

Основним фактором обмеження потужності являється виникнення явлення детонації в робочому просторі циліндра. Для роботи двигателя на номінальній потужності, метанове число газу не повинно бути менше 80, при зниженні потужності, воно може бути зменшено до 60...67 одиниць [1].

**Висновки.** Виходячи з наведеного вище аналізу, можна зробити висновок, що на сьогодні існує два принципово різних підходи до організації роботи малооборотних двигачів на ГТ, кожен з яких має свої переваги і недоліки. Переваги систем низького тиску:

- хороше перемішування газу-повітряної суміші в ході процесу стиснення;
- використання мінімальної порції запального палива для піджогу;
- подача газу в робочий циліндр при відносно низькому тиску, що дозволяє знизити ймовірність витоків, підвищити безпеку його використання.

### Література

1. Ott M. X-DF low-pressure dual-fuel engine technology. WinGD low-speed engines Licensees, Conference 2015. – 7 p.
2. Olmer N. et al. Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013–2015. – Washington: ICCT, 2017. – 38 p.
3. Wettstein R. The Wärtsilä low-speed, low-pressure dual-fuel engine. AJOUR Conference, Odense, 27/28 Nov 2014. – 31 p.
4. Wärtsilä 2-stroke dual fuel technology. CIMAC NMA norge annual meeting 22.01.2014. – 32 p.

Булгаков Микола Петрович, к.т.н., доцент, Херсонська державна морська академія, nrbulgakov2@gmail.com

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛІВ

**Вступ.** Технічний стан морського транспорту характеризується кількістю великою несправностей і відмов устаткування різних систем і вузлів судів. Найбільша кількість відмов припадає на дизель. З аналізу технічного стану суден видно, що кількість відмов і несправностей, пов'язаних з ушкодженням дизеля, становить близько 35% [1].

Відмови й несправності суднових енергетичних установок можуть бути з вини персоналу, що займається експлуатацією, з вини ремонтного персоналу або з вини ремонтних заводів і заводів-виготовлювачів. Таке положення складається через недостатні навички й уміння персоналу, що обслуговує судно, через відсутність сучасного ремонтного й діагностичного устаткування.

**Актуальність досліджень.** В експлуатації перебувають дизелі з несправностями, які можна віднести до «схованих» відмов, що приводять до

збільшення витрати палива, зниження номінальної потужності, нерівномірному розподілу потужності по окремих циліндрах. Зазвичай це пов'язано з порушенням регулювання паливної апаратури, утвором коксу в соплових отворах розпилювачів, погіршенням технічного стану турбокомпресора, зношуванням циліндропоршневої групи й механізму газорозподілу.

Аналіз деяких опублікованих робіт показує, що в 30% обстежених дизелів потужність виявилася заниженою на 15...20% [2], а нерівномірність навантаження по циліндрах досягала 25...30%. Відмінність навантаження по окремих циліндрах залежить від нерівномірної подачі палива форсунками й нормативного значення кута випередження упорскування палива.

Кожен третій випадок непланового ремонту дизелів пов'язаний з виходом з ладу паливної апаратури (ПА). Експлуатація суден найчастіше характеризується умовами, коли окремі агрегати й двигун у цілому працюють при частковій втраті працездатності без проведення достатніх профілактичних заходів.

Якщо ПА перебуває в справному стані, але кут випередження упорскування палива встановлений невірним (наприклад,  $20^\circ$  замість нормативного  $28^\circ$ ), протікання робочого процесу буде порушено, що буде видно через збільшенні витрати палива й димності відпрацьованих газів.

**Постановка задачі.** Необхідно проаналізувати різні методи діагностування паливної апаратури та дати висновок щодо їхнього використання.

**Результати досліджень.** Робота двигуна внутрішнього згорання, його механізмів і систем супроводжується *вібрацією*. Між рівнем вібрації й технічним станом об'єкта існує взаємозв'язок. По мірі зношування деталей механізмів збільшуються зазори в сполучених парах і підвищується кінетична енергія ударних впливів.

Ударні впливи підвищуються зі збільшенням ходу голки розпилювача форсунки в процесі експлуатації. У цьому випадку визначають коефіцієнт амплітуди, який дорівнює відношенню максимального значення сигналу до його середнього значення. Середнє значення сигналу визначається для початкового значення максимального ходу голки згідно з технічними даними заводу-виготовлювача. Якщо коефіцієнт амплітуди більш 1,5, то розпилювач потребує заміни. Наприклад, у нового розпилювача максимальний хід голки 0,5 мм, у процесі експлуатації він збільшився до значення 0,8 мм. У цьому випадку потрібна заміна розпилювача.

