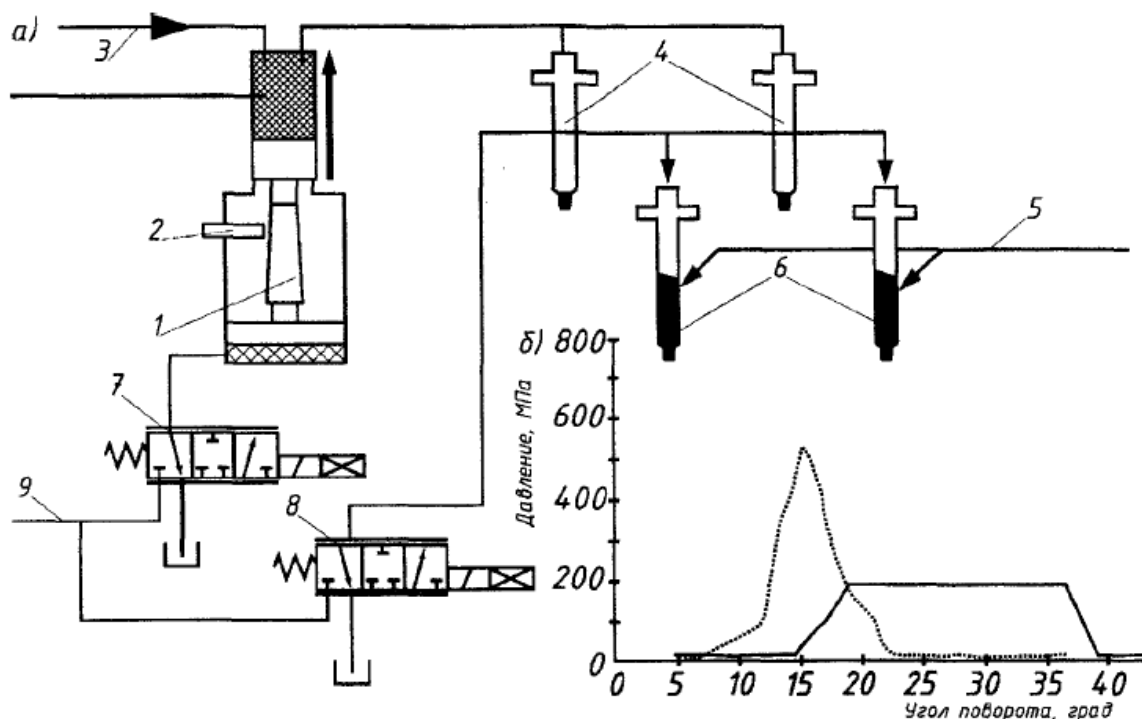


Рисунок 3.5 – Схема паливної системи двигуна (а) і закони подачі запального та газового палива (б): 1 – ПНВТ з гідравлічним приводом; 2 – датчик величини подачі рідкого палива; 3 – підведення рідкого палива; 4 – форсунки для впорскування рідкого палива; 5 – підведення газу; 6 – газові форсунки; 7 – золотниковий клапан управління ТНВД (FIVA); 8 – золотниковий клапан керування гідроприводом форсунок (ELGI); 9 – підведення керуючого масла під тиском 30 МПа; ----- подача запального палива; 10 – подача газу

Усі елементи управління подачею газу об'єднані в одному модулі, який включає такі компоненти: газовий акумулятор, головний відсічний клапан із гідравлічним приводом, клапани для продувки системи інертним газом, а також клапани керування гідроприводом форсунок.

Цей модуль монтується на кришці циліндра, яка має внутрішні свердління для подачі газу від модуля управління до газових форсунок. Форсунки встановлюються в кришці циліндра поруч із форсунками для впорскування рідкого палива.

Газові форсунки розташовуються по дві на кожен циліндр у спеціально передбачених колодязях у кришці циліндра, поблизу форсунок рідкого палива. Газ подається до форсунки через свердління в кришці циліндра і проходить до запірного конуса голчастого клапана через спеціальні отвори в корпусі форсунки. Для запобігання витоку газу між корпусом форсунки і кришкою циліндра встановлюються ущільнювальні кільця. Порожнини, які знаходяться за межами ущільнень, з'єднані із загальною вентиляційною системою.

Голчастий клапан у закритому стані утримується зусиллям пружини, що діє на тарілку, виконану разом із клапаном як єдине ціле. У нижній частині голчастого клапана розташований борт, який прецизійно підігнаний до корпусу і виконує функцію гідравлічного поршня. Через канали у

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

направляючій та корпусі клапана масло з модуля управління подачею надходить у кільцеву порожнину під буртом, змушуючи голчастий клапан відкриватися.

Щоб уникнути просочування газу між голчастим клапаном і корпусом розпилювача, в зазор між ними постійно подається спеціальне ущільнювальне масло. Тиск масла перевищує тиск газу перед розпилювачем на 0,2–0,3 МПа. Ущільнювальне масло подається через систему каналів до кільцевої проточки на корпусі голчастого клапана.

Тепловий розрахунок робочого циклу двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5

Розрахунковий цикл поршневого двигуна внутрішнього згоряння суттєво відрізняється від ідеального циклу. У цьому циклі змінюються кількість робочого тіла, його склад і фізичні властивості. Оскільки згоряння палива не відбувається миттєво через його кінцеву швидкість, а також через процес дисоціації продуктів згоряння, хімічна енергія, що міститься в паливі, вивільняється поступово. У фазі розширення триває догоряння палива, а також відновлення дисоційованих газів із додатковим виділенням тепла. У розрахунковому циклі не можна припускати постійності теплоємності робочого тіла, оскільки температура і склад газів у циліндрі значно змінюються. Крім того, у розрахунковому циклі враховуються теплові й аеродинамічні втрати.

