

Шифр «металогідрид»

**Покращення екологічних показників транспортного двигуна при
використанні водневого каталізатора**

2020

Зміст

Перелік прийнятих скорочень.....	3
Вступ.....	4
1. Особливості застосування водню в якості палива для двигунів внутрішнього згоряння.....	7
2. Експериментальне дослідження використанням водню домішок водню до основного палива.....	11
3. Вплив водневих присадок до палива на показники роботи дизель-генератора, диму та токсичності.....	13
4 Дослідження впливу масової частки домішки водню до палива на робочий процес та індикаторні показники двигуна 6ЧН20/28	17
Висновки	24
Список використаної літератури	26

Перелік прийнятих скорочень

ВГ – відпрацьовані гази
ВМТ – верхня мертва точка
ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння
ККД – коефіцієнт корисної дії
КШМ – кривошипно-шатунний механізм
НМТ – нижня мертва точка
НУК – Національний університет кораблебудування
СЕУ – суднова енергетична установка
СОД – середньообертовий двигун
МОД – малообертовий двигун
МДВ – малі домішки водню
ПНВТ – паливний насос високого тиску
ІМО – International Maritime Organization

Вступ

Однією з найбільш важливих проблем морського транспорту є зменшення вартості вантажоперевезень. У вартості тон/милі перевезень частка витрат на паливо становить до 80%. Одночасно зростають вимоги Міжнародної Морської Організації (ІМО) до екологічних показників двигунів особливо на перехідних і часткових режимах навантаження.

На найближчі десятиліття для малих і середніх транспортних установок перспективними типами двигунів вважаються дизельні двигуни внутрішнього згоряння і двигуни з примусовим запалюванням. У зв'язку з цим основною проблемою в розвитку транспортної енергетики є забезпечення ефективної роботи двигунів з використанням водневих добавок.

Актуальність проблеми. Підвищення вимог щодо екологічності суднових двигунів потребує від проєктантів розробляти нові способи покращення екологічних показників суднових ДВЗ. При цьому використання паливних домішок являє собою альтернативний спосіб покращення показників екологічності та економічності двигуна.

Об'єкт дослідження – транспортні двигуни внутрішнього згоряння.

Предмет дослідження – характеристики екологічності суднового двигуна при використанні водневого каталізатора.

Використані методи дослідження – аналіз, узагальнення, моделювання.

Метою дослідження є покращення екологічності малого судна використанням водневих каталізаторів.

Наукова новизна та оригінальність ідей – виконано аналіз сучасних способів покращення екологічних показників суднового двигуна та проведено моделювання його роботи при використанні водневого каталізатора.

Основні задачі дослідження:

виконати аналіз сучасних способів покращення екологічності суднових ДВЗ;

на підставі експериментальних досліджень запропонувати масову частку водню;

виконати моделювання роботи двигуна;

за результатами дослідження зробити висновки і рекомендації.

Практична направленість результатів полягає у використанні фактичного матеріалу наукової роботи і знайдених літературних джерел у освітній діяльності Херсонської філії НУК при підготовці бакалаврів із спеціальності 135 "Суднобудування" та 142 «Енергетичне машинобудування», зокрема при розробці матеріалів лекційних і практичних занять таких дисциплін як "Суднові енергетичні установки", "Теорія двигунів внутрішнього згоряння", "Двигуни нетрадиційних схем" та "Палива, мастила та охолоджуючі рідини".

Наукові публікації. Результати наукової роботи представлені у наступних наукових публікаціях:

1. Підвищення енергоефективності судової дизельної електростанції використанням суміщення водневих паливних елементів / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика стан та проблеми. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. С. 220 – 221.

2. Гібридна силова установка вантажного автомобіля як перспективний напрямок розвитку галузі /

// Моделювання та інформаційні технології в науці, техніці та освіті / Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної Internet-конференції Харків: ХНАДУ. – 2018, с. 230-234.

3. Забезпечення енергоефективності судової енергетичної установки при сумісному використанні водневих паливних елементів / Priority directions of science development. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2020. Pp. 175-179. URL: <http://sci-conf.com.ua>.

4. Increasing the fuel efficiency of the ship's power plant through the use of excess energy from generators / IV International

Scientific and Practical Conference “Scientific achievements of modern society”,
Liverpool: Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua”. – 2020.

Структура роботи. Робота складається з титульного аркушу, змісту, переліку прийнятих скорочень, вступу, трьох розділів, висновку, списку використаної літератури (загалом 30 позицій). Обсяг роботи – 27 сторінок, кількість рисунків – 15; таблиць – 1.

Ключові слова: двигуни внутрішнього згоряння, водень, каталізатор, водневі добавки.

1. Особливості застосування водню в якості палива для двигунів внутрішнього згоряння

Майже третина всієї споживаної нафти витрачається в транспортній енергетиці, тому проблема раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у світі на сьогодні є вельми актуальною. Обмеженість запасів викопних ресурсів визначає ту велику увагу, що приділяється можливості застосування альтернативного палива в транспортних установках. На найближчі десятиліття для малих і середніх транспортних установок перспективними типами двигунів вважаються дизельні установки й двигуни внутрішнього згоряння із примусовим іскровим запалюванням. У зв'язку із цим основною проблемою в розвитку транспортної енергетики стає забезпечення ефективної роботи двигунів, в яких використовують альтернативне паливо [7].

В енергетичних установках із ДВЗ можуть бути використані різні види альтернативного палива: етиловий та метиловий спирти [7], масла рослинного походження (пальмове, соєве, соняшникове, рапсове) [9, 10], природний і попутний газ, газовий конденсат [11, 12, 14], водень [13], синтез-газ (переважно 40...70 % водню та оксид вуглецю [21, 23, 24]).

Очевидно, що саме водень є найбільш перспективним з альтернативних видів палива [1, 18, 21]. Людство має безмежні запаси елемента номер 1 періодичної таблиці Менделєєва. Переклад поршневих двигунів на водень - вірний шлях до ліквідації парникового ефекту і вирішення проблеми забруднення повітряного басейну планети [13].

З кожним роком інтерес до досліджень в області альтернативних палив тільки зростає. В основному це відбувається з двох причин:

- стрімке скорочення запасів розвіданих нафтових ресурсів в результаті активного споживання вуглеводнів;
- погіршити екологічна обстановка в зв'язку з постійним збільшенням кількості використовуваних поршневих двигунів у всьому світі.

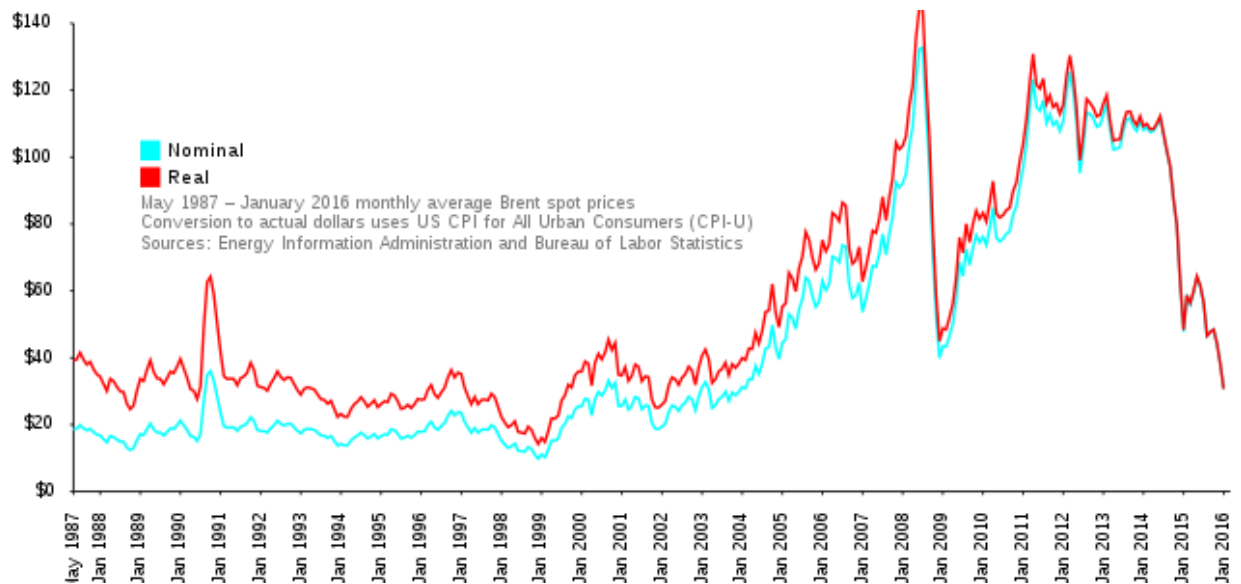


Рис. 1. Динаміка росту цін на нафту в світі за 15 років

Використання водню як палива для ДВЗ являє собою комплексну проблему, яка включає велике коло питань:

- можливість переведення на водень сучасних двигунів;
- вивчення робочого процесу двигунів при роботі на водні;
- визначення оптимальних способів регулювання робочого процесу, забезпечує мінімальну токсичність і максимальну паливну економічність;
- розробку системи паливоподачі, що забезпечує організацію ефективного робочого процесу в циліндрах ДВЗ;
- розробку ефективних способів зберігання водню на борту транспорту.