Фазові характеристики сигналу від вібрації застосовують для визначення часу виникнення подій які супроводжуються ударними впливами в механізмах. Наприклад, при роботі дизеля ударами супроводжується робота клапанів механізму газорозподілу, насоса високого тиску, форсунки при русі голки розпилювача.

Діагностування технічного стану форсунки по параметрах вібрації може бути виконане порівнянням еталонної вібродіаграми з фактичною. Маючи набір осцилограм із заздалегідь відомими несправностями, порівняльним

способом можна визначити вид ушкодження.

*Спосіб діагностування паливної апаратури за зміною температури деталей.* У процесі роботи двигуна внутрішнього згоряння хімічна енергія палива перетворюється в теплову енергію. У камері згоряння температура досягає понад 2 000 С. Усі деталі й вузли двигуна нагріваються. На заданому встановленому режимі роботи двигуна температура його деталей досягає певного постійного значення. При справному стані всіх механізмів і систем двигуна температурне поле поверхонь двигуна досягає певного припустимого значення. Технічний стан дизель-генераторної установки залежить від зміни температури її вузлів.

У роботі [3] досліджувався вплив технічного стану форсунок ПА від зміни температури поверхні нагнітального трубопроводу. Відомо, що в процесі подачі палива трубопровід, що з'єднує насос високого тиску з форсункою, нагрівається. Температура нагріву залежить від тертя палива про стінки трубопроводу. Величина тертя залежить від шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу, тиску, швидкості руху й в'язкості палива. Тертя у вигляді теплоти розсіюється в навколишньому просторі.

Для проведення безконтактного теплового контролю використовувалися пірометр Raytek Minitemp, портативний комп'ютерний термограф (тепловізор) IPTIC 2000, що складається з приймальної камери, комп'ютера типу NOTERBOOK і спеціального програмного забезпечення.

При роботі двигуна 6ЧН 16/22,5 на режимі малих навантажень з потужністю 22,7 кВт при  $450 \text{ хв}^{-1}$  для всіх шести циліндрів визначалися тиск у кінці стиснення, максимальний тиск згоряння і температура поверхні нагнітального трубопроводу. Потім у двигуні була проведена заміна місцями (перевстановлення) форсунок. На циліндри 1, 2, 3 були встановлені форсунки 4, 5, 6 циліндрів, а на 4, 5, 6 – 1, 2, 3. Тиск у кінці стиснення практично залишився на колишньому рівні, тому вплив зносу циліндра і поршневих кілець було виключено. Дослідження показало, що підвищення в першому циліндрі тиску згоряння палива з 2,6 до 5,2 МПа (збільшена циклова подача палива) сприяло зростанню температури поверхні нагнітального трубопроводу з 33 до 42°. Температура змінилася й в інших нагнітальних трубопроводах [3].

Аналіз результатів дослідження показав, що по зміні температури поверхні трубопроводу можна визначити технічний стан форсунок. Якщо для відомих несправностей паливної апаратури (знос плунжерної пари, утворення коксу в розпилювачі форсунок, втрата рухомості голки, зниження тиску відкриття голки) визначити зміну температури поверхні нагнітального трубопроводу, це дозволить проводити діагностування зі зміни температури, визначати вид несправності.

Недоліками даного способу є складність проведення контролю технічного стану ПА і вплив температури інших деталей двигуна на зміну температури поверхні нагнітального трубопроводу.

*Аналіз несправностей форсунок дизельних двигунів по зміні ходу голки розпилювача форсунки.* На режимах холостого ходу або малих навантажень

спостерігається погіршення процесу згоряння через неякісне розпилювання палива [4].

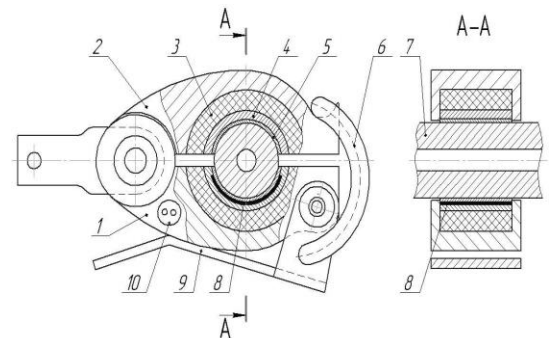
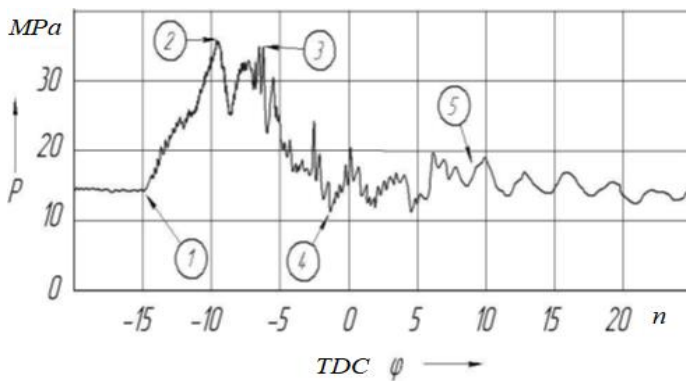
На діаграмі руху (ходу) голки виділені характерні точки й ділянки: 1 – початок підйому голки (початок подачі палива); 1-2 – ділянка підйому голки; 2-3 – ділянка максимального підйому голки; 3-4 – ділянка посадки голки на сідло; 4 – точка закінчення посадки голки. Ці точки на діаграмі ходу голки позначені меншою величиною цифр.

