



# НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування

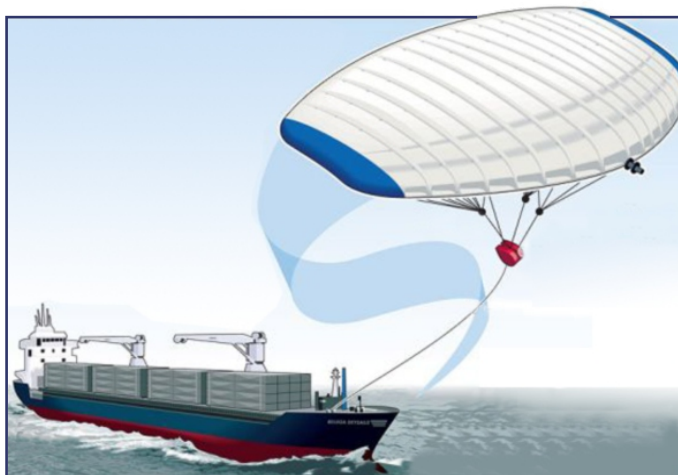
**СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА:  
СТАН ТА ПРОБЛЕМИ**

## МАТЕРІАЛИ

**ХІ МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**присвяченої пам'яті професора  
Горбова Віктора Михайловича**

**07–08 листопада 2023 р.**



**Миколаїв ■ 2023**

- [6] K.S. Burunsuz, V. V. Kuklinovsky, S. I. Serbin. (2019). Investigations of the emission characteristics of a gas turbine combustor with water steam injection. *Холодильна техніка та технологія*, 55 (2), pp 77-83.
- [7] Varia, N., Patel, D., Reddy Bale, V., Srinivas, T. (2018) Effects of Steam Injection on the Performance of Natural Gas Combined Cycle Power Generation System. *CSME International Congress 2018*. Toronto, On, Canada.
- [8] Serbin, S., Washchilenko, N., Dzida, M., Kowalski, J. (2021) Parametric analysis of the efficiency of the combined gas-steam turbine unit of a hybrid cycle for the fpso vessel. *Polish maritime research*, № 112(4), pp. 122-132.
- [9] S. I. Serbin. O.A. Shmarkov. (2023). Parameters of the hybrid gas-steam power plant operating on hydrogen fuel. *Збірник наукових праць НУК*, №1 (490), pp. 103-110.

Serbin S., Diasamidze B., Shmarkov O.

**Possibilities of utilizing hydrogen fuel in the combustion chamber of a hybrid gas-steam power unit**

*The issue of the environmental impact of a hybrid gas-steam power unit with steam injection into the combustion chamber and operating on hydrogen has been discussed. The temperature profiles in the flame tube of the combustion chamber and the concentrations of pollutant substances in its inlet section have been presented.*

УДК 621.45.034

**МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ  
У МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ**

Б. Т. Діасамідзе, Ph.d., асистент<sup>1</sup>, О.А. Шмарков, аспірант<sup>2</sup>  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
Україна, м. Миколаїв

<sup>1</sup>[badri.diasamidze@nuos.edu.ua](mailto:badri.diasamidze@nuos.edu.ua), <sup>2</sup>[shmarkov.oleksandr@gmail.com](mailto:shmarkov.oleksandr@gmail.com)

**Анотація.** Розглянуто принципи застосування газотурбінних двигунів (ГТД) морського призначення та їх основні емісійні характеристики, запропоновано шляхи для зниження викидів токсичних компонентів.

**Ключові слова:** газотурбінний двигун; процес горіння палив; емісійні характеристики.

**Вступна частина.** У зв'язку з значною кількісною перевагою двигунів внутрішнього згоряння на судах нормативні акти, що стосуються викидів шкідливих викидів, передбачають показники переважно для поршневих двигунів. Один із таких актів - Міжнародна конвенція з запобігання забрудненню судами від 1973 року, підписана в Лондоні 2 листопада 1973 року із змінами згідно Протоколу, укладеному в Лондоні 17 лютого 1978 року, та Протоколу, укладеному в Лондоні 26 вересня 1997 року, і відома під назвою "Конвенція МАРПОЛ" [1]. Всі двигуни, що використовуються на військових судах, звільнені від відповідності стандартам викидів шкідливих викидів. Варто відзначити, що відсоток кількості газотурбінних двигунів, встановлених на військових судах, в декілька разів вищий у порівнянні з громадським флотом. Проте уряди ряду країн прагнуть впроваджувати положення, що стосуються захисту морського середовища (наприклад, MARPOL), і на військових судах, наскільки це можливо.