Але, незважаючи на всю привабливість застосування розглянутого палива, не варто забувати про його недоліки. Варто відзначити, що, на сьогоднішній день, отримання водню є непростим завданням, і вимагає окремого пророблення [4, 6].

Як зазначалося раніше, більш перспективним є внутрішнє сумішоутворення - подача газу безпосередньо до циліндра двигуна наприкінці впуску або при стисненні. Цей спосіб дозволяє підвищити потужність двигуна, а також повністю виключити можливість утворення зворотних спалахів. Однак така схема подачі має і деякі недоліки, зокрема достатньо складно забезпечити подачу значної кількості

водню за досить малий проміжок часу, а також існують проблеми з реалізацією системи подачі, дозування водню та деякі інші.

Використання водню як основного палива ДВЗ в даний час не є доцільним через високу вартість водню і труднощів щодо його зберігання в великій кількості [56]. Очевидно, прийнятним для ДВЗ є часткова заміна воднем вуглеводневого палива, тобто подача в циліндри двигуна поряд з основним паливом невеликих добавок водню, що дозволяє підвищити експлуатаційну ефективність ДВЗ та їх екологічну безпеку. Використання водню як невеликих добавок до органічного палива двигунів СЕУ не створює проблем, пов'язаних з його виробництвом і зберіганням. Використання екологічно чистих водневих добавок особливо доцільно при входженні суден у прибережні акваторії і порти, коли основне навантаження припадає на високотоксичні дизель-генератори. Застосування невеликих добавок водню до дизельного палива дозволяє поліпшити якість сумішоутворення та горіння палива в циліндрах двигуна. Водневі добавки призводять до зменшення швидкості процесів спалаху і зменшення періоду затримки запалення.

Одним з шляхів щодо вирішення цієї проблеми є використання малих (0,2...1,0% по масі) домішок водню до основного рідкого палива ДВЗ. При цьому слід зауважити, що водень в даному випадку використовується не як енергоносіє, що заміщує вуглеводневе паливо, а як каталізатор процесу вигорання зазначеного палива у циліндрах ДВЗ.

Твердження, що водень виступає саме як каталізатор процесу горіння основане на тому, що при незначній його кількості, незважаючи на високу теплотворну здатність ($Q_H=120 \text{ МДж/(кгK)}$) його кількість (до 1,0% по масі) не впливатиме на горіння як додаткове паливо. Проте наявність водню в циліндрі стимулюватиме сам процес горіння та виступатиме саме як каталізатор.

Попередні дослідження показали, малі домішки водню позитивно впливають роботу ДВЗ на часткових та перехідних режимах, а також при використанні важких сортів основного дизельного палива. У цих випадках відносний позитивний ефект є найбільшим.

Одним з можливих є подача малих домішок водню із застосуванням водневих каталізаторів [1]. Головна ідея полягає в тому, щоб додавати водень у дизельне паливо в магістраль високого тиску на хвилі низького тиску за допомогою спеціального пристрою. При цьому на хвилі тиску дизельне паливо насичується воднем та поступає у форсунку і далі впорскується у циліндр двигуна. Після впорскування та зниження тиску в циліндрі водень звільнюється з дизельного палива, сприяє подальшому подрібненню крапель та швидко дифундує у об'єм надпоршневого простору. Кількість водню, який додається до циклової подачі дизельного палива, регулюється тиском водню на вході у пристрій.

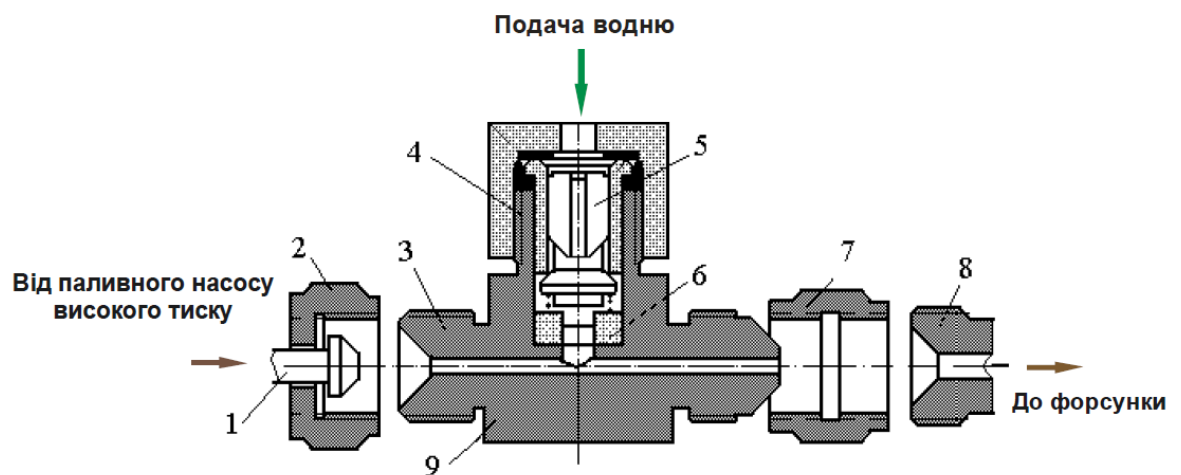


Рис. 1.3 Принципова схема та пристрій подачі малих домішок водню до дизельного ДВЗ [1]

Характеристики ПД визначають доцільність роботи на паливній суміші постійно або ж у міру необхідності. Однак щодо регулювання робочого процесу двигуна зміною властивостей палива з такою системою говорити не можна, так як перехідний процес зміни складу палива є надто тривалим. У разі поганого змішування палив в систему можуть бути включені, наприклад, ультразвукові, електричні, електромагнітні емульгатори. Таким шляхом створюється, наприклад, водопаливна емульсія (ВПЕ) перед впорскуванням її в дизель. Різні розчинно-

паливні емульсії (РПЕ), наприклад, антидимні, що знижують в'язкість основного палива та температуру в циліндрі і, отже, утворення оксидів азоту і т.д

2. Експериментальне дослідження використанням водню домішок водню до основного палива

Дослідження параметрів паливної апаратури двигуна 4Ч11/13 при добавці водню до дизельного палива проводились з метою дослідження впливу використання малих домішок водню до дизельного палива на процеси в паливній магістралі високого тиску було розроблено випробувальний стенд ДВЗ-МДВ1, зображений на рис. 3.15. При проведенні випробувань пружина голки форсунки мала серійний натяг $P_{зп}=17,6$ МПа.

Програма досліджень включала вивчення зміни параметрів подачі палива і їх оптимізацію при добавці водню.

Процес подачі палива, як з присадкою, так і без, здійснюється за дуже короткий проміжок часу, при цьому незначні зміни основних параметрів подачі палива істотно впливають на показники робочого процесу дизеля. При здійсненні добавки водню можливо очікувати зміни основних параметрів подачі палива.

Під час проведення дослідження тиск водню змінювався відповідно до його витрати з аккумуляючої камери (рис. 3.20). Суттєвий вплив на максимальний тиск впорскування відмічено при збільшенні тиску подачі водню.