Тепловий розрахунок робочого циклу двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5 на рідкому паливі

Для визначення потужності необхідно задати:

D – Діаметр циліндра (м).....0,5
S - Хід поршня (м).....2,21
n - Частота обертання (1/мин).....127

					<i>KPM.142.6221м.13.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

Z - Тактність (2-х,4-х).....	1
i – Кількість циліндрів.....	9

Розрахунок Ре проводиться при заданні таких вихідних даних:

Тиск наддуву P_k (МПа)	0,37
Тиск навколишнього середовища P_0 (МПа)	0,103
Температура навколишнього середовища T_0 (К).....	297
Показник політропи стиснення в компресорі n_k	1,8
Частка втраченого ходу φ_{H_i}	0
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння α_{LFA}	2,84
Коефіцієнт продувки Γ_{La}	1,2
Коефіцієнт залишкових газів γ_{MAr}	0,05
Коефіцієнт використання тепла в точці z χ_{Lz}	0,9
Коефіцієнт використання тепла в точці b χ_{Lb}	0,92
Ступінь стиснення EPSILON.....	14
Ступінь підвищення тиску під час згоряння LAMBDA.....	1,1
Підігрів заряду від стінок циліндра ΔT_{ATa} (К).....	10
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми ZETA.....	0,98
Коефіцієнт втрати тиску у впускному колекторі ΔP_a	0,98
Механічний ККД двигуна η_{Am}	0,95
Втрата тиску в повітроохолоджувачі ΔP_{Pohl} (МПа).....	0,003
Зниження температури в повітроохолоджувачі ΔT_{Tohl} (К).....	210
Температура залишкових газів T_r (К).....	700

Паливо, що використовується в двигуні

Рідке нафтове паливо $CO_2=1$

Вуглець $C=0,8$

Водень $H_2=0,13$

Сера $S=0$

Кисень $O_2=0$

Відсотковий вміст води $W=0$

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ НАПОВНЕННЯ

Температура повітря за компресором T_k524,3(K)
Температура заряду перед двигуном T_s314,3(K)
Температура заряду до кінця процесу наповнення T_a342,2(K)
Тиск повітря перед двигуном P_s0,367(МПа)
Тиск заряду до кінця процесу наповнення P_a0,360(МПа)
Коефіцієнт наповнення ϵ_{TAN}0,9232

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ СТИСНЕННЯ

A_{vc}19,2803
 B_c0,00252
Теплоємність газоповітряної суміші та залишкових газів на ході стиснення визначається за формулою:
 $C_{vc}=19,2803+0,00252 \cdot T$
Середній показник політропи стиснення n_l1,3705
Тиск наприкінці стиснення (МПа).....13,3863
Температура наприкінці стиснення $T_c(K)$909,7

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ

Химический коэффициент молекулярного изменения $BETA_0$1,0229
Действительный коэффициент молекулярного изменения $BETA$1,0218
Частка палива, що згоріла в точці z x_z0,9783
Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z $BETA_z$1,0213
 A_{vz}19,6845
 b_z0,00289
 A_{vb}19,7115
 B_b0,00290
Середня мольна ізохорна теплоємність у точці z визначається за формулою: $C_{vz}=19,6845+0,00289 \cdot T$
Середня мольна ізохорна теплоємність у точці b визначається за формулою: $C_{vb}=19,7115+0,00290 \cdot T$

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Максимальна температура згоряння T_z (К).....	1 614,0
Максимальний тиск згоряння P_z (МПа).....	14,725

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ РОЗШИРЕННЯ

Ступінь попереднього розширення ρ_0	1,647
Ступінь подальшого розширення DELTA.....	8,499
Середній показник політропи розширення n_2	1,3022
Температура наприкінці процесу розширення T_b (К).....	847,0
Тиск наприкінці процесу розширення P_b (МПа).....	0,9074

ІНДИКАТОРНІ ПОКАЗНИКИ

Теоретичний середній індикаторний тиск P_{li} (МПа).....	1,9395
Дійсний середній індикаторний тиск P_i (МПа).....	1,9007
Індикаторний ККД η_{AI}	0,4828
Індикаторна питома витрата газу big , м.куб/(кВт*год).....	0,00
Індикаторна питома витрата рідкого палива b_{ineft} , кг/(кВт*год).....	0,1729
Індикаторна питома витрата альтернат. палива b_{ialt} , кг/(кВт*год).....	0,0000
Індикаторна потужність двигуна N_i , кВт.....	15 723,7

ЕФЕКТИВНІ ПОКАЗНИКИ

Середній ефективний тиск P_e (МПа).....	1,8056
Ефективний ККД двигуна η_{AE}	0,4586
Ефективна питома витрата рідкого палива b_{neft} , кг/(кВт*год).....	0,1820
Ефективна потужність двигуна N_e , кВт.....	14 937,5

Тепловий розрахунок робочого циклу двигуна MAN B&W 9S50ME-C8.5 на аміаку

Для визначення потужності необхідно задати:

D - Діаметр циліндра (м).....	0,5
S - Хід поршня (м).....	2,21
n - Частота обертання (1/хв).....	127
Z - Тактність (2-х,4-х).....	1