**Ціль роботи** – аналіз екологічних характеристик сучасних морських газотурбінних двигунів.

**Основна частина.** Енергетичні потреби морського транспорту, викликані їх операційними потребами, пов'язаними з функцією руху судна та призначенням, давно задовольняються переважно за допомогою поршневих двигунів внутрішнього згоряння. У

випадку турбінних двигунів, залежно від призначення судна та потреб в енергії, використовуються: а) силові агрегати та морські енергетичні установки з паровими турбінами у випадках, коли використовуються ядерні енергетичні установки, та б) системи з газовими турбінами у вигляді газотурбінних двигунів. Внаслідок меншої енергоефективності та відповідно вищого споживання пального, газотурбінні двигуни для морського використання поступово замінюються поршневими двигунами та становлять лише кілька відсотків загальної кількості двигунів внутрішнього згоряння у морському транспорті. Однак газотурбінні двигуни мають одну значущу перевагу - вони характеризуються високою концентрацією потужності, вираженою у співвідношенні, яке отримують при обмовленій ваговій характеристиці двигуна. Відмітимо, що потрібно враховувати масу всього привідного агрегату двигуна, оскільки використання газотурбінного двигуна вимагає додаткового редуктора для зміни обертової швидкості валу приводу до бажаної швидкості руху судна.

Газові турбіни є одними з основних двигунів для приводу. Однак через специфічність, їх застосування наразі зустрічається здебільшого на бойових кораблях, хоча компанія General Electric сьогодні будує морські газові турбіни з ефективністю 0,36 і потужністю 25 МВт [2] для цивільного використання (рис. 1). В останні роки газові турбіни все частіше встановлюють на пасажирських суднах, так званих H.S.S. (High Speed Ship). Головною перешкодою для використання газових турбін, особливо на суднах зі скрапленим природним газом (LNG), є висока ціна порівняно з традиційними двигунами. Але на сьогодні ці ціни мають тенденцію до рівняння: 1350 доларів за кВт для традиційного дизельного двигуна порівняно з 1250 доларів за кВт для ГТД простого циклу [3]. Найважливіші переваги полягають в тому, що це найменші двигуни (за розмірами) надають велику потужність, створюють мінімальні вібрації, мають мінімум рухомих деталей, здійснюють високошвидкісний оберт вихідного валу, витрачають мало масла для змащення і мають можливість для швидкого пуску. В морських системах можна використовувати три типи газових турбін: з відкритим контуром, з підігрівом повітря після компресії та закритим контуром.

Зростаючий викид вихлопних газів від морських двигунів вимагає розробки нових концепцій будівництва морських енергетичних установок для цивільних і військових суден. Зростаюча увага зосереджується на використанні газових турбінних двигунів у морських енергетичних установках з фокусом на виробництві електроенергії, яку використовують для приводу судновими електродвигунами. У випадку газових турбінних двигунів недоліком є менша ефективність генерації електроенергії, як це підтверджується високим значенням специфічної витрати пального [4], але важливою перевагою є висока концентрація згенерованої енергії в об'ємі системи.