Пропонується наступна послідовність діагностування по аналізі ходу голки розпилювача:

- для паливної апаратури, параметри якої відповідають вимогам заводу-виготовлювача, на режимі холостого ходу або номінальної потужності фіксується хід голки з поясненням характерних точок і ділянок;

- для можливих несправностей, що зустрічаються в експлуатації (зміна кута випередження подачі палива, тривалості упорскування, швидкості підйому й посадки голки, поява додаткових упорскувань, зависання голки), фіксується форма руху (ходу) голки.

По розташуванню характерних точок на діаграмах тиску палива й ходу голки (по вертикалі й горизонталі) можна визначити технічний стан насоса й форсунки; хід голки, у поточний період експлуатації дизеля, порівнюють із еталонним (контрольним) ходом. Шляхом порівняння еталонної діаграми ходу голки з реальною оцінюється технічний стан ПА й визначається можливий вид несправності.



а

б

Рисунок 1. Осцилограми тиску, записані знімним датчиком (b) та конструкцією датчика для їх отримання, де 1 - нерухомий корпус датчика; 2 - підвісний корпус датчика; 3 - пружний елемент; 4 - зовнішній електрод; 5 - внутрішній електрод (мідна фольга); 6 - петля; 7 - паливопровід; 8 - п'єзоелектрична плівка; 9 - ручка затискача; 10 - рознімання датчика

**Висновки.** Розглянуті методи діагностування паливної апаратури є досить інформативними та достовірними. Окрім цього вони не потребують коштовного обладнання. Усі методи можуть застосовуватися під час

експлуатації суден, але їх використання потребує високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

### Література

1. Костин А. К. Работа дизелей в условиях эксплуатации. / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочинев. – Л. : Машиностроение, 1989. – 285 с.
2. Обозов А.А. Развитие методов и систем технического диагностирования / А.А. Обозов, В.И. Таричко // Двигателестроение. – 2012. – № 4 (250). – С. 30-34.
3. Балагин Д. В. Экспериментальные исследования тепловых процессов в трубопроводах высокого давления топливной аппаратуры дизелей /Д.В. Балагин // Омский научный вестник. – 2012. – № 3 (113). – С. 142 – 145
4. Михайлова Л.Ю. Диагностика форсунки дизеля по анализу хода иглы и утечкам топлива / Л.Ю. Михайлова // Вестник инновационного евразийского университета. – Павлодар, 2011. – № 3 (43). – С. 99-105.
3. Лашко В. А. Диагностика угла опережения впрыска топлива и его влияние на протекание рабочего процесса дизеля / В.А. Лашко, Ю.П. Макушев, Л.Ю. Михайлова // Материалы Межд. науч.-техн. конф. «Двигатели 2013». – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 201 – 213
4. Губертус Гюнтер. Диагностика дизельных двигателей. Серия «Автомеханик»; пер. с нем. Ю.Г. Грудского. – М. : ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с

Вербовський Валерій Степанович, Інститут Газу Національної Академії Наук України

Грицук Ігор Валерійович, д.т.н., професор, Херсонська державна морська академія

### **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ГАЗОВОГО ДВИГУНА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ АКУМУЛЬОВАНОЇ ЕНЕРГІЇ**

Стаціонарні енергетичні установки з газовими двигунами стали невід'ємною частиною систем базового, пікового та резервного енергопостачання. Крім цього вони знайшли своє широке застосування на залізничному, річковому і морському транспорті. Серед основних проблем ефективної експлуатації газових двигунів електростанцій є забезпечення гарантованого пуску холодного двигуна, довготривале зберігання прогрітого двигуна без роботи його в режимі холостого ходу. Існуючі способи забезпечення теплової підготовки двигунів як перед пуском, так і в довготривалому зберіганні, є не досить ефективними, достатньо енерговитратними, такими, що потребують підводу теплової енергії від зовнішніх джерел. Натомість 60-70% енергії палива в газовому двигуні відводиться в навколишнє середовище і не завжди використовується за основними потребами.