

10.31653/smf47.2023.5-10

Афтанюк В.В., Кіріс О.В., Афтанюк А.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

## **АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ КЛАПАНІВ НАГНІТАННЯ ГАЗУ ДВОХПАЛИВНИХ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ**

Постановка проблеми і її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Одним із технічних рішень щодо впровадження енергоощадних та екологічних нормативів МАРПОЛ (Міжнародна конвенція про запобігання забрудненню з суден, Додаток VI) є застосування газоподібного палива [1].

Можливість використання газоподібного або традиційного пального в процесі роботи двигуна безумовно забезпечує економічність та екологічність експлуатації, однак з іншого боку значно ускладнює конструкцію паливної та інших систем, що негативно впливає на показники надійності при експлуатації [2].

Тому підвищення надійності роботи елементів судових двигунів, що працюють на газоподібному паливі є актуальним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. Досвід обслуговування двопаливних двигунів дозволяє аналізувати недоліки які виявляються в процесі роботи [3]. Серед основних проблем, що виникають в двигуні доцільно відокремити наступні:

- перегрів газоблоку через заклинювання клапана електронного уприскування газу у відкритому положенні (перегрів призводить також до пошкодження різних ущільнень);

- недосконале програмне забезпечення системи управління двигуном, що не дозволяє використовувати в повній мірі газовий режим експлуатації двигуна.

- відмови в допоміжних системах постачання газового палива (системі виявлення витоків і вентиляції, азотній системі та системі повернення газу);

- руйнування форсунок подавання газоподібного палива внаслідок перегріву.

Все перелічені недоліки поступово усуваються за рахунок внесення змін в конструкцію. Прикладом модернізації елементів двопаливних двигунів є зміна конструкції клапанів нагнітання газу (GIV)

[3]. За короткий термін експлуатації на форсунках спостерігалися тріщини (рис. 1).



Рис. 1. Тріщини в соплі GIV [3]

Аналіз умов експлуатації цього клапану показує, що оголовок клапану працює в умовах найбільш високих температур, що й призводить до швидкого руйнування (поява тріщин). Для усунення цього недоліку фахівцями [3] було запропоновано зменшити довжину клапану (рис. 2) та матеріал з якого виготовлений клапан (використано інструментальну сталь S40Cr5Mo1V), за рахунок чого можливо продовжити термін служби.



Рис. 2. Розробка конструкції газового сопла GIV - остання розробка справа [3]

Подальше поліпшення конструкції клапанів нагнітання газу можливо за рахунок збільшення товщини стінок оголовку, однак таке

рішення збільшує гідравлічний опір отворів, що знаходяться в оголовку. Тому для збалансування гідравлічного режиму роботи клапану необхідно запропонувати раціональну конструкцію розподільчих отворів.

**Метою роботи є** оптимізація гідродинамічного режиму роботи клапана нагнітання газу за допомогою використання розподільчих отворів спеціальної форми зі зменшеним гідравлічним опором та максимально можливим рівномірним розподілом швидкостей в перерізі.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Для досягнення поставленої мети необхідно змінити конструкцію отвору так щоб забезпечити зменшення гідравлічного опору та найбільш рівномірний гідродинамічний режим роботи клапану та перевірити ефективність внесених змін шляхом моделювання течії газового потоку.

Математичне моделювання течії газу крізь отвір в головці клапану, можна розглядати як проходження газового потоку крізь малий отвір з резервуару необмежених розмірів (рис. 3) [4]. Визначення втрат напору, в цьому випадку базується на моделі каналу з раптовим звуженням, в якому місцеві опори обумовлені тертям потоку при вході у вузький отвір та вихроутворенням.

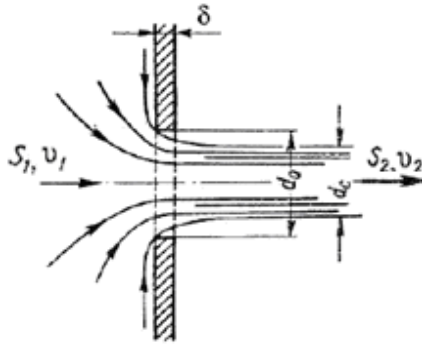


Рис. 3. Принципова схема конструктивного виконання отвору в головці газорозподільного клапану

Математична модель розрахунку втрат напору в отворі виконується на формулі Вейсбаха [4]

$$H = \xi_{зв} \frac{v_2^2}{2g}$$

де коефіцієнт опору звуження визначається по напівемпіричній формулі І.Є. Ідельчика [4]:

$$\xi_{зв} = 0,5 \left( 1 - \frac{S_2}{S_1} \right) = 0,5 \left( 1 - \frac{1}{n} \right),$$

в якій  $n = S_1/S_2$  - ступінь звуження.

Для забезпечення більш довготривалої сталої роботи газорозподільного головки клапану доцільно збільшити товщину стінки головки, а для зменшення гідравлічного опору змінити форму отвору (рис. 4).