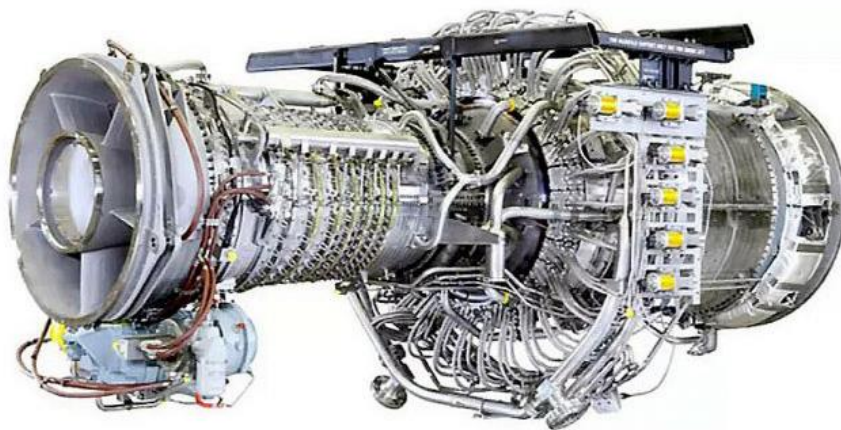


Рисунок 1 – Морський газовий турбінний двигун GE для фрегатів класу "Констеляція" [3, 4]



Рисунок 2 – ГТД LM2500 морського призначення [5]

Перевагою використання газових турбінних систем є можливість роботи цих двигунів на газоподібних і рідких паливах з низьким вмістом сірковмісних сполук, альтернативних паливах, таких як ефіри рослинних олій, метанол, етанол, метан та газоподібні палива, такі як природний газ та пропан-бутан. Використання природного газу для живлення морських енергетичних установок може бути особливо вигідним для суден, які транспортують скраплений природний газ. Аргументом на користь використання систем ГТД є можливість збільшення вантажного простору (рис. 3), що покращує відношення вартості до результативності перевезення судна, усуваючи нижчу загальну ефективність газових турбінних двигунів. Особливо важливою є перевага альтернативних і легких палив, таких як природний газ, пропан-бутан, ефіри рослинних олій, метанол чи етанол.

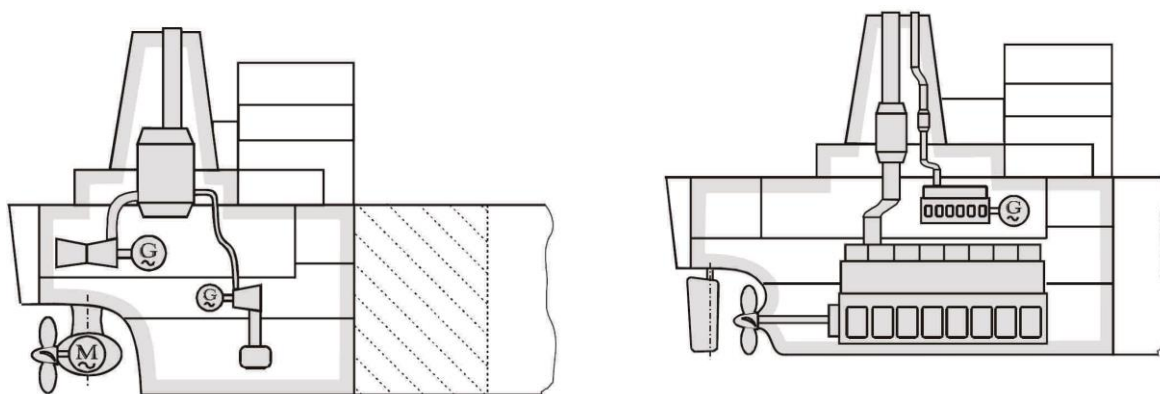


Рисунок 3 – Порівняння системи приводу ГТД на судні для перевезення скрапленого природного газу (LNG) із традиційним безпосереднім приводом малооборотного дизельного двигуна [6]

В роботах [4-7] проведено ряд експериментальних та теоретичних досліджень енергетичних та емісійних характеристик двигуна LM 2500 фірми General Electric, для фрегатів типу «Олівер Газард Перрі».

На основі отриманих результатів проведено аналіз, що привів до визначення емісійних характеристик ГТД, які представлено як функція індикатора навантаження (рис. 4 і рис. 5).

