

10.31653/smf42.2021.70-74

Побережний Р. В. кер. доц. Сагін С. В.  
Національний університет «Одеська морська академія»

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛІВ СУДЕН РІЧКОВОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Дизель, виробляючи механічну енергію за рахунок окислення палива повітрям, в процесі роботи здійснює безперервний тепло-масообмін з навколишньою атмосферою. Він забирає повітря і споживає паливо, потім викидає відпрацьовані гази, що складаються з частини повітря і продуктів окислення палива. Таким чином, повітря, що надходить в циліндр дизеля, робить певний термодинамічний цикл, зазнаючи при цьому хімічні зміни, в результаті чого перетворюється в випускні гази (ВГ) – складну газову суміш з безліччю компонентів. Чотири компоненти  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  і  $H_2O$  складають понад 99...99,9 % обсягу газу, решта 0,1...1,0 % обсягу відпрацьованих газів складають домішки, які не представляють інтересу з технічної точки зору, але є шкідливими для навколишнього середовища, живої природи і людини. При випуску в атмосферу відпрацьовані гази зазвичай розсіюються і вступають в контакт з людиною вже в сильно розбавленому стані. Концентрація ряду шкідливих компонентів і температура газів в основному знижуються до безпечного рівня, але бувають зони, де ця речовина концентрується в кількостях, що надають шкідливу дію на живий організм і природу. Ця обставина змушує шукати шляхи зниження шкідливих речовин. До найбільш небезпечних речовин можна віднести  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ , альдегіди, вуглеводні, бенз- $\alpha$ -пірен.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конструктивні та технологічні заходи щодо поліпшення екологічних показників судових дизелів полягають в наступних заходах: зниження утворення оксидів азоту, а саме:

- зниження загальних і локальних температур в камері згоряння;
- зниження локального і місцевого вмісту кисню;
- зміна хімічного складу заряду;
- зниження вмісту азоту в паливі;
- зниження утворення вуглеводнів;
- виключення місцевих пере-збагачених зон;
- виключення надмірної гомогенізації;

- збільшення коефіцієнта надлишку повітря;
- підвищення швидкості згорання;
- зниження утворення СО і диму;
- оптимізація коефіцієнта надлишку повітря;
- оптимізація закону тепловиділення;
- застосування ініціюють і антидимних присадок;
- зниження витрати мастильного матеріалу;
- виключення місцевих пере-збагачених зон;
- зниження утворення альдегідів;
- зниження витрат мастила;
- турбулізація заряду;
- руйнування зон гасіння [1].

**Постановка завдання.** Екологічні характеристики дизельних двигунів визначаються головним чином вмістом в продуктах згорання оксидів азоту  $\text{NO}_x$ , які за індексом токсичності значно перевершують інші шкідливі компоненти ВГ. Згідно з Додатком VI Міжнародної Конвенції щодо запобігання забрудненню із суден (MARPOL) «Обмеження на викиди  $\text{NO}_x$ », з січня 2016 року всі нові судна повинні будуть відповідати стандартам рівня Tier-III, які передбачають зниження викидів на 80 % в порівнянні з стандартами рівня I, для експлуатації в зонах, позначених як зони контролю викидів  $\text{NO}_x$ .

Тому завданням досліджень було визначення найбільш оптимального (з точки зору забезпечення екологічних показників морських суден з одночасним мінімальним погіршенням їх енергетичних та економічних показників) методу зниження емісії оксидів азоту.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** В останнє десятиліття системи рециркуляції відпрацьованих газів (Exhaust Gas Recirculation – EGR) все ширше застосовуються в судновій енергетиці для зниження токсичності відпрацьованих газів (в основному для зниження концентрації оксидів азоту  $\text{NO}_x$  в випускних газах судових дизелів). Даними системами обладнуються як головні судові двигуни, що передають потужність безпосередньо на гребний гвинт, так і потужні допоміжні двигуни, що забезпечують енергією судову електростанцію (останні активно застосовується для круїзних суден великої пасажиромісткості, які часто виконують заходи в прибережні води і райони екологічного контролю). Експериментальні дослідження щодо визначення впливу системи EGR на екологічні, енергетичні та економічні

показники роботи двигуна внутрішнього згоряння, виконувались на дизелі 7UEC60LS фірми Mitsubishi, що працює за двотактному циклу і обладнаний штатною системою ERG.

Принципова схема дизеля 7UEC60LS фірми Mitsubishi з системою рециркуляції випускних газів показана на рис. 1 [2, 3].