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

і - Число циліндрів.....	9
і розрахувати середній ефективний тиск P_e .	
Тиск наддуву P_k (МПа)	0,37
Тиск навколишнього середовища P_0 (МПа)	0,103
Температура навколишнього середовища T_0 (K).....	297
Показник політропи стиснення в компресорі n_k	1,8
Частка втраченого ходу $P_{H\dot{P}i}$	0
Коефіцієнт надлишку повітря для згоряння $ALFA$	3,47
Коефіцієнт продувки F_{Ia}	1,2
Коефіцієнт залишкових газів $GAMMA_{Ar}$	0,05
Коефіцієнт використання тепла в точці z XI_z	0,9
Коефіцієнт використання тепла в точці b XI_b	0,92
Ступінь стиснення $EPSILON$	14
Ступінь підвищення тиску при згорянні $LAMBDA$	1,1
Підігрів заряду від стінок циліндра $DELTA T_{At}$ (K).....	10
Коефіцієнт заокруглення індикаторної діаграми $ZETA$	0,98
Коефіцієнт втрати тиску у впускному колекторі $delta P_a$	0,98
Механічний ККД двигуна ETA_m	0,95
Втрата тиску в повітроохолоджувачі $DELTA P_{ohl}$ (МПа).....	0,003
Зниження температури в повітроохолоджувачі $DELTA T_{ohl}$ (K).....	210
Температура залишкових газів T_g (K).....	700
Паливо, що використовується в двигуні	
Складова Частка в суміші	
Рідке нафтове паливо = 0,05	
Альтернативне паливо = 0,95	
Вуглець $C=0,87$	
Водень $H_2=0,13$	
Сірка $S=0$	
Кисень $O_2=0$	

Відсотковий вміст води $W=0$

Аміак $NH_3=1$

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ НАПОВНЕННЯ

Температура повітря за компресором T_k524,3(K)

Температура заряду перед двигуном T_s314,3(K)

Температура заряду до кінця процесу наповнення T_a342,2(K)

Тиск повітря перед двигуном P_s0,367(МПа)

Тиск заряду до кінця процесу наповнення P_a0,360(МПа)

Коефіцієнт наповнення ϵ_{TAN}0,9232

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ СТИСНЕННЯ

A_{vc}19,2766

B_c0,00252

Теплоємність газоповітряної суміші та залишкових газів на ході стиснення визначається за формулою:

$$C_{vc}=19,2766+0,00252 \cdot T$$

Середній показник політропи стиснення n_11,3705

Тиск наприкінці стиснення.....13,3863(МПа)

Температура наприкінці стиснення T_c909,7(K)

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ ЗГОРЯННЯ

Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни $BETA_0$0,9535

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни $BETA$0,9557

Частка палива, що згоріла в точці z xz0,9783

Коефіцієнт молекулярної зміни в точці z $BETA_z$0,9567

A_{vz}19,6088

b_z0,00282

A_{vb}19,6309

B_b0,00283

Середня мольна ізохорна теплоємність у точці z визначається за формулою: $C_{vz}=19,6088+0,00282 \cdot T$

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Середня мольна ізохорна теплоємність у точці b визначається за формулою: $C_{vb}=19,6309+0,00283 \cdot T$

Максимальна температура згоряння T_z 1 720,0(K)

Максимальний тиск згоряння P_z14,725(Мпа)

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ РОЗШИРЕННЯ

Ступінь попереднього розширення g_01,644

Ступінь подальшого розширення ΔT_A8,514

Середній показник політропи розширення n_21,3000

Температура наприкінці процесу розширення T_b903,0(K)

Тиск наприкінці процесу розширення P_b0,9096(Мпа)

ІНДИКАТОРНІ ПОКАЗНИКИ

Теоретичний середній індикаторний тиск P_{i1}1,9390(Мпа)

Дійсний середній індикаторний тиск P_i1,9002(Мпа)

Індикаторний ККД η_{AI}0,4816

Індикаторна питома витрата газу big , м.куб/(кВт*год).....0,00

Індикаторна питома витрата рідкого палива b_{ineft} , кг/(кВт*год).....0,0087

Індикаторна питома витрата альтернативного палива b_{ialt} , кг/(кВт*год).....0,2984

Індикаторна потужність двигуна N_i , кВт.....15 719,6

ЕФЕКТИВНІ ПОКАЗНИКИ

Середній ефективний тиск P_e (МПа).....1,8052

Ефективний ККД двигуна η_{AE}0,4575

Ефективна питома витрата рідкого палива b_{eneft} , кг/(кВт*год).....0,0091

Ефективна питома витрата альтернат. палива b_{ealt} , кг/(кВт*год).....0,3141

Ефективна потужність двигуна N_e , кВт.....14 933,7

Особливості системи управління двигуном

До стандартної системи управління (МЕ) додається спеціальна система (газова частина, ГЧ), яка призначена для управління подачею газу та забезпечення

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

контролю безпеки під час роботи двигуна на стисненому газоподібному паливі (рис. 3.14). ГЧ об'єднує всі двопаливні компоненти внутрішньої та зовнішньої системи.

ГЧ спроектована як доповнення до стандартної системи управління МЕ. У зв'язку з цим панель на містку (10), головна панель управління (11) і локальна панель управління (13) оснащені індикатором, який сигналізує про роботу двигуна на газовому паливі.

Усі операції в газовому режимі виконуються виключно з машинного відділення, тоді як управління з містка залишається ідентичним для режимів роботи на газі та мазуті.

Управління газовим паливом

Система управління газовим паливом складається з трьох основних складових:

- управління впорскуванням газу та запальною дозою;
- управління газовою установкою;
- управління безпекою газового палива.

Управління впорскуванням газу та запальною дозою є додатковою функцією, яка інтегрується в блок управління двигуном (14) та блок управління циліндром (16) системи МЕ. У свою чергу, управління газовою установкою та контроль безпеки реалізуються за допомогою додаткових блоків: основного блоку управління газовим паливом (7), додаткового блоку управління газовим паливом (6), блоку безпеки газового палива (8) та циліндрового блоку безпеки газового палива (9).