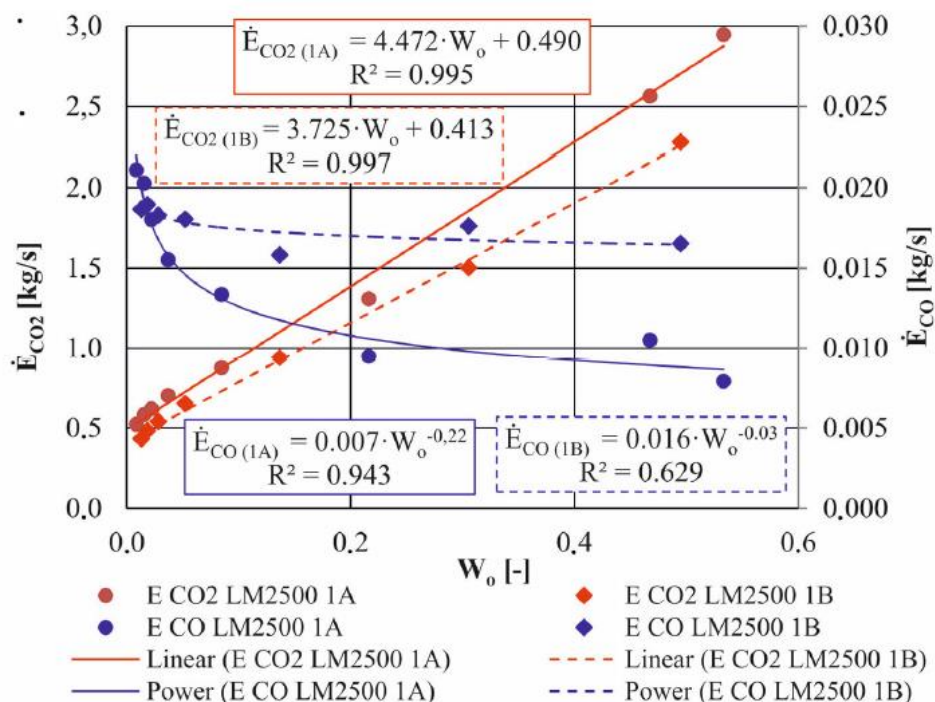


Рисунок 4 – Викиди вуглекислого газу ( $\dot{E}_{\text{CO}_2}$ ) та оксиду вуглецю ( $\dot{E}_{\text{CO}}$ ) двигунів LM 2500 1A та 1B як функція коефіцієнта навантаження двигуна ( $W_o$ ) [7]

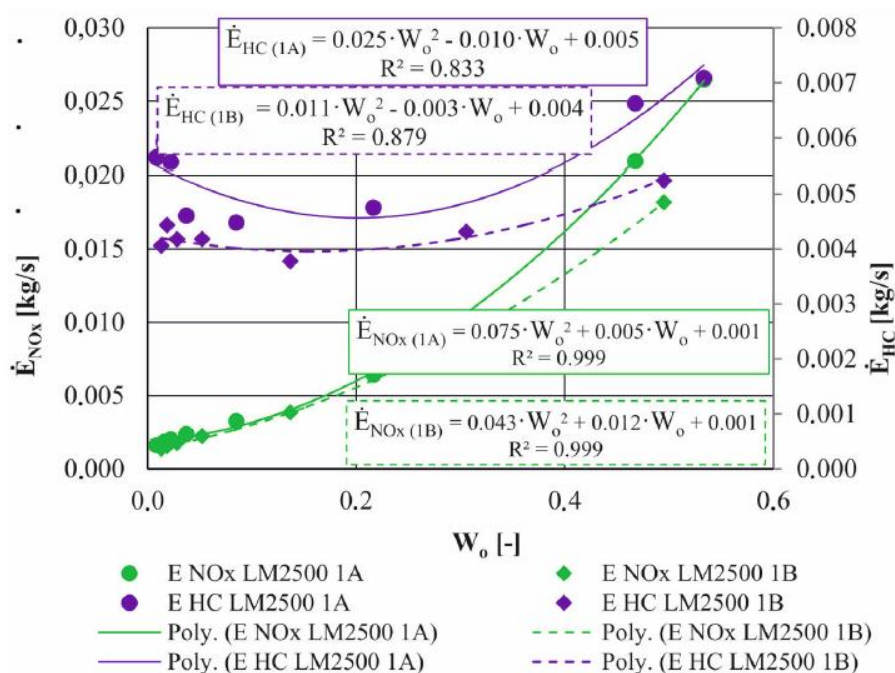


Рисунок 5 – Викиди оксидів азоту ( $\dot{E}_{\text{NO}_x}$ ) та вуглеводнів ( $\dot{E}_{\text{HC}}$ ) двигунів LM 2500 1A та 1B як функція коефіцієнта навантаження двигуна ( $W_o$ ) [7]