Рис. 3 Діаграма впорскування палива без додавання водню

Наявність водневої домішки тиском подачі 0,2 МПа призводить до зменшення максимального тиску впорскування на 5-8%, при серійному знятті пружини форсунки. Збільшення тиску подачі водню до 0,3 МПа призводить до зменшення максимального тиску впорскування на 15-18%. При збільшенні тиску подачі водню до 0,45 МПа максимальний тиск впорскування зменшується на 18-25%. Такий результат можна пояснити втратами тиску на стиснення газоподібного водню та «згладження» хвилювих коливань в паливному трубопроводі високого тиску з «пом'якшенням» посадки нагнітального клапана. Подальше збільшення тиску водню не призводить до суттєвого зменшення максимального тиску впорскування, що обумовлене збільшенням початкового тиску в паливній магістралі за рахунок надлишкового тиску водню.

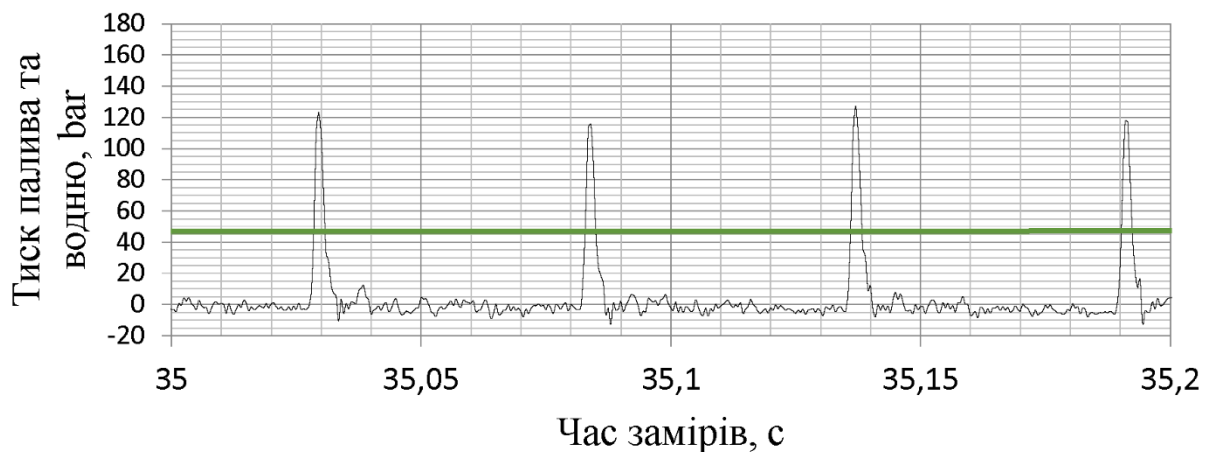


Рис. 4 Діаграма впорскування палива при тиску подачі водневої домішки 0,45 МПа

Такий вплив на процеси в паливопроводі високого тиску обумовлений дією газоподібного водню. Потрапляючи в паливопровід, водень сприймає на себе хвилю тиску від посадки нагнітального клапана тим самим слугуючи демпфером для подальших коливань тиску в паливопроводі. Таким чином, завдяки хвилі падіння тиску існує можливість заповнити «зону падіння тиску» в паливопроводі надлишковим тиском водню.

За результатами досліджень видно (рис. 3.26), що при порівнянні діаграм впорскування в зоні посадки голки існують характерні зміни, а саме:

- відсутність хвиль розрідження на діаграмі з додаванням водню;
- динамічні коливання в паливопроводі через подачу водню через клапан.

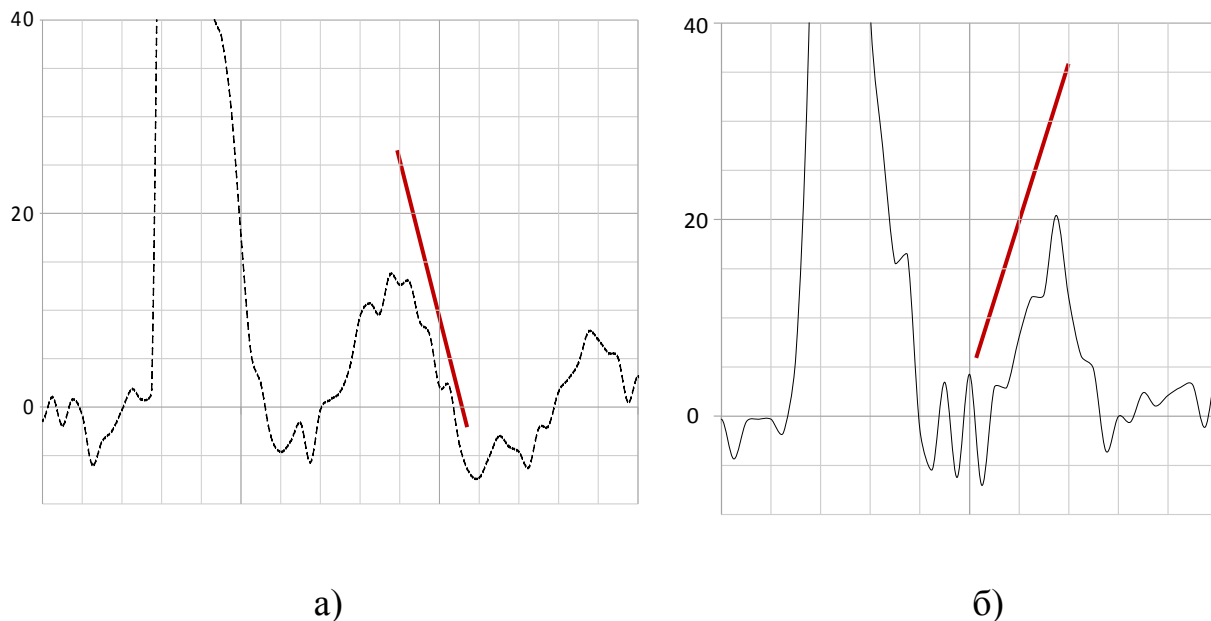


Рис. 5 Діаграми тиску водню в паливопроводі високого тиску:
а) без водню, б) з воднем

3. Вплив водневих присадок до палива на показники роботи дизель-генератора, диму та токсичності.

Типові результати досліджень дизельних двигунів 6Ч13/14 та 4Ч10.5/13 на вибір кількості добавки H_2 і порівняння робочого процесу димності та токсичності вихлопних газів при експлуатації на стандартному паливі і з додаванням водню подано на рис. 3.33-3.37 [62]. Вибір адитивної кількості здійснювався на режимах $P_i = 0,6 \dots 15$ МПа, $n = 1300 \dots 1900$ хв⁻¹. Порівняння параметрів роботи здійснювалася навантажувальним характеристикам коефіцієнта стиснення $\varepsilon = 16,5$ при $n = 1400$; 1800; 1900 хв⁻¹. [62]

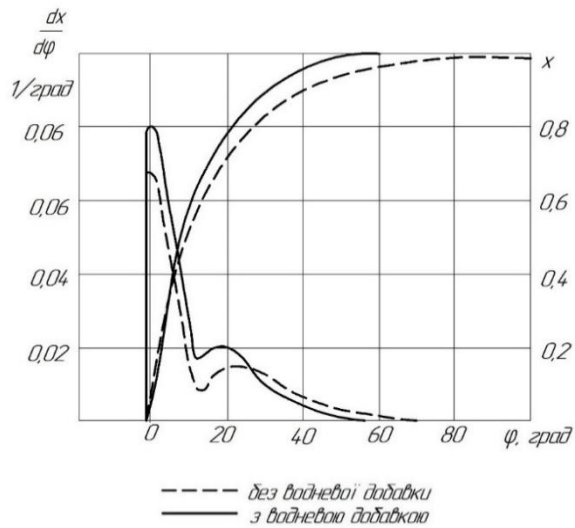


Рис. 6 Характеристики тепловиділення дизеля 6Ч13/14 на режимі $P_i=900$ кПа, при $n=1800$ хв⁻¹