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

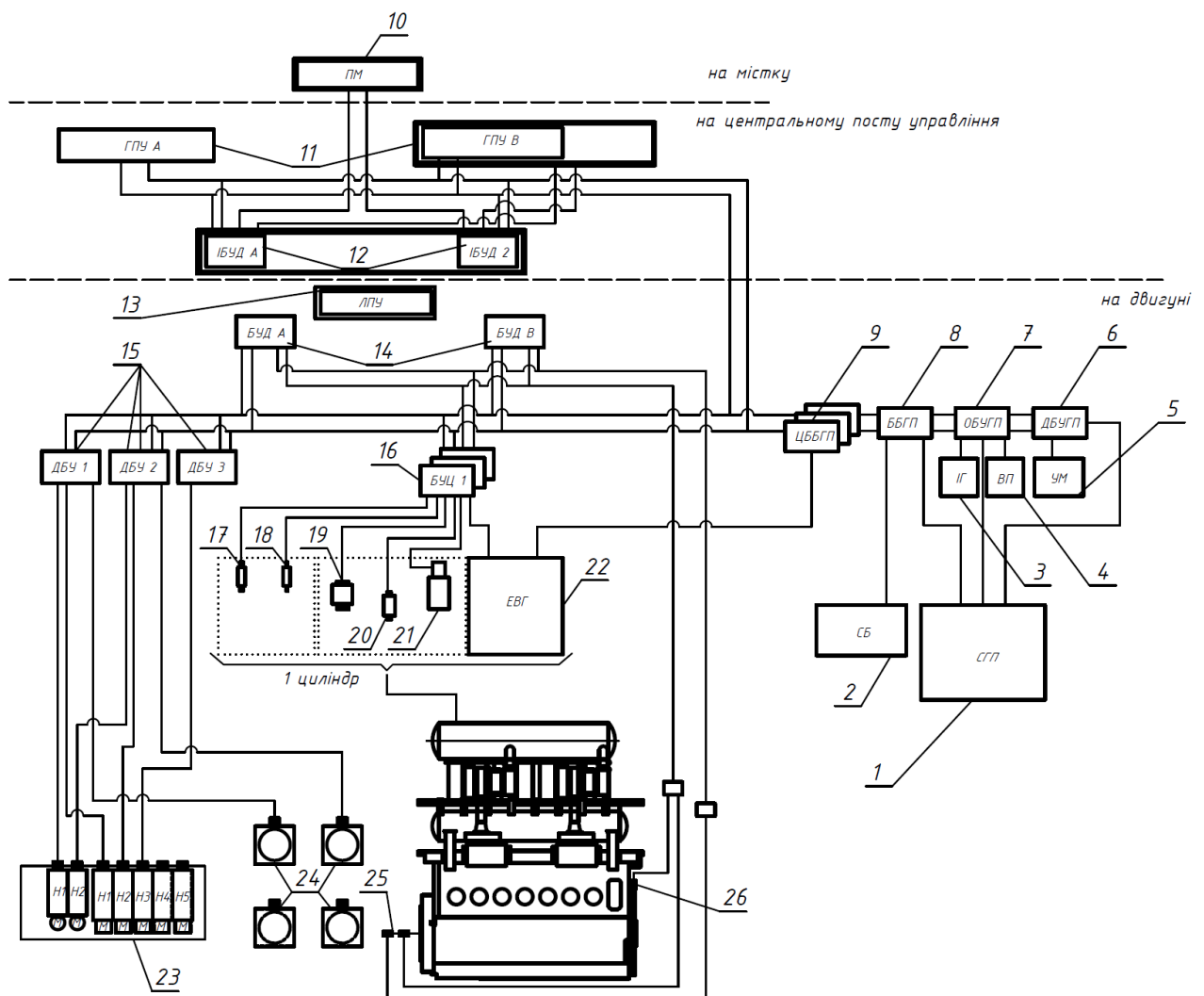


Рисунок 3.14 – Система управління головним двигуном: 1 – система газопостачання; 2 – система безпеки; 3 – інертний газ; 4 – вентиляційне повітря; 5 – ущільнювальне масло; 6 – додатковий блок управління газовим паливом; 7 – основний блок управління газовим паливом; 8 – блок безпеки газового палива; 9 – циліндровий блок безпеки газового палива; 10 – панель на містку; 11 – головна панель управління; 12 – інтерфейсний блок управління двигуна; 13 – локальна панель управління; 14 – блок управління двигуном; 15 – допоміжний блок управління; 16 – блок управління циліндром; 17 – датчик положення паливного насосу; 18 – датчик положення випускного клапана; 19 – актюатор лубрикаторної системи змащення; 20 – актюатор пускового клапана; 21 – багатоходовий клапан; 22 – електронне впорскування

газу; 23 – гідравлічний блок живлення; 24 – допоміжна повітродувка;
25 – енкодер; 26 – датчик кутових переміщень

Управління впорскуванням газу та запальною дозою

Основна мета управління впорскуванням газу та запальною дозою полягає у визначенні необхідного обсягу газового палива та запальної дози залежно від режиму роботи двигуна.

Управління установкою газового палива

Система управління установкою газового палива виконує такі функції:

- Функція А – забезпечує безпечну подачу газу з системи паливного газу до двигуна;

- Функція В – припиняє подачу газу після завершення роботи в газовому режимі.

Функція А:

- проводить очищення газопроводів від атмосферного повітря перед початком подачі газу;

- активує двотрубну систему вентиляції та систему виявлення витоків;

- поступово подає газ до двигуна, перевіряючи герметичність і функціонування клапанів, із поетапним підвищенням тиску;

- вмикає систему ущільнювального масла при надходженні газу в кришку циліндра.

Функція В:

- закриває запірні клапани (газову арматуру);

- знижує тиск газу;

- відключає систему ущільнювального масла;

- здійснює продування газових труб;

- припиняє роботу двотрубною вентиляції.

Крім того, система управління установкою газового палива забезпечує перемикання між газовим режимом і режимом роботи на рідкому паливі.

					КРМ.142.6221м.13.00.ІІЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		55

Система може контролювати все газове обладнання, однак для цього потрібен дозвіл від системи безпеки. У разі блокування системою безпеки установка автоматично повертається до безпечного стану.

Управління безпекою газового палива

Завдання системи управління безпекою газового палива:

- здійснювати контроль ручного та автоматичного зовнішнього відключення газу;
- реагувати на сигнал зупинки двигуна від системи безпеки двигуна;
- забезпечувати контроль двотрубною вентиляції та герметичності;
- відстежувати тиск ущільнювального масла, газу та тиск згоряння в межах норми;
- перевіряти герметичність газових форсунок.