В якості майбутніх досліджень та поглиблення знань про фізико-хімічні властивості горіння палив і покращення емісійних характеристик газотурбінних двигунів морського призначення пропонуємо один з наступних варіантів: інтенсифікацію горіння за допомогою низькотемпературної плазми [8-11] та можливе застосування альтернативних палив чи двофазного горіння [12-15].

**Висновки.** 1. Проаналізовано можливості використання газотурбінних двигунів в морському транспорті. 2. Запропоновано для покращення екологічних характеристик газотурбінних двигунів використовувати альтернативні палива, в тому числі водень, а також системи плазмохімічного горіння різних за фізичним складом палив.

### Список літератури

- [1] *The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973/1978 MARPOL*, Publisher PRS, Gdansk 2015.
- [2] Mrzljak, V., Poljak, I., & Mrakovčić, T. (2017). Energy and exergy analysis of the turbo-generators and steam turbine for the main feed water pump drive on LNG carrier. *Energy Conversion and Management*, 140, 307-323.
- [3] Krmek, I., Mrzljak, V., & Poljak, I. (2022). Analysis and Comparison of Ship Propulsion Systems. *Pomorski zbornik*, 62(1), 75-95.
- [4] Wirkowski, P., & Kniaziewicz, T. (2017). Evaluation of marine gas turbine engine parameters in terms of exhaust harmful emissions. *Combustion Engines*, 56.
- [5] Wirkowski, P., Kniaziewicz, T., & Markowski, J. (2016). Assessment of operating parameters of marine gas turbine engine in terms of emissions of harmful exhaust gases compounds. *Journal of Polish CIMEEAC*, 11(1).
- [6] European Defence Review. GE Marine to Provide Gas Turbine Engines to Fincantieri for Constellation Class Frigates. Retrieved from <https://www.edrmagazine.eu/ge-marine-to-provide-gas-turbine-engines-to-fincantieri-for-constellation-class-frigates>
- [7] Wirkowski, P., Markowski, J., Imilkowski, P., Iliev, I., Jesionek, K., Badur, J., ... & Benedict, P. (2023). Modeling of pollutant emissions from the turbine engine of the main propulsion of a vessel in operating conditions. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 404, p. 01001). EDP Sciences.
- [8] Serbin, S. I., Matveev, I. B., & Mostipanenkov, G. B. (2011). Investigations of the working process in a "Lean-Burn" gas turbine combustor with plasma assistance. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 39(12), 3331-3335.
- [9] Vincent-Randonnier, A., & Teixeira, D. (2008). Plasma assisted methane diffusion flame: experiments and numerical simulation. *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*, 2(2), 119-127.
- [10] Романовский, Г. Ф., & Сербин, С. И. (1998). Плазмохимические системы судовой энергетики. *Николаев: УГМТУ*.
- [11] Matveev, I. B., Matveeva, S. A., Kirchuk, E. Y., Serbin, S. I., & Bazarov, V. G. (2010). Plasma fuel nozzle as a prospective way to plasma-assisted combustion. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 38(12), 3313-3318.
- [12] Serbin, S., Burunsuz, K., Chen, D., & Kowalski, J. (2022). Investigation of the characteristics of a low-emission gas turbine combustion chamber operating on a mixture of natural gas and hydrogen. *Polish Maritime Research*.
- [13] Nemati, A., Ong, J. C., Pang, K. M., Mayer, S., & Walther, J. H. (2022). A numerical study of the influence of pilot fuel injection timing on combustion and emission formation under two-stroke dual-fuel marine engine-like conditions. *Fuel*, 312, 122651.
- [14] Chiong, M. C., Chong, C. T., Ng, J. H., Mashruk, S., Chong, W. W. F., Samiran, N. A., ... & Valera-Medina, A. (2021). Advancements of combustion technologies in the ammonia-fuelled engines. *Energy Conversion and Management*, 244, 114460.
- [15] Сербін, С.І., Шмарков, О.А. (2022) Обґрунтування використання водню як палива ГТД контактного типу. *Сучасний стан та проблеми двигунобудування: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: Торубара В.В.