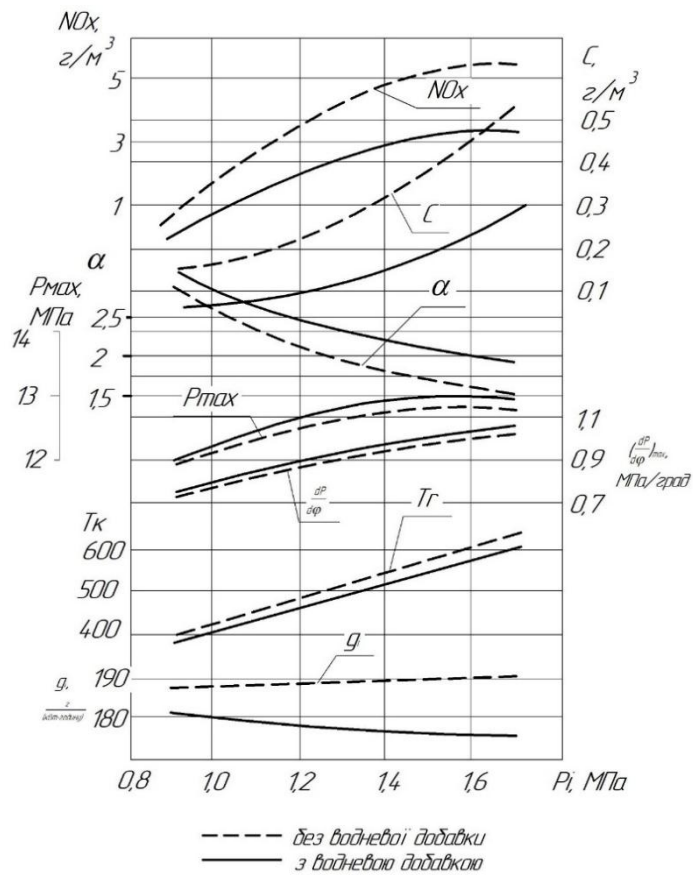
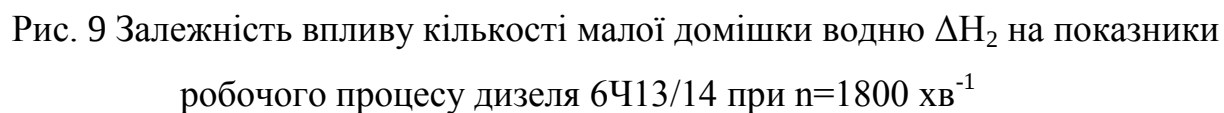
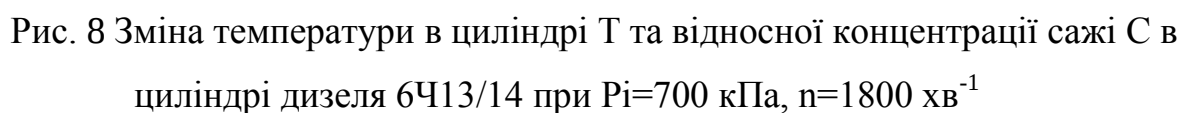


Рис. 7 Залежність параметрів двигуна 6Ч13/14, $n=1800$ хв⁻¹, $P_k=0,185$ МПа від порції водневої домішки



Як видно з залежності на рис. 3.36 збільшення кількості домішки водню до дизельного палива m_{H_2} (співвідношення водневих і паливних мас), що досягається за рахунок збільшення тиску водню, суттєво знижує витрату основного палива, вміст сажі і оксидів азоту у ВГ, знижується максимальна температура циклу T_{max} , проте збільшується жорсткість роботи $(\frac{dP}{d\phi})_{max}$. Аналогічна природа впливу кількості домішки водню по економічності і токсичності була отримана і на режимах відмінних від $P_i = 0,9$ МПа (рис. 3.34). В той же час, оптимальним з точки зору поліпшення економічних і екологічних характеристик є значенням добавки $m_{H_2} = 0,1\%$. Слід зазначити, що кількість $m_{H_2} = 0,1\%$ для дизельного двигуна 6Ч13/14 відповідає границі насичення дизельного палива воднем в умовах дизельного впорскування. Подальше збільшення кількості водневих присадок виходить за межі можливого розчинення водню в дизельному паливі і її вплив на економічність, сажевиділення і токсичність зменшується рис. 3.34. Величина домішки водню $m_{H_2} = 0,1\%$, як це було показано в розділі 3.4 цієї роботи, дозволяє зберігати оптимальні, з точки зору показників робочого процесу, параметри подачі палива. Таким чином, малі домішки водню у розмірі $m_{H_2} = 0,1\%$ оптимальні для дизельних двигунів з максимальним тиском впрыску до 350 МПа. Аналіз експериментальних результатів, які представлені на рис. 3.37 можна відзначити, що при частоті обертання двигуна 1800 хв^{-1} і змінному навантаженні від 0,5 до 0,9 МПа по середньому індикаторному тиску, домішки водню значно знижують витрату палива на 5-13 г/(кВт·годину).

Одночасно вміст сажі в вихлопних газах зменшується в середньому на 35%, на 20-40 ° зменшується температура відпрацьованих газів - внаслідок цього зменшується концентрація оксидів азоту в ВГ на 30-40%. Однак, слід відзначити деяке збільшення, близько 1%, максимального циклу тиску і жорсткості двигуна.

Для того, щоб простежити характер зміни зазначених параметрів при подальшому збільшенні навантаження проводилися дослідження на двигуні з тиском наддуву $P_k = 0,186$ МПа. Як видно з рис. 3.36 характер всіх кривих залишився незмінним, тоді як витрата палива зменшився на 5...8%, концентрація сажі і оксидів

азоту в ВГ зменшилась на 30...40%, трохи зросли жорсткість циклу $(\frac{dP}{d\varphi})_{max}$ і максимальний тиск.

Результати експериментальних досліджень на режимі 1900 хв⁻¹ представлені на рис. 3.34. При додаванні домішки водню від 0,12 до 0,08% зменшується як витрата палива в 7-10 г/(кВт·годину) концентрація сажі на випуску на 30%, також зменшується вміст оксидів азоту за 0,5 г/м³. Аналогічні висновки можна зробити на режим 1800 хв⁻¹, характеристики яких представлені на рис. 3.36, з графіків можна помітити, що вміст сажі в ВГ зменшується на 30%, оксидів азоту на 50%, витрата палива зменшується з 210 г/(кВт·годину) до 196 г/(кВт·годину), що становить 6%. При цьому збільшується максимальний тиск P_z . Такі зміни параметрів робочого процесу спостерігалися при випробуванні дизеля 4Ч10,5/12 [62]. В середньому додавання 0,1% водню до основного палива для режимів частоти обертання коліна частого валу $n=1300-1900$ хв⁻¹ при навантаженні $P_i=500-1600$ кПа зменшує витрату палива g_i на 5-8% або на 8-14 г/(кВт·годину), викидів сажі C на 30-50% та оксидів азоту на 30-40%. Існує деяке збільшення жорсткості $(\frac{dP}{d\varphi})_{max}$ і максимального тиску згоряння $P_{Макс}$. Максимальна температура циклу T_{max} зменшується, в результаті це призводить до зменшення циклової подачі палива, зубожіння суміші і зменшення теплоти її згоряння.

Залежність питомої індикаторної витрати палива g_i , концентрації сажі та оксидів азоту у ВГ близька до лінійної з слабо вираженою тенденцією до зниження впливу водневих домішок на вказані параметри зі зниженням її кількості. Зі зниженим навантаженням позитивний ефект впливу водневих домішок, особливо на витрату палива g_i зменшується.

4 Дослідження впливу масової частки домішки водню до палива на робочий процес та індикаторні показники двигуна 6ЧН20/28

Двигун 6ЧН20/28 фірми «Wartsila» [108] (рис. 5.1) в судновій енергетиці використовується в якості головних та допоміжних двигунів різного роду суден, та в якості дизель-генераторів сухопутних електростанцій.