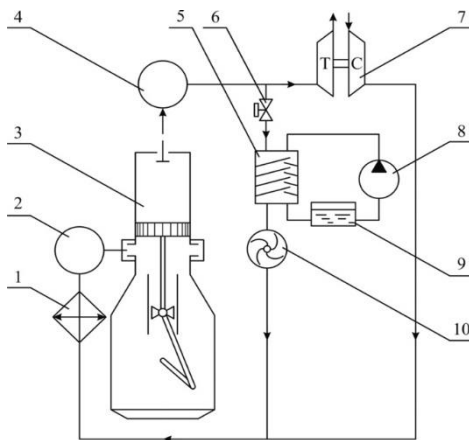


Рис. 1. Принципова схема системи рециркуляції випускних газів для суднового мало-обертового дизеля:

1 – охолоджувач повітря; 2 – повітряний ресивер; 3 – циліндр дизеля;

4 – випускний колектор; 5 – скруббер; 6 – керуючий клапан системи рециркуляції випускних газів; 7 – газотурбонагнетач; 8 – водяний насос; 9 – водяна цистерна; 10 – газовий нагнітач з електричним приводом

Випускні гази з циліндра дизеля 3 надходять в випускний колектор 4 і далі до газотурбонагнетача 7, після чого через газувипускную трубу видаляються в атмосферу. Газотурбонагнетач 7 забирає повітря з машинного відділення і після стиснення направляє його через охолоджувач 1 і ресивер 2 до продувальних вікна дизеля. Система рециркуляції випускних газів складається з керуючого клапана 6, скрубера очищення газів 5, нагнітача 10, водяної цистерни 9 і водяного насоса 8. У разі використання системи рециркуляції випускних газів їх кількість регулюється клапаном 6. Випускні гази очищаються і попередньо охолоджуються в скруббері 5, після чого додатковим нагнітачем подаються на змішання з повітрям (що надходять з газотурбонагнетача 7)

і надходять до охолоджувача 1 і ресивера 2 і далі через продувні вікна в циліндр дизеля 3. Газовий нагнітач 10 – вентилятор з постійною геометрією прохідного перетину. Даний тип нагнітачів найбільш поширений в системах EGR морських суден, при цьому ведуться експериментальні дослідження систем EGR с турбонагнітачами змінної геометрії.

Метою дослідження було визначення зміни концентрації  $\text{NO}_x$  в випускних газах, Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)  $b_e$  і ефективної потужності дизеля  $N_e$  для різного ступеня рециркуляції випускних газів. При цьому було встановлено, що використання системи EGR сприяє покращенню екологічних показників роботи дизелів суден річкового та морського транспорту, що виявляється у 35...40 %-му зниженні емісії оксидів азоту з випускними газами. Використання системи рециркуляції випускних газів зменшує кількість «чистого» повітря, що надходить в циліндр дизеля, що призводить до зниження ефективної потужності дизеля (рис. 2).

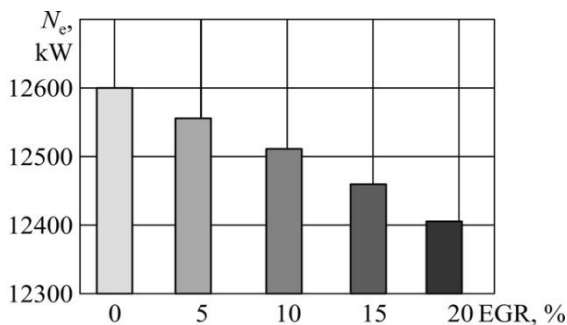


Рис. 2. Зниження ефективної потужності дизеля для різного ступеня рециркуляції випускних газів для експлуатаційного навантаження  $0,93N_{\text{ном}}$

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Примусове заповнення циліндра дизеля випускними газами, забезпечує системою рециркуляції, призводить до зниження температури в процесі згоряння палива, що сприяє зменшенню кількості оксидів азоту, які утворюються згідно з тепловим механізмом. При цьому концентрація  $\text{NO}_x$  в випускних газах зменшується з ростом ступеня рециркуляції системи.

Забезпечення екологічних показників роботи дизеля пов'язане з енергетичними та економічними параметрами його роботи. Сприятливий вплив системи EGR на емісію NOX одночасно призводить до зниження ефективної потужності дизеля  $N_e$  і збільшенню питомої ефективної витрати палива  $b_e$ . З огляду на це, процес рециркуляції газів повинен здійснюватись з урахуванням забезпечення необхідних швидкісних і потужностних режимів роботи судового пропульсивного комплексу з одночасним мінімальним погіршенням його економічних показників.

#### ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sagin S. V. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines / S. V. Sagin, O. A. Kuropyatnyk // [OUR SEA : International Journal of Maritime Science & Technology](#). – 2018. – Vol. 65. – № 2. – P. 78-86. [doi.org/10.17818/NM/2018/2.3](https://doi.org/10.17818/NM/2018/2.3).

2. Kuropyatnyk O. A. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines / O. A. Kuropyatnyk, S. V. Sagin // [OUR SEA : International Journal of Maritime Science & Technology](#). – 2019. – Vol. 66. – Iss. 1. – P. 1-9. <https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.

3. Kuropyatnyk O. A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines / O. A. Kuropyatnyk // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 203-211. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52992.