При виявленні несправності газовий запобіжник активує процедуру відключення газу, яка включає:

- закриття головного газового клапана;
- відключення клапанів електронного впорскування газу (22);
- видалення газу через відкриття газовідвідного та продувних клапанів;
- продування системи газопроводів інертним газом.

Принципи безпеки системи управління двигуном

Робота в газовому режимі не впливає на маневреність судна, оскільки у випадку припинення подачі газу двигун автоматично переходить на рідке паливо. Основні принципи безпеки газового обладнання:

- рівень безпеки персоналу має бути не нижчим, ніж при роботі звичайного дизельного двигуна;
- будь-яка несправність двопаливного обладнання повинна призводити до припинення роботи на газі та переходу в режим роботи на рідкому паливі.

Основна панель управління

Основна панель управління використовується для керування системою МЕ та газовою частиною. Вона дозволяє вручну запускати або зупиняти

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

роботу в газовому режимі, перемикається між режимами роботи, а також ініціювати продування газового трубопроводу інертним газом.

Додатковий блок управління газовим паливом (ДБУГП) та основний блок управління газовим паливом (ОБУГП)

При ручному запуску «Двопаливного режиму» ОБУГП ініціює автоматичну послідовність запуску. ОБУГП та ДБУГП відповідають за контроль та управління допоміжними системами, включаючи:

- запуск і зупинку насосів, вентиляторів та системи газопостачання;
- регулювання тиску в системі ущільнювального масла та

газопостачання;

- продування газопроводів інертним газом.

ОБУГП здійснює моніторинг таких систем:

- газопостачання;
- ущільнювальна масляна система;
- двотрубна вентиляція;
- система інертного газу.

У разі збою ОБУГП автоматично завершує роботу в газовому режимі та переводить двигун у режим рідкого палива.

Блок безпеки газового палива (ББГП)

ББГП відповідає за контроль безпеки системи паливного газу і відключення подачі палива в разі несправності. ББГП контролює:

- витоки газу в зовнішню трубу подвійного трубопроводу;
- вентиляцію подвійного трубопроводу;
- тиск ущільнювального масла та паливного газу;
- сигнали готовності циліндрового блоку безпеки.

При відхиленні будь-якого з параметрів від норми ББГП блокує подачу газу. Після усунення причини блокування подачу газу можна відновити вручну.

					КРМ.142.6221м.13.00.ІЗ	Аркуш
						57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Циліндровий блок безпеки газового палива (ЦББГП)

Основне завдання ЦББГП – контроль готовності циліндрів до впорскування газу. ЦББГП відстежує:

Тиск газу в газовому блоці:

- негерметичність газової форсунки або продувного клапана;
- витік або несправність клапана;
- контроль за сенсорами.

Тиск у циліндрі двигуна:

- низький тиск стиснення;
- високий максимальний тиск;
- низький тиск розширення чи пропуски запалювання;
- занадто швидке підвищення тиску згоряння.

Зниження тиску в акумуляторі газового палива під час впорскування.

У разі виявлення ненормального параметра електронний клапан закривається, а система блокує подачу паливного газу.

					<i>КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ</i>	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ДВИГУНА

Визначення економічного ефекту від модернізації і вдосконалення суднового механізму

Мета економічного розділу полягає у доведенні доцільності модернізації енергетичної установки та удосконалення конструкцій і умов роботи суднових механізмів шляхом розрахунку річного економічного ефекту.

Річний економічний ефект від удосконалення управління і роботи суднових механізмів визначається за формулою:

$$E_p = (B_{\delta} - B_{np}) \times A_{np}, \quad (4.1)$$

де B_{δ} і B_{np} – річні приведені витрати за базовим і запропонованим варіантами, тис. грн. або \$;

A_{np} – кількість суден, на яких впроваджуватимуться запропоновані проектні рішення.

Підставляючи у формулу (4.1) значення приведених витрат і згрупувавши їх за елементами, отримуємо нову формулу для розрахунку (4.2), яка дозволить значно скоротити розрахунок за окремими статтями витрат:

$$\begin{aligned} E_p &= [(B_{\delta} + E_n \times K_{\delta}) - (B_{np} + E_n \times K_{np})] \times A_{np} = [(B_{\delta} - B_{np}) - E_n \times (K_{np} - K_{\delta})] \times A_{np} = \\ &= (\Delta B - E_n \times K_{\delta}) \times A_{np}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

де ΔB – витрати за змінними експлуатаційними статтями, які виникнуть при впровадженні запропонованих рішень, тис. грн. або \$;

K_{δ} – додаткові інвестиції на модернізацію і удосконалення суднового механізму, тис. грн. або \$.

Розрахунок зведеться до визначення лише тих статей експлуатаційних витрат, які змінюються при нововведенні.

Так як модернізація торкнулась лише елементів СЕУ, немає сенсу враховувати повні капітальні вкладення на спорудження судна, а досить

визначити капітальні витрати на заміну старих пристроїв новими, або на їх модернізацію. Таким чином, при розрахунках економічного ефекту достатньо визначити додаткові капітальні витрати на здійснення рекомендованих заходів та величини зміни експлуатаційних витрат судна, на які будуть впливати запропоновані нововведення.

Економічні наслідки модернізації енергетичної установки та удосконалення конструкцій і умов роботи судових механізмів

У дипломному проекті, модернізації піддалася паливна система двигуна, а саме, до паливної системи двигуна було включено додаткове обладнання, що дозволяє використовувати у головному двигуні аміак. У результаті суттєво не змінюється швидкість ходу, а витрати на паливо, поточний ремонт, сума амортизаційних відрахувань і загальний об'єм (розмір) експлуатаційних витрат та ін. – зменшуються.