Таблиця 1 Параметри двигуна 6ЧН20/28

Тип двигуна	Чотиритактний, реверсивний, простої дії, з газотурбінним наддувом, розташування циліндрів – рядне, вертикальне.
Модель двигуна	Права
Напрямок обертання колінчатого валу при роботі на передньому ході (дивитись зі сторони вихідного фланця)	За годинниковою стрілкою
Порядок роботи циліндрів	1-3-5-4-2-6
Порядок нумерації циліндрів	Від носа до корми
Діаметр циліндра, мм	200
Хід поршня, мм	280
Число циліндрів	6
Надув	Одноступінчастий, ізобарний, газотурбінний, з охолодженням повітря після компресорів
Тип турбокомпресорів	TCR-18
Число турбокомпресорів	1
Частота обертання к.в., хв^{-1}	1000

Конструкція двигуна 6ЧН20/28 базується на принципі моноблочні (рис. 5.1). Кількість комплектуючих деталей істотно скорочено шляхом об'єднання ряду деталей в моноблоки, зовнішні трубопроводи в основному замінені на свердління в блоках.

Зокрема, об'єднані в моноблок (multy-duct) патрубки, що забезпечують:

- ✓ підведення повітря з ресивера в кришку циліндра;
- ✓ надання повітрю обертального руху для оптимізації згоряння палива на малих навантаженнях;
- ✓ відвід газів в вихлопну систему;

- ✓ відведення охолоджуючої води з кришки в відповідний канал в блоці;
- ✓ охолодження і ізоляція вихлопного патрубка;
- ✓ кріплення вихлопної системи на двигуні.

Зміна ефективних показників роботи двигуна 6ЧН20/28 подана на рис. 5.2

Використання малих домішок водню до основного палива призводить до збільшення ефективної потужності з 1313 до 1350 кВт, при цьому відбувається зменшення індикаторної витрати палива з 178 до 173 г/(кВт·годину), при додаванні 0,11% водневої домішки (по масі). При цьому збільшення потужності складе 2,8%, а зменшення питомої індикаторної витрати палива 2,9%.

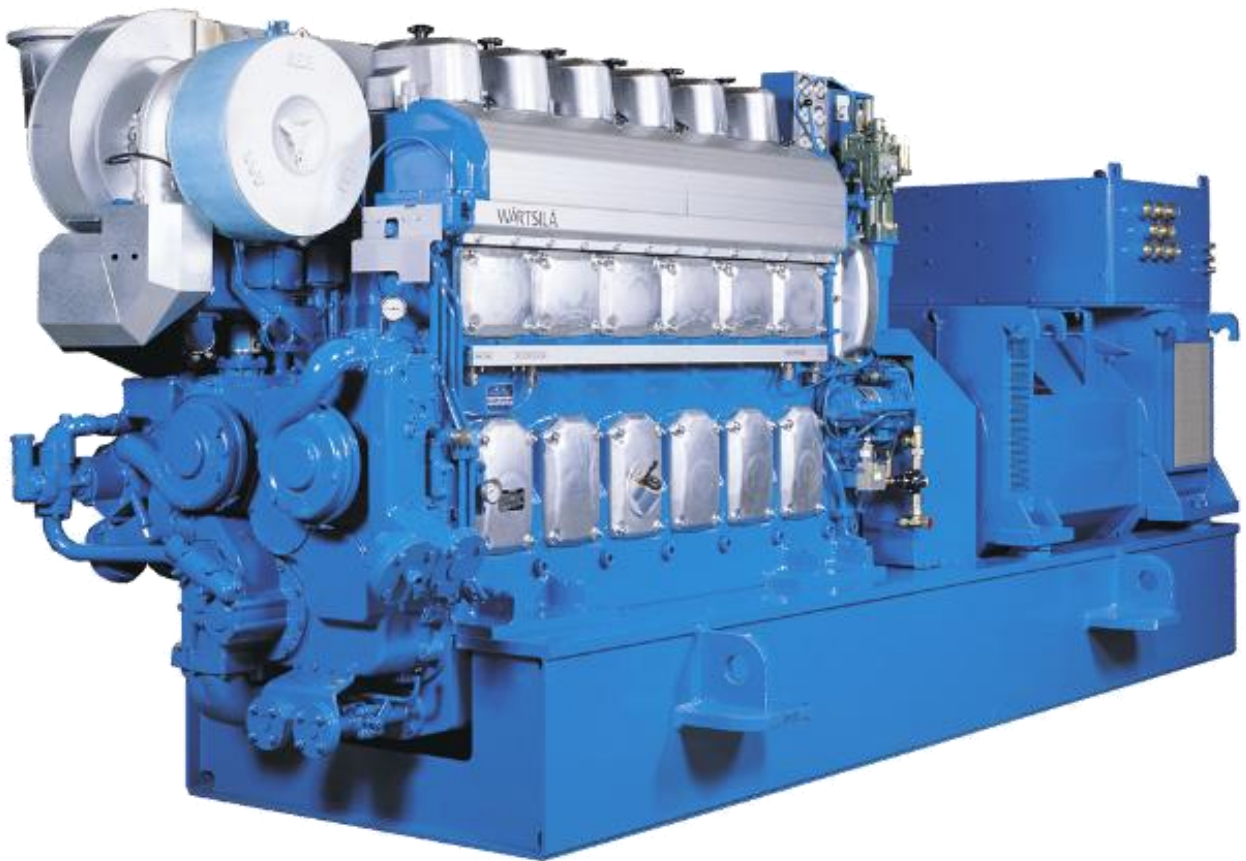


Рис. 10 Загальний вигляд двигуна 6ЧН20/28

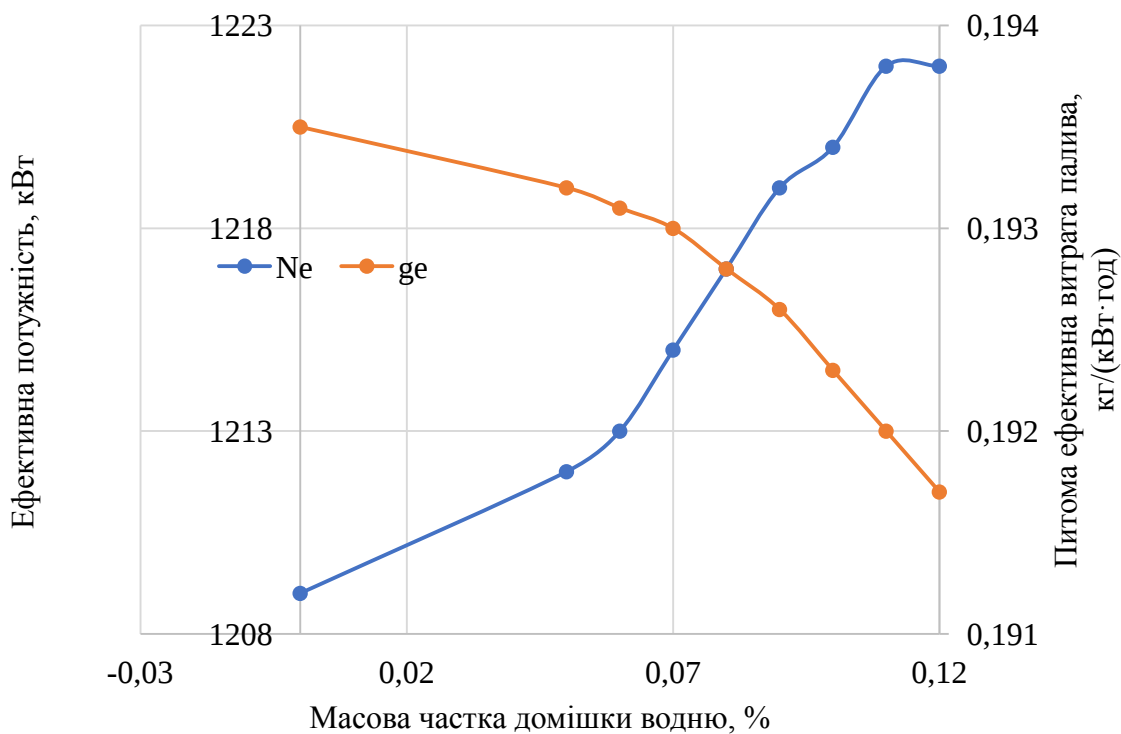


Рис. 11 Індикаторні показники роботи двигуна 6ЧН20/28 при зміні кількості домішки водню

В порівнянні з двигуном 1Ч8,6/7,2 де тиск впорскування палива значно менший від двигуна 6ЧН20/28 (19,5 МПа по відношенню до $70,0 \pm 5$ МПа), це свідчить що ефективність застосування малих домішок водню залежить від тиску впорскування палива та налаштування системи паливоподачі.