Diasamidze B., Shmarkov O.

### **Possibilities of using gas turbine engines in maritime transport**

*In this study the principles of using gas turbine engines for naval purposes and their emission characteristics have been examined, moreover, ways to deepen knowledge and reduce emissions of toxic components have been proposed.*

*Keywords: gas turbine engine; dual-fuel low-emission combustor; combustion process; emission characteristics.*

УДК 62-713.82

### **ПРОТИДІЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИЙ КОРОЗІЇ ГІЛЬЗИ ЦИЛІНДРІВ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ**

**Худяков І.В.<sup>1</sup>, Грицук І.В.<sup>2</sup>, Погорлецький Д.С.<sup>3</sup>, Поліщук О.В.<sup>4</sup>,  
Літвінов М.Є.<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup>к.т.н. доцент; <sup>2</sup>д.т.н. професор; <sup>3</sup>к.т.н. доцент; <sup>4,5</sup>аспірант  
кафедра експлуатації суднових енергетичних установок

Херсонської державної морської академії. м. Херсон, Україна

<sup>1</sup>Igor.khudiakov563@gmail.com; <sup>2</sup>gritsuk\_iv@ukr.net;

<sup>3</sup>dimon150582@gmail.com; <sup>4</sup>polishukalex591@gmail.com; <sup>5</sup>mykhaylolitvinov@gmail.com

**Анотація.** Розглянуто особливості вирішення однієї з проблем суднових малооборотних двигунів, під час роботи яких на часткових та мінімальних режимах навантаження є виникнення низькотемпературної корозії гільз циліндрів. Висвітлено причини виникнення та способи боротьби з низькотемпературною корозією суднових двигунів. Приділено увагу способам регулювання системи охолодження суднових двигунів, концепції регулювання в системі охолодження, яка передбачає автоматичне регулювання режимних показників за рахунок встановлення частотно-регульовальних насосів системи охолодження і регулювання водно-хімічних параметрів.

**Ключові слова:** суднова енергетична установка, малооборотний двигун, низькотемпературна корозія, система охолодження, частотне регулювання.

Вплив на процеси теплообміну в порожнинах системи охолодження двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) дозволяє скоротити теплові втрати з охолоджуючою рідиною, і за рахунок цього підвищити індикаторний ККД двигуна та поліпшити паливну економічність. Додаткове підвищення ефективного ККД може бути виконано за рахунок зниження механічних втрат на прокачуванням теплоносія (охолоджуючої рідини) контурами систем охолодження. Підвищення температурного рівня деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) сприяє скороченню періоду затримки займання, що в свою чергу позитивно впливає на екологічні характеристики суднового ДВЗ. Якщо двигун працює неефективно на малих обертах, це відноситься до двохтактних малооборотних суднових ДВЗ, температура гільзи циліндру нижче точки роси (суміш сірчаної кислоти і води 120...160 °С). Корозійні суміші конденсуються на стінках, викликаючи низькотемпературну корозію стінок циліндрів. Під час використання палива з низьким вмістом сірки пізніше або повільніше згоряння палива збільшує теплове навантаження на деталі ЦПГ, що призводить до перегріву, проблем з мащенням та низькотемпературною корозією. Важке паливо, яке використовують для суднових ДВЗ, негативно впливає на деталі двигуна (через присутні в ньому домішки) і через неповне згоряння. Корозія є основною проблемою на судах, коли йдеться про спалювання мазуту в суднових ДВЗ. Низькотемпературна корозія, виникає через наявність сірки в важкому паливі і впливає на стан гільзи циліндрів та інші деталі камери згоряння ДВЗ. Суднові ДВЗ з довгим ходом поршня і більш високим тиском згоряння створюють суворі умови експлуатації під час спалювання важкого палива з низьким вмістом сірки. Використання режиму повільного підігріву палива, та невеликих робочих обертів, низької робочої температури ДВЗ,