При цьому головними вихідними даними є:

- двигун 9ДКРН50/221.4 загальною вартістю \$ 1,8 млн.;
- зменшення витрати важкого палива з 0,169 кг/(кВт×год) до 0,0087 кг/(кВт×год) та витрата аміака – 0,144 кг/(кВт×год) .

Збільшення або зменшення величини витрат з приведених показників у тій або іншій мірі впливає на економічну ефективність судна загалом. При цьому основними енергозберігаючими чинниками виступають, зменшення питомої витрати палива, циліндрового та циркуляційного масла, скорочення витрат на технічне обслуговування.

Визначення додаткових інвестицій на впровадження нововведень

Оптова ціна судна після його модернізації за рахунок удосконалення елементів СЕУ визначається по формулі:

$$C_n = C_b - \sum_{i=1}^m C_{bi} + \sum_{j=1}^n C_{nj}, \quad (4.3)$$

де C_b , C_n – оптова ціна двигуна до і після модернізації (тобто базового і нового варіантів) \$;

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$C_{\delta i}$ – сумарна ціна агрегатів що підлягають заміні ($C_{\delta i} = 0$ \$);

C_{nj} – сумарна ціна нових агрегатів та вузлів ($C_{nj} = 656000$ \$);

m – кількість агрегатів СЕУ, що модернізуються (у нашому випадку $m=1,0$);

n – кількість нових агрегатів СЕУ (у нашому випадку $n=1,0$).

Оптова ціна базових двигунів приймається за даними заводу-будівника.

У нашому випадку $C_{\delta} = 18000000$ \$;

$$C_n = 1800000 - 0 + 656000 = 2456000\$$$

Замість визначення ціни базового і проектного варіантів двигуна по наведеній формулі, знайдемо їх різницю, оскільки лише два члени у цієї формули будуть розрізнятися і саме ця різниця складе додаткові інвестиції:

$$K_{\partial n} = \sum_{j=1}^n C_{nj} - \sum_{i=1}^n C_{\delta i}. \quad (4.4)$$

$$K_{\partial n} = 2456000 \times 1 - 0 \times 1 = 2456000\$$$

Запропоноване технічне рішення потребує значних зусиль і витрат, тому воно може бути здійснене при капітальному ремонті судна, або під час планового докування, як силами машинної команди так і силами судноремонтного підприємства.

Для розрахунку вкладень на модернізацію використовуємо узагальнені показники, якими являються робоча година на виконання та вартість 1-го нормочасу даних робіт, у залежності від їх складності, яка для України в середньому складає 10 \$ (для закордонних виробників – від 70 до 100 \$). Додаткові інвестиції зводимо до таблиці 4.1.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Додаткові інвестиції

Вид робіт	Тривалість, людино- години	Вартість нормо- год., \$	Вартість робіт (К _в), \$
Монтаж системи	16	100	1600
Настройка автоматики	6	120	720
Випробування двигуна	8	60	480
Регулювання елементів системи	18	80	1440
Всього	48	-	4240

Таким чином, додаткові інвестиції складуть величину:

$$K_{\partial} = K_{\partial n} + K_{\partial}$$

$$K_{\partial} = 2456000 + 4240 = 2460240 \$.$$

Розрахунок експлуатаційних витрат судна

Оскільки після модернізації періодичність T_e та склад машинної команди не зазнає змін, витрати на обслуговування не зміняться. Оскільки вага агрегату значно не змінилась провозоздатність судна теж залишилась на старому рівні. Оскільки нововведення, що пропонуються в дипломній роботі, не позначаються на величині експлуатаційної швидкості (V_e), то немає необхідності визначення ходових і стоянкових годин.

Заміна ж елементів СЕУ позначиться на наступних статтях:

1. Амортизація від додаткових інвестицій.
2. Загальні експлуатаційні витрати по незмінним статтям.
3. Розрахунок балансового й чистого прибутку.
4. Розрахунок терміну окупності додаткових інвестицій.

Розрахунок необхідно провести одночасно для порівняння двох варіантів, так званих базового й нового, що пропонується, у наступній послідовності:

Витрати на амортизаційні відрахування $B_{ам}$ при порівняльній ефективності визначаються по нормах амортизації (H_A) і беруться в розмірі 20 % від величини додаткових інвестицій K_0 . Розраховуються по формулі:

$$B_{ам} = 20/100 \times K_0$$

$$B_{ам} = 20/100 \times 2460240 = 491200 \$.$$

Витрати на паливо-мастильні матеріали, так звані змінні, розраховуються з урахуванням витрат палива на ходу для головного двигуна при 100 % навантаженні:

$$B_{нал} = N \times g_e \times T_e \times B_n$$

де N – потужність двигуна (для базових та модернізованих двигунів при 100% навантаженні – 14940 кВт);

g_e – питома витрата палива при роботі двигуна на дизельному паливі (для базового при 100% навантаженні – 0,172 кг/(кВт×год); для модернізованого двигуна – 0,144 кг/(кВт×год) природного газу, для запальної дози рідкого палива – 0,0087 кг/(кВт×год);

T_e – години роботи двигуна при повному навантаженні на дизельному паливі в рік, (для базового та модернізованого двигуна – 2600);

B_n – вартість 1 кг палива, \$, для дизельного палива 0,8 \$, для газу 0,64 \$.

$$B_{нал(Б)} = 14940 \times 0,169 \times 2600 \times 0,8 = 5344934,4 \$$$

$$B_{нал(М)} = 14940 \times 0,144 \times 2600 \times 0,64 + 14940 \times 0,0087 \times 2600 \times 0,8 = 3579863,04 + 177128,6 = 3850217,2 \$$$

Додатковий економічний ефект від зменшення витрат палива виникає в результаті зменшення питомої витрати палива внаслідок використання додаткової присадки.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Результаті розрахунків занесемо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку експлуатаційних витрат, \$