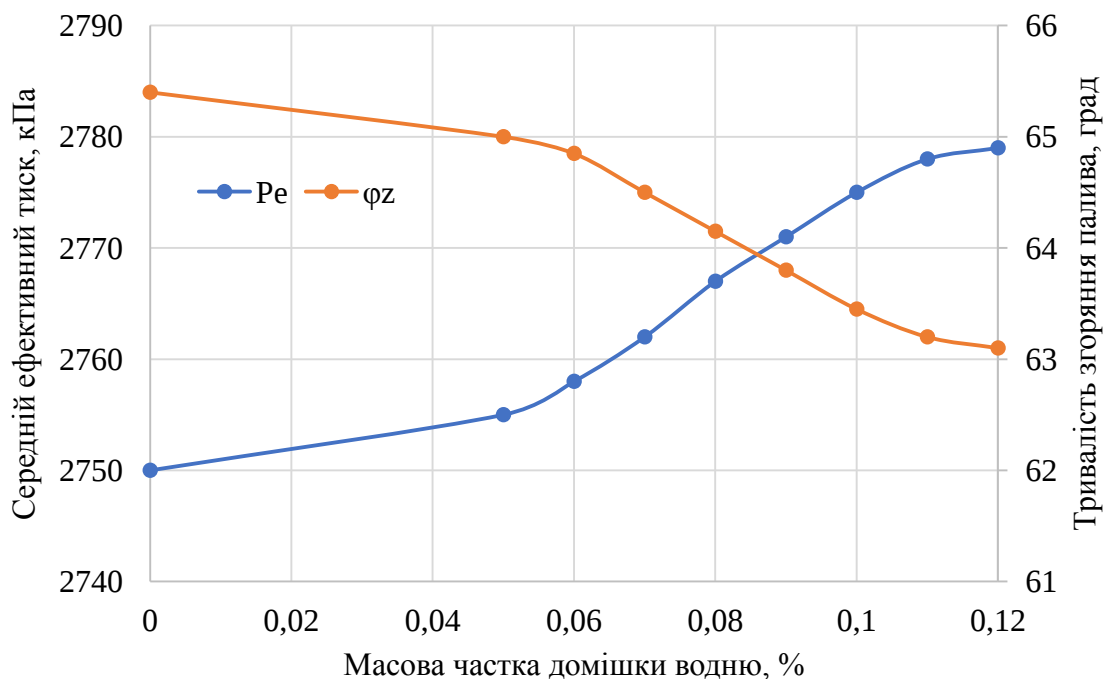


Рис. 12 Залежність середнього діаметра крапель розпиленого палива та тривалості згоряння палива від вмісту водневої домішки

При значенні концентрації водневої домішки 0,1% за масою, відповідно отримано значення індикаторної потужності 1350 кВт, середнього індикаторного тиску 3,066 МПа та мінімум питомої індикаторної витрати палива 0,173 кг/(кВт·год).

Найбільш важливими параметрами робочого циклу двигуна при використанні малих домішок водню є тривалість згоряння φ_z , кут випередження запалення $\varphi_{оп}$ та коефіцієнт надлишку повітря α .

Ефективність застосування малих домішок водню до основного дизельного палива в дизельній СЕУ танкера "SVL LIBERTY" [107] дедвейтом 6970 тон (рис. 5.12). Судно знаходиться під фрахтою нафтової компанії "SVL" і призначене для транспортування сирої нафти країнами басейну Чорного, Каспійського та Середземного морів. Енергетична установка танкера включає два головних двигуна W6L20 (6ЧН20/28) номінальною потужністю 1200 кВт виробництва Wartsila, а також три дизель-генератора Volvo Penta D12 MGKS потужністю 292 кВт кожен.

В даний час головний двигун і дизель-генератори експлуатуються на дизельному паливі за стандартом ISO 8217, категорія ISO-F-DMB і на режимі 0,85 Не споживають 0,5 т на годину або 12 т палива на добу. При вартості цього палива на 01.11.18 р, 600 доларів США за тонну, що добові витрати на паливо складуть 7200 доларів США.

Розрахунки, виконані на базі математичного моделювання з урахуванням експериментальних даних за методикою економічного розрахунку розробленою в ХФ НУК, показують, що в разі додавання 0,1% водню витрата водню складатиме 12 кг на добу. При вартості водню, виготовленого за допомогою електролізу 8,96 доларів США за кг, отже добові витрати на водень складуть 108 доларів США.

При використанні малих домішок водню питома витрата палива зменшується на 3-7%. Додавання 0,1% водню до основного палива зменшення витрати палива

складе $\sim 3\%$. Враховуючи позитивний ефект використання малих домішок водню добова витрата палива зменшиться і складе 11,64 т, а витрати на паливо за добу складуть 6984 доларів США. Таким чином добова економія на паливі складе 216 доларів США за добу. При врахуванні витрат на водень загальний економічний ефект складе 108 доларів США за добу.

У разі транспортування нафти з району Єгипту до України при середній протяжності лінії 1800 миль і середньої швидкості 10 вузлів, економія від використання МДВ складе ~ 800 доларів США за рейс.

Схема судновий дизельної енергетичної установки цього танкера при використанні малих домішок водню, наведена на рис. 5.13, а на рис. 5.14 - загальне розташування енергетичного обладнання в приміщеннях МО.

Устаткування електролізу та отриманню водню на борту танкера досить раціонально розташовується в МВ. За оціночними розрахунками (використання електролізера HySTAT®-15-10) [98] габарити цього обладнання, зібраного в агрегат, складають $1,7 \times 1,85 \times 2,6$ м (див. рис. 5.11), а маса - приблизно 1,5 т.



Рис. 13 Загальний вигляд танкера "SVL LIBERTY"