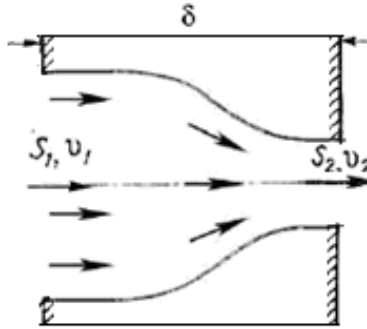


Рис. 4. Принципова схема конструктивного виконання модернізованого отвору в головці газорозподільного клапану

З базових положень гідромеханіки відомо, що зменшення опору раптового звуження можливо за рахунок використання поступового звуження (конфузор) або сопла (конфузор з плавно сполученими циліндричними та конічними частинами, рис.4).

Течія рідини у конфузурі (або соплі) супроводжується збільшенням швидкості та падінням тиску. Тому при розрахунках втрат напору враховуються лише втрати на тертя за формулою:

$$H_k = \frac{\lambda_T}{8 \cdot \sin(\alpha/2)} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) \frac{v_2^2}{2g}$$

де коефіцієнт опору конфузурі (або сопла) визначається за формулою [5]:

$$\xi_k = \frac{\lambda_T}{8 \cdot \sin(\alpha/2)} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

Невелике вихроутворення та відрив потоку від стінки з одночасним стисненням потоку виникає лише на виході з сопла в місці переходу конічної частини у циліндричну. Закругленням вхідного кута

можна значно зменшити втрату напору при вході в циліндричну частину.

Тобто на підставі виконаного аналізу течій в отворі головки газорозподільного клапану можна запропонувати для зменшення гідравлічного опору та утворення найбільш рівномірного гідродинамічного режиму роботи клапану виконати отвори у вигляді сопла з співвідношенням вхідного перерізу до вихідного 2/1 тобто ступінь звуження  $n = 0,5$ , та забезпечити збільшення товщини стінки у 3 рази у порівнянні з стандартною (рис. 5).

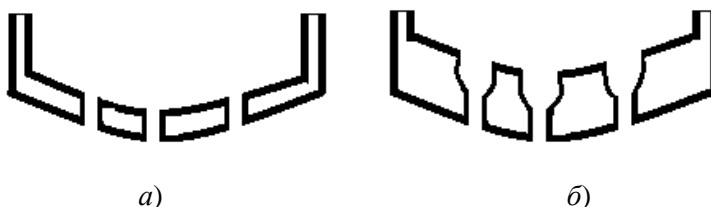


Рис. 5. Схема отворів у головці газорозподільного клапану: *а* – стандартний отвір; *б* – модернізований отвір (при збільшеній товщині та отвори у вигляді сопла)

Для подальшого дослідження течій доцільно розробити твердотільну модель головки клапану нагнітання газу та провести комп'ютерне моделювання потоків.

### Висновки

1. На підставі досвіду обслуговування двопаливних двигунів проаналізовані недоліки які виявляються процесі їх роботи.

2. Визначені основні групи проблем, що виникають в двигуні, а саме: перегрів газоблоку через заклинювання клапану електронного уприскування газу; недосконале програмне забезпечення системи управління двигуном; відмови в допоміжних системах постачання газового палива; руйнування форсунок подавання газоподібного палива внаслідок перегріву.

3. Для модернізації форсунок подавання газоподібного палива проведено аналіз технічних рішень, що дозволив визначити напрямки подальших досліджень.

4. Для поліпшення роботи клапанів нагнітання газу обґрунтована конструктивна зміна газорозподільного отвору, що передбачає збільшення товщини стінки та зміну форми отвору, тобто виконання отвору у формі сопла (рис.4) зі ступенем звуження  $n = 0,5$ .

5. Дослідження течій з візуалізацією результатів розрахунків в запропонованій конструкції оголовку клапану нагнітання газу можливо за допомогою комп'ютерного моделювання потоків – CFD моделювання.

#### **Перелік використаних джерел**

1. WÄRTSILÄ ENCYCLOPEDIA OF SHIP TECHNOLOGY/ Jan Babicz. – Helsinki, 2015. – 663 p.

2. MAN Energy Solutions. MAN B&W ME-LGIP dual-fuel engines. – Копенгаген: MAN Diesel & Turbo, 2020. – 29 с. Режим доступу: [www.man-es.com](http://www.man-es.com).

3. MAN Energy Solutions .Service experience – two-stroke technologies. – Копенгаген: MAN Diesel & Turbo, 2020. – 52 с. Режим доступу: [www.man-es.com](http://www.man-es.com).

4. Основи термодинаміки, теплопередачі, гідромеханіки: навчальний посібник/ О.В. Кіріс, Б.А. Гарагуля, В.В. Афтанюк. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – 148 с.

5. Кіріс О.В., Лісін В.В. Гідромеханіка. – Одеса: ОНМА, 2003. – 75 с.