Стаття витрат	Базове рішення	Нове рішення	Відхилення
Амортизаційні відрахування $B_{ам}$	—	491200	491200
Витрати на паливо $B_{пал}$	5344934,4	3850217,2	– 1826406,4
Всього	5344934,4	4341417,2	– 1335206,4

Обчислення техніко-економічних показників проекту

Загальний балансовий річний прибуток $\Pi_б$ розраховують за формулою:

$$\Pi_б = \Delta B - E_n \times K_n$$

$$\Pi_б = (5344934,4 - 3850217,2) - 0,2 \times 2460240 = 1002669,2 \$$$

Чистий прибуток ($\Pi_ч$) визначається як різниця між балансовим прибутком ($\Pi_б$) та податком на прибуток:

$$\Pi_ч = \Pi_б - (0,18 \times \Pi_б) = 0,82 \times \Pi_б$$

$$\Pi_ч = 0,82 \times 1335206,4 = 748935,52 \$$$

Термін окупності додаткових інвестицій ($T_{ок}$) визначається за формулою:

$$T_{ок} = K_д / \Pi_ч$$

$$T_{ок} = 2456000 / 1094869,25 = 3,27 \text{ року}$$

Таким чином, запропоновані в проекті заходи дозволяють зекономити близько \$ 1826406 на рік, в основному, за рахунок економії важкого палива. Термін окупності запропонованих рішень становить 3,27 року

РОЗДІЛ 5

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах

Охорона праці на суднах є невіддільною частиною забезпечення безпеки мореплавства, а також збереження здоров'я і життя членів екіпажу. Законодавча й нормативно-правова база з охорони праці визначає права, обов'язки та відповідальність як працівників, так і роботодавців у процесі створення безпечних умов праці на суднах [9].

Міжнародна нормативно-правова база

Конвенція про працю в морському судноплавстві (MLC, 2006):

- Гарантує захист прав моряків щодо умов праці, проживання, медичного обслуговування і соціального забезпечення.
- Встановлює стандарти безпеки праці, що включають вимоги до санітарно-гігієнічних умов та організації робочого часу на суднах.
- Регламентує правила відпочинку, спрямовані на запобігання втомі та зниження ризиків виробничого травматизму.

Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (SOLAS, 1974):

- Охоплює питання безпеки судноплавства, зокрема вимоги щодо захисту працівників під час виконання робіт.
- Містить положення щодо навчання екіпажу правилам безпеки.

Міжнародна конвенція з підготовки та дипломування моряків і несення вахти (STCW, 1978):

- Окреслює стандарти підготовки екіпажу для роботи в умовах підвищеної небезпеки.
- Передбачає навчання з охорони праці та дій у надзвичайних ситуаціях.

					<i>KPM.142.6221м.13.00.ПЗ</i>	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Конвенція МОП № 155 "Про безпеку та гігієну праці":

-Встановлює загальні принципи створення безпечних умов праці, які поширюються й на екіпажі суден.

Національна законодавча база

Кодекс законів про працю України (КЗпП):

- Регулює трудові відносини, визначає права й обов'язки працівників і роботодавців у сфері охорони праці.

- Встановлює вимоги щодо забезпечення безпечних умов праці, обов'язкового страхування та медичного забезпечення працівників.

Закон України "Про охорону праці":

-Визначає правові основи організації безпеки праці, а також обов'язки судновласників у створенні безпечних умов праці на суднах.

- Передбачає обов'язкову атестацію робочих місць і регулярний контроль умов праці.

Кодекс торговельного мореплавства України:

- Регламентує організацію праці екіпажу суден і забезпечення його безпеки під час морських перевезень.

- Містить вимоги до виконання вантажно-розвантажувальних робіт на суднах.

Накази та положення Міністерства інфраструктури України:

- Регламентують детальні процедури забезпечення охорони праці на суднах.

- Визначають нормативи щодо аварійно-рятувального обладнання, медичних засобів і засобів індивідуального захисту.

Державні стандарти та правила охорони праці:

- Включають технічні вимоги до обладнання на суднах і правила безпечної організації праці.

- Регулюють виконання окремих робіт, наприклад, у машинному відділенні чи трюмах.

					<i>KPM.142.6221м.13.00.ПЗ</i>	Аркуш
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		66

Основні аспекти охорони праці на суднах

- **Безпечні умови роботи:** забезпечення екіпажу засобами індивідуального захисту, контроль за станом обладнання та конструкцій судна.
- **Організація робочого часу:** дотримання норм робочого часу й перерв для запобігання втомі.
- **Навчання екіпажу:** регулярна підготовка щодо правил безпеки, надання першої медичної допомоги та евакуації в аварійних ситуаціях.
- **Контроль умов праці:** проведення перевірок стану охорони праці на суднах, оцінка ризиків робіт у небезпечних зонах.

Нормативно-правова та законодавча база охорони праці на суднах спрямована на забезпечення безпеки й здоров'я моряків, запобігання виробничим травмам і аваріям. Виконання цих вимог є обов'язковим для судновласників і екіпажу, ґрунтуючись на міжнародних конвенціях, національних законах і технічних регламентах. Систематичний контроль і навчання екіпажу знижують ризики й підвищують ефективність роботи на суднах.

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування паливної системи головного двигуна

Паливна система головного двигуна судна є однією з найважливіших складових, яка забезпечує стабільну роботу суднової енергетичної установки. Однак, під час її експлуатації, ремонту та технічного обслуговування існує низка небезпечних та шкідливих факторів, які можуть становити загрозу для персоналу, обладнання та екології [10].

1. Небезпечні фактори під час експлуатації

Високий тиск у системі:

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Робочий тиск у паливній системі може досягати кількох сотень мегапаскалів, що створює ризик розриву трубопроводів або протікання палива.

У разі несправності форсунок чи клапанів можливий неконтрольований викид палива під високим тиском, що може травмувати персонал.