Витратний паливний трубопровід ГД, ДГ та АДГ

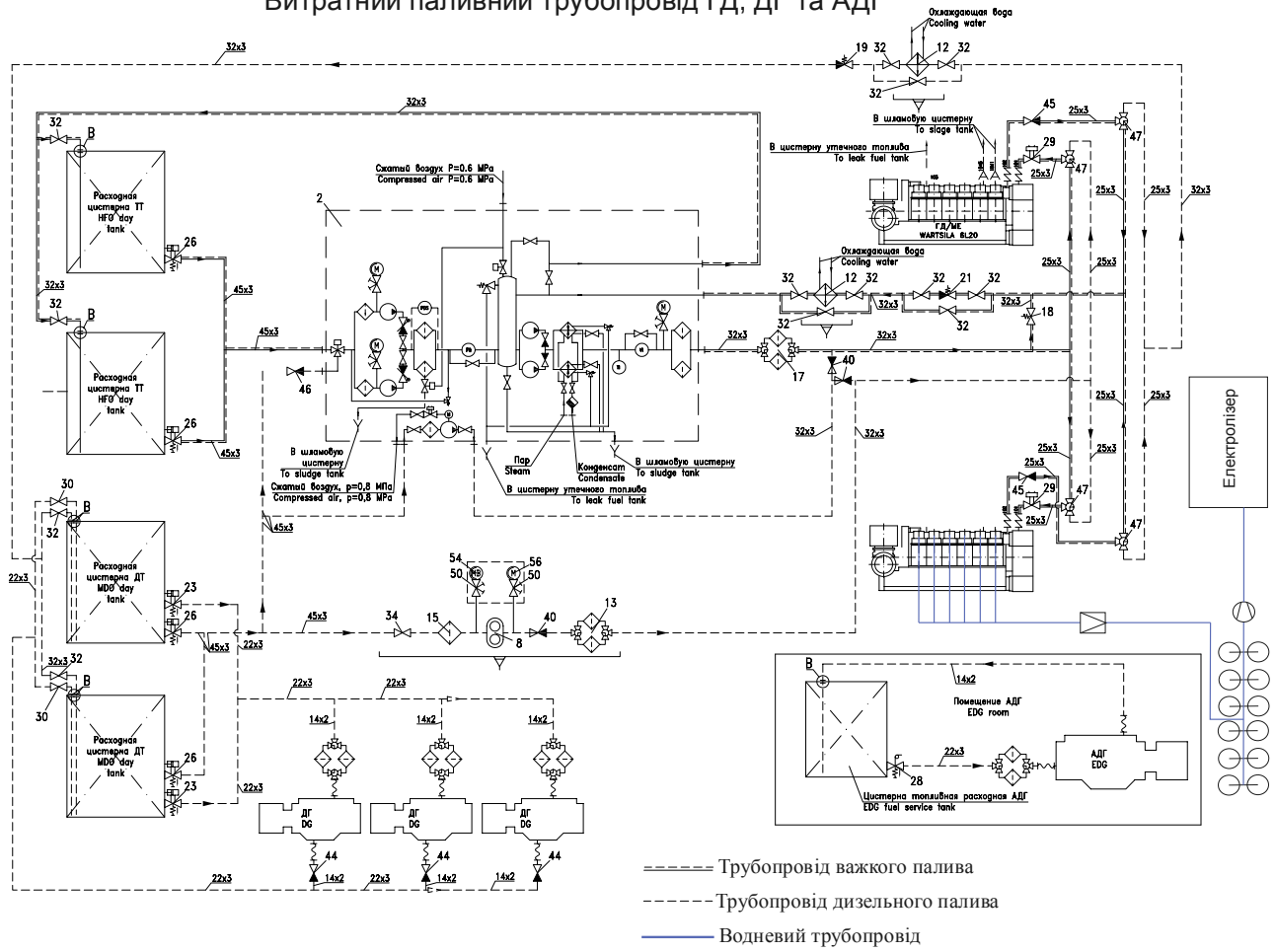


Рис. 14 Схема паливної системи судновий дизельної енергетичної установки танкера "SVL LIBERTY" з використанням малих домішок водню

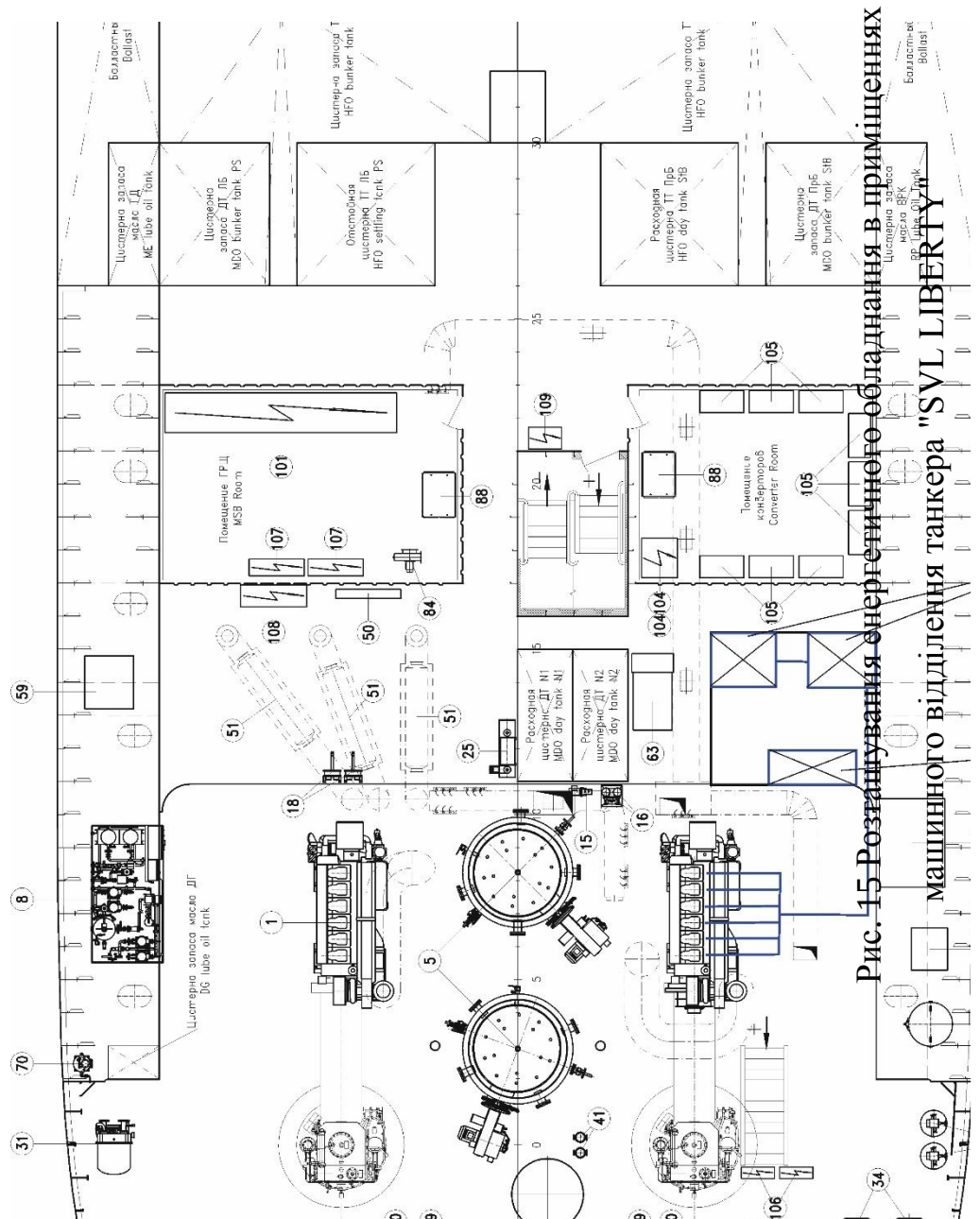


Рис. 15 Розташування енергетичного обладнання в приміщеннях машинного відділення танкера "SVL LIBERTY"

Висновки

1. Використання водню як каталізатора згоряння дизельного палива, у тому числі й важких сортів, дозволяє знизити витрати палива та знизити навантаження на довколишнє середовище за рахунок зменшення викидів шкідливих речовин.
2. Запропоноване технічне рішення може бути застосоване у складі судових дизельних енергетичних установок, які працюють на важких сортах

палива. При цьому виробництво водню може бути здійснено на борту судна шляхом електролізу. Використання малих домішок водню є особливо доцільним при роботі на часткових та перехідних режимах, заходах судна в порти, вузькості, проливи та в інших районах з підвищеними вимогами щодо екологічних показників енергетичних установок.

3. Виконане експериментальне дослідження впливу додавання малих домішок водню до основного палива на параметри паливоподачі дизельного двигуна, показало що при додаванні 0,1% водню (по масі) спостерігається зменшення максимального тиску впорскування на 15...25%, що потребує для забезпечення стабільної роботи паливної апаратури необхідність регулювання параметрів впорскування та збільшення максимального тиску впорскування форсункою на 10...15%.

4. Зменшується вміст сажі в вихлопних газах в середньому на 35%, на 20-40° зменшується температура відпрацьованих газів - внаслідок цього зменшується концентрація оксидів азоту в ВГ на 30-40%.

Список використаної літератури

1. Тимошевський Б.Г., Ткач М.Р., Шалапко Д.О. Поліпшення робочих характеристик дизельних двигунів за допомогою додавання водню // Водный транспорт. 2016. №2 (25). С. 24-28.
2. Ткач М.Р., Тимошевский Б.Г., Доценко С.М., Галынкин Ю.Н., Шалапко Д.О. Утилизация теплоты вторичных энергоресурсов судовых малооборотных двигателей, работающих на альтернативном топливе // Двигатели внутреннего сгорания. 2017. №2. С. 8-13.
3. Тимошевський Б.Г., Ткач М.Р., Шалапко Д.О. Основні положення математичної моделі додавання водню на лінії високого тиску паливної апаратури // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2017. Т. 1., № 3 (62). С. 233-237.
4. Шалапко Д.О. An experimental study of the wave effect in fuel equipment using hydrogen additives to diesel fuel // Technology audit and production reserves. 2018. Vol 6/1, (44). С. 36 – 40.
5. Shalapko D.O., Proskurin A.Y., Mitrophanov O.M. Methods to improve the performance of diesel engines by adding hydrogen into high pressure line // Shipbuilding & marine infrastructure. 2018. Vol.9., № 1. С. 82 – 86.
6. Шалапко Д.О. Непрямі методи дослідження ефекту використання малих домішок водню до основного палива // Авіакосмічна техніка та технологія. 2018. №6 (150). С. 44 – 51.
7. Кричевский И.Р. Фазовые равновесия в растворах при высоких давлениях. Изд-е 2-е. - М.: Госхимиздат, 1952. - 167 с.
8. Танкер проекту “RST27”, основні характеристики, призначення та технічна документація, 2011. Херсонская верфь.
9. L20 IMO Tier II - Marine Engines PRODUCT GUIDE. - Wartsila, November 2018. - 228 p. (www.wartsila.com)

10. MAN B&W S50ME-C9-TII Project Guide. Electronically Controlled Two-stroke Engines with Camshaft Controlled Exhaust Valves. - 1st Edition, April 2013. - 355 p. (www.mandieselturbo.com).
11. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г.; измененная Протоколом 1978 г. к ней; МАРПОЛ 73/78. - СПб.: АОЗТ ЦНИИМФ, 1994. - 310 с.
12. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Дизели. КПД 31.2.002.02-96: Нормативный документ морского транспорта Украины. - К., 1997. - 64 с.
13. Hermanns R. T. E. Laminar Burning Velocities of Methane-Hydrogen-Air Mixtures / R. T. E. Hermanns. – Veenendaal : Universal Press, 2007. – 144 p.
14. Fiveland S. B. Development of a two-zone HCCI combustion model accounting for boundary layer effects / S. B. Fiveland, D. N. Assanis // SAE International. – 2001. – № 1. – P. 51–66.
15. Ramachandran S. Rapid Thermodynamic Simulation Model of an Internal Combustion Engine on Alternate Fuels / S. Ramachandran : proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. – Vol II (Hong Kong, 18–20 March, 2009). – Hong Kong, 2009.
16. Hardenberg, H.O. and Hase, F.W. An Empirical Formula for Computing Pressure Rise Delay of a Fuel from its Cetane Number and from Relevant Parameters of DI Diesel Engines. SAE Paper, 790493. 1979.
17. Heywood J.B. Internal combustion engine fundamentals// Pergamon Press, New York, 2003. 935 pp.
18. HySTAT® HYDROGEN GENERATORS. 2017. – Oevel, Belgium. 16 с. (режим доступа www.hydrogenics.com)
19. Saravanan N and Nagarajan G. Experimental investigation on performance and emission characteristics of dual fuel DI diesel engine with hydrogen fuel. SAE paper no. 2009-26-032, 2009.

20. Saravanan N, Nagarajan G, Dhanasekaran C, et al. Experimental investigation of hydrogen port fuel injection in DI diesel engine. Int J Hydrogen Energ 2007; 32: 4071–4080.

21. Вагнер В.А. Улучшение экономических и экологических характеристик дизелей методом насыщения жидкого топлива водородом: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.04.02 / Вагнер Виктор Анатольевич. – Барнаул, 1984. – 225 с.

22. Патрахальцев Н.Н. повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив / Н.Н. Патрахальцев. – М : МГТУ, 2008. – 185 с.

23. Бузник В.М. Теплопередача в судовых энергетических установках. Л.: Судостроение. 1967. 376 с.

24. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л.: Судостроение. 1977. 392с.

25. Сирота А.А. Повышение экономичности судовых ДВС путем использования водорода в качестве добавок к топливу / А.А. Сирота. – Харьков: ХНУ ХПИ, 2006, №1. – С. 63 – 67.

26. H. Zhang Effects of Hydrogen Addition on NO_x Emissions in Hydrogen-Assisted Diesel Combustion / H. Zhang, G.K. Lilik, A.L. Boehman, D.C. Haworth. – 2009 International Multidimensional Engine Modeling Users Group Meeting Detroit, MI, 6 p.

27. Фомин Ю.Я., Иваноский В. Г. Расчеты судовых двигателей внутреннего сгорания на ЭЦВМ. Москва: Рекламбюро ММФ. 1973. 99 с.

28. Хандов З.А.. Судовые двигатели внутреннего сгорания (теория). Изд. 3-е , доп. М.: Транспорт , 1975. 368 с.

29. Петриченко Р. М. Физические основы внутрицилиндровых процессов в двигателях внутреннего сгорания : учеб. пособие / Р. М. Петриченко. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. – 244 с.

30. Шеховцов В.А. Математическое моделирование теплопередачи в быстроходных дизелях. Харьков: "Вища школа", 1978, 324 с.

Анотація

Однією з найбільш важливих проблем морського транспорту є зменшення вартості вантажоперевезень. У вартості тон/милі перевезень частка витрат на паливо становить до 80%. Одночасно зростають вимоги Міжнародної Морської Організації (ІМО) до екологічних показників двигунів особливо на перехідних і часткових режимах навантаження.

На найближчі десятиліття для малих і середніх транспортних установок перспективними типами двигунів вважаються дизельні двигуни внутрішнього згоряння і двигуни з примусовим запалюванням. У зв'язку з цим основною проблемою в розвитку транспортної енергетики є забезпечення ефективної роботи двигунів з використанням водневих добавок.

Актуальність проблеми. Підвищення вимог щодо екологічності суднових двигунів потребує від проєктантів розробляти нові способи покращення екологічних показників суднових ДВЗ. При цьому використання паливних домішок являє собою альтернативний спосіб покращення показників екологічності та економічності двигуна.

Об'єкт дослідження – транспортні двигуни внутрішнього згоряння.

Предмет дослідження – характеристики екологічності суднового двигуна при використанні водневого каталізатора.

Використані методи дослідження – аналіз, узагальнення, моделювання.

Метою дослідження є покращення екологічності малого судна використанням водневих каталізаторів.

Наукова новизна та оригінальність ідей – виконано аналіз сучасних способів покращення екологічних показників суднового двигуна та проведено моделювання його роботи при використанні водневого каталізатора.

Основні задачі дослідження:

виконати аналіз сучасних способів покращення екологічності суднових ДВЗ;

на підставі експериментальних досліджень запропонувати масову частку водню;

виконати моделювання роботи двигуна;

за результатами дослідження зробити висновки і рекомендації.

Практична направленість результатів полягає у використанні фактичного матеріалу наукової роботи і знайдених літературних джерел у освітній діяльності Херсонської філії НУК при підготовці бакалаврів із спеціальності 135 "Суднобудування" та 142 «Енергетичне машинобудування», зокрема при розробці матеріалів лекційних і практичних занять таких дисциплін як "Суднові енергетичні установки", "Теорія двигунів внутрішнього згоряння", "Двигуни нетрадиційних схем" та "Палива, мастила та охолоджуючі рідини".

Наукові публікації. Результати наукової роботи представлені у наступних наукових публікаціях:

1. Підвищення енергоефективності судової дизельної електростанції використанням суміщення водневих паливних елементів / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика стан та проблеми. – Миколаїв: Видавець Торубара В.В., 2019. С. 220 – 221.

2. Гібридна силова установка вантажного автомобіля як перспективний напрямок розвитку галузі

// Моделювання та інформаційні технології в науці, техніці та освіті / Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної Internet-конференції Харків: ХНАДУ. – 2018, с. 230-234.

3. Забезпечення енергоефективності судової енергетичної установки при сумісному використанні водневих паливних елементів / Priority directions of science development. Abstracts of the 4th International scientific and practical conference.

SPC “Sci-conf.com.ua”. Lviv, Ukraine. 2020. Pp. 175-179. URL: <http://sci-conf.com.ua>.

4. Increasing the fuel efficiency of the ship's power plant through the use of excess energy from generators / IV International Scientific and Practical Conference “Scientific achievements of modern society”, Liverpool: Scientific Publishing Center “Sci-conf.com.ua”. – 2020.

Структура роботи. Робота складається з титульного аркушу, змісту, переліку прийнятих скорочень, вступу, трьох розділів, висновку, списку використаної літератури (загалом 30 позицій). Обсяг роботи – 27 сторінок, кількість рисунків – 15; таблиць – 1.

Ключові слова: двигуни внутрішнього згоряння, водень, каталізатор, водневі добавки.