Високі температури:

Паливна система розташована у машинному відділенні, де температура повітря може перевищувати 50°C.

Контакт з нагрітими поверхнями обладнання або гарячим паливом може спричинити опіки.

Пожежо- та вибухонебезпека:

Розлив палива або утворення його парів у замкнутому просторі машинного відділення створює високий ризик займання.

Недостатня вентиляція може призвести до накопичення вибухонебезпечних газів.

Механічні травми:

Рухомі елементи паливних насосів або механізмів управління створюють ризик отримання травм через необережність персоналу.

2. Шкідливі фактори під час експлуатації

Токсичний вплив палива:

Контакт із дизельним паливом або його парами може викликати подразнення шкіри, слизових оболонок, а також отруєння при вдиханні.

Випари палива містять токсичні сполуки, включаючи бензол, які впливають на органи дихання та нервову систему.

Шум та вібрації:

Робота паливних насосів високого тиску та форсунок супроводжується підвищеним рівнем шуму та вібраціями, що може негативно вплинути на слух та загальний стан персоналу.

Забруднення повітря:

					КРМ.142.6221м.13.00.ІІЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Викиди сажі, чадного газу (CO), оксидів азоту (NOx) з відпрацьованими газами двигуна забруднюють повітря у машинному відділенні.

Це може викликати хронічні захворювання дихальних шляхів у персоналу.

3. Небезпечні та шкідливі фактори під час ремонту та технічного обслуговування

Робота з паливом:

Злив, заправка або очищення паливних резервуарів підвищують ризик контакту з паливом і вдихання його парів.

Можливий розлив палива через неправильне закриття клапанів або зношення трубопроводів.

Небезпека розриву трубопроводів:

При розбиранні паливних ліній під час ремонту залишковий тиск у системі може викликати раптовий викид палива.

Ризик електротравм:

Технічне обслуговування електронних систем управління паливоподачею (наприклад, форсунок із п'єзоелектричним приводом) може спричинити ураження струмом через неправильне зняття напруги.

Важкодоступність вузлів:

Деякі елементи паливної системи розташовані у важкодоступних місцях, що підвищує ризик травмування під час їх демонтажу або установки.

Порушення вентиляції:

Роботи у машинному відділенні без належної вентиляції призводять до накопичення токсичних парів палива, що негативно впливає на самопочуття персоналу.

4. Рекомендації щодо мінімізації небезпечних та шкідливих факторів

Під час експлуатації:

Регулярно перевіряти герметичність трубопроводів, форсунок і клапанів.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Застосовувати засоби індивідуального захисту (каска, рукавички, захисні окуляри, вогнестійкий одяг).

Забезпечувати належну вентиляцію машинного відділення для запобігання накопиченню парів палива.

Під час ремонту та обслуговування:

Перед початком робіт розряджати тиск у паливній системі.

Використовувати вибухозахищене обладнання при роботі в замкнутих просторах.

Проводити навчання персоналу щодо роботи з паливною системою і забезпечувати доступ до інструкцій з безпеки.

Зниження впливу шуму та вібрацій:

Використовувати антишумові навушники та віброізолюючі рукавички.

Регулярно обслуговувати паливні насоси і механізми для зменшення вібрацій.

Контроль за токсичними речовинами:

Проводити моніторинг повітря у машинному відділенні на наявність шкідливих сполук.

Установлювати локальні витяжні вентиляційні системи для зменшення концентрації парів палива.

Під час експлуатації, ремонту та технічного обслуговування паливної системи головного двигуна судна існує низка небезпечних та шкідливих факторів, які можуть негативно вплинути на персонал і навколишнє середовище. Ефективне дотримання нормативно-правових вимог, використання засобів індивідуального захисту та правильна організація робіт є основними заходами для мінімізації ризиків і забезпечення безпечних умов праці.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи проведено комплексний аналіз можливостей та викликів використання аміаку як альтернативного палива в малообертових двигунах, зокрема на прикладі двигуна 9S50ME-C8.5, встановленого на контейнеровозі «MAERSK WEYMOUTH».

Аналіз технічних аспектів показав, що застосування аміаку потребує модифікації паливних систем та впорскувальних механізмів через його вузькі межі займистості, високу температуру самозаймання та специфічні корозійні властивості.

Досліджено умови роботи малообертових двигунів на аміаку, зокрема використання двопаливних систем. Запропоновані рекомендації щодо систем охолодження, захисту від корозії та зниження токсичних викидів.

Проведений розрахунок економічного ефекту модернізації паливної системи засвідчив можливість зменшення експлуатаційних витрат за рахунок використання аміаку як основного палива, особливо у довгостроковій перспективі за умов зниження витрат на виробництво зеленого аміаку.

Запропоновано кілька напрямків для подальших досліджень, включаючи оптимізацію систем подачі палива, інтеграцію каталізаторів для уловлювання NOx та впровадження систем рециркуляції аміаку.

Таким чином, використання аміаку в малообертових двигунах є перспективним напрямком для морської галузі. Разом із технічними інноваціями та вдосконаленнями, застосування цього палива сприятиме зниженню впливу суднових двигунів на довкілля та підвищенню ефективності їх експлуатації.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Наливайко В. С., Тимошевський Б. Г., Ткаченко С. Г. Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. Миколаїв : Вид-во Торубара В.В., 2015. 332 с.
2. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння: навч. посіб. Миколаїв : НУК, 2018.
3. MAN Energy Solution: “Introducing the new MAN B& W ME-LGIP: the world's first dual-fuel LPG marine engine”
4. Ammonia Application in IC Engines. May 2020
5. Судновий механік: Довідник у 3 томах / за редакцією А. А. Фока. Одеса.: Фенікс, 2008. Т. 1. 1036 с.
6. Міжнародні конвенції, кодекси, рекомендації ІМО і МАРПОЛ. Одеса, 2008. 80 с.
7. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.

					КРМ.142.6221м.13.00